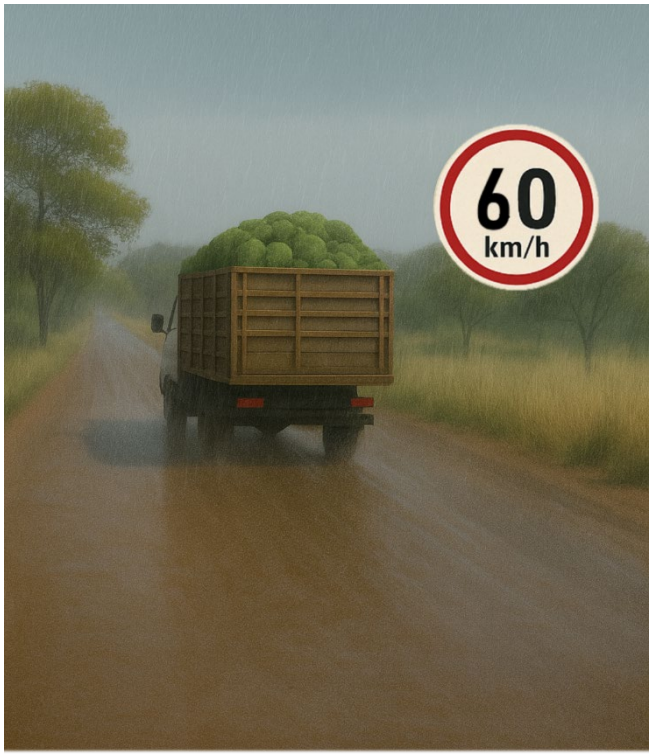


GeoStab Madagascar Road Stabilization Program

Building the roads that connect Madagascar to a prosperous and sustainable future

ABSTRACT

The GeoStab Madagascar Road Stabilization Program has been established to evaluate an advanced road Stabilization technology through independent laboratory testing and a full-scale demonstration under Malagasy conditions. The Program aims to assess whether improved pavement durability through demonstrated high resistance to annual washout leading to reduced maintenance requirements and enhanced whole-of-life value can be achieved while predominantly using established road construction practices.

Michael Hendry
Managing Director
Global Trade & Marketing Pty Ltd
AUSTRALIA
GeoStab Madagascar


LEGEND
ROAD CLASSIFICATION
National Primary Roads (RN)
National Secondary Roads (RS)
Regional Roads (RR)
Other Roads
Capital City
Major Cities
Regional Towns
International Airports
Major Ports
ABOUT THE NETWORK
Total National Roads (RN + RS)
~ 13,600 km
Regional Roads (RR)
~ 16,000 km
Other Roads
~ 31,000 km
Connecting All
22 Regions
Supporting Over
28 Million People
Antsiranana
Nosy Be
Sambava
Andapa
Maintirano
Maroveay
Toamasina
Antananarivo
Antsirabe
Morondava
Flaparantsou
Manakara
Toliara
RN6
RN5
RN16
RN8
RN7
RN13
RR11
RR9
RR10
RR21
RR4
RR27
RR15
RR0
RR3
RR1
RR2
RR7
RR8
RR12
RR14
RR17
RR18
RR19
RR20
RR22
RR23
RR24
RR25
RR26
RR28
RR29
RR30
RR31
RR32
RR33
RR34
RR35
RR36
RR37
RR38
RR39
RR40
RR41
RR42
RR43
RR44
RR45
RR46
RR47
RR48
RR49
RR50
RR51
RR52
RR53
RR54
RR55
RR56
RR57
RR58
RR59
RR60
RR61
RR62
RR63
RR64
RR65
RR66
RR67
RR68
RR69
RR70
RR71
RR72
RR73
RR74
RR75
RR76
RR77
RR78
RR79
RR80
RR81
RR82
RR83
RR84
RR85
RR86
RR87
RR88
RR89
RR90
RR91
RR92
RR93
RR94
RR95
RR96
RR97
RR98
RR99
RR100
RR101
RR102
RR103
RR104
RR105
RR106
RR107
RR108
RR109
RR110
RR111
RR112
RR113
RR114
RR115
RR116
RR117
RR118
RR119
RR120
RR121
RR122
RR123
RR124
RR125
RR126
RR127
RR128
RR129
RR130
RR131
RR132
RR133
RR134
RR135
RR136
RR137
RR138
RR139
RR140
RR141
RR142
RR143
RR144
RR145
RR146
RR147
RR148
RR149
RR150
RR151
RR152
RR153
RR154
RR155
RR156
RR157
RR158
RR159
RR160
RR161
RR162
RR163
RR164
RR165
RR166
RR167
RR168
RR169
RR170
RR171
RR172
RR173
RR174
RR175
RR176
RR177
RR178
RR179
RR180
RR181
RR182
RR183
RR184
RR185
RR186
RR187
RR188
RR189
RR190
RR191
RR192
RR193
RR194
RR195
RR196
RR197
RR198
RR199
RR200
RR201
RR202
RR203
RR204
RR205
RR206
RR207
RR208
RR209
RR210
RR211
RR212
RR213
RR214
RR215
RR216
RR217
RR218
RR219
RR220
RR221
RR222
RR223
RR224
RR225
RR226
RR227
RR228
RR229
RR230
RR231
RR232
RR233
RR234
RR235
RR236
RR237
RR238
RR239
RR240
RR241
RR242
RR243
RR244
RR245
RR246
RR247
RR248
RR249
RR250
RR251
RR252
RR253
RR254
RR255
RR256
RR257
RR258
RR259
RR260
RR261
RR262
RR263
RR264
RR265
RR266
RR267
RR268
RR269
RR270
RR271
RR272
RR273
RR274
RR275
RR276
RR277
RR278
RR279
RR280
RR281
RR282
RR283
RR284
RR285
RR286
RR287
RR288
RR289
RR290
RR291
RR292
RR293
RR294
RR295
RR296
RR297
RR298
RR299
RR300
RR301
RR302
RR303
RR304
RR305
RR306
RR307
RR308
RR309
RR310
RR311
RR312
RR313
RR314
RR315
RR316
RR317
RR318
RR319
RR320
RR321
RR322
RR323
RR324
RR325
RR326
RR327
RR328
RR329
RR330
RR331
RR332
RR333
RR334
RR335
RR336
RR337
RR338
RR339
RR340
RR341
RR342
RR343
RR344
RR345
RR346
RR347
RR348
RR349
RR350
RR351
RR352
RR353
RR354
RR355
RR356
RR357
RR358
RR359
RR360
RR361
RR362
RR363
RR364
RR365
RR366
RR367
RR368
RR369
RR370
RR371
RR372
RR373
RR374
RR375
RR376
RR377
RR378
RR379
RR380
RR381
RR382
RR383
RR384
RR385
RR386
RR387
RR388
RR389
RR390
RR391
RR392
RR393
RR394
RR395
RR396
RR397
RR398
RR399
RR400
RR401
RR402
RR403
RR404
RR405
RR406
RR407
RR408
RR409
RR410
RR411
RR412
RR413
RR414
RR415
RR416
RR417
RR418
RR419
RR420
RR421
RR422
RR423
RR424
RR425
RR426
RR427
RR428
RR429
RR430
RR431
RR432
RR433
RR434
RR435
RR436
RR437
RR438
RR439
RR440
RR441
RR442
RR443
RR444
RR445
RR446
RR447
RR448
RR449
RR450
RR451
RR452
RR453
RR454
RR455
RR456
RR457
RR458
RR459
RR460
RR461
RR462
RR463
RR464
RR465
RR466
RR467
RR468
RR469
RR470
RR471
RR472
RR473
RR474
RR475
RR476
RR477
RR478
RR479
RR480
RR481
RR482
RR483
RR484
RR485
RR486
RR487
RR488
RR489
RR490
RR491
RR492
RR493
RR494
RR495
RR496
RR497
RR498
RR499
RR500
RR501
RR502
RR503
RR504
RR505
RR506
RR507
RR508
RR509
RR510
RR511
RR512
RR513
RR514
RR515
RR516
RR517
RR518
RR519
RR520
RR521
RR522
RR523
RR524
RR525
RR526
RR527
RR528
RR529
RR530
RR531
RR532
RR533
RR534
RR535
RR536
RR537
RR538
RR539
RR540
RR541
RR542
RR543
RR544
RR545
RR546
RR547
RR548
RR549
RR550
RR551
RR552
RR553
RR554
RR555
RR556
RR557
RR558
RR559
RR560
RR561
RR562
RR563
RR564
RR565
RR566
RR567
RR568
RR569
RR570
RR571
RR572
RR573
RR574
RR575
RR576
RR577
RR578
RR579
RR580
RR581
RR582
RR583
RR584
RR585
RR586
RR587
RR588
RR589
RR590
RR591
RR592
RR593
RR594
RR595
RR596
RR597
RR598
RR599
RR600
RR601
RR602
RR603
RR604
RR605
RR606
RR607
RR608
RR609
RR610
RR611
RR612
RR613
RR614
RR615
RR616
RR617
RR618
RR619
RR620
RR621
RR622
RR623
RR624
RR625
RR626
RR627
RR628
RR629
RR630
RR631
RR632
RR633
RR634
RR635
RR636
RR637
RR638
RR639
RR640
RR641
RR642
RR643
RR644
RR645
RR646
RR647
RR648
RR649
RR650
RR651
RR652
RR653
RR654
RR655
RR656
RR657
RR658
RR659
RR660
RR661
RR662
RR663
RR664
RR665
RR666
RR667
RR668
RR669
RR670
RR671
RR672
RR673
RR674
RR675
RR676
RR677
RR678
RR679
RR680
RR681
RR682
RR683
RR684
RR685
RR686
RR687
RR688
RR689
RR690
RR691
RR692
RR693
RR694
RR695
RR696
RR697
RR698
RR699
RR700
RR701
RR702
RR703
RR704
RR705
RR706
RR707
RR708
RR709
RR710
RR711
RR712
RR713
RR714
RR715
RR716
RR717
RR718
RR719
RR720
RR721
RR722
RR723
RR724
RR725
RR726
RR727
RR728
RR729
RR730
RR731
RR732
RR733
RR734
RR735
RR736
RR737
RR738
RR739
RR740
RR741
RR742
RR743
RR744
RR745
RR746
RR747
RR748
RR749
RR750
RR751
RR752
RR753
RR754
RR755
RR756
RR757
RR758
RR759
RR760
RR761
RR762
RR763
RR764
RR765
RR766
RR767
RR768
RR769
RR770
RR771
RR772
RR773
RR774
RR775
RR776
RR777
RR778
RR779
RR780
RR781
RR782
RR783
RR784
RR785
RR786
RR787
RR788
RR789
RR790
RR791
RR792
RR793
RR794
RR795
RR796
RR797
RR798
RR799
RR800
RR801
RR802
RR803
RR804
RR805
RR806
RR807
RR808
RR809
RR810
RR811
RR812
RR813
RR814
RR815
RR816
RR817
RR818
RR819
RR820
RR821
RR822
RR823
RR824
RR825
RR826
RR827
RR828
RR829
RR830
RR831
RR832
RR833
RR834
RR835
RR836
RR837
RR838
RR839
RR840
RR841
RR842
RR843
RR844
RR845
RR846
RR847
RR848
RR849
RR850
RR851
RR852
RR853
RR854
RR855
RR856
RR857
RR858
RR859
RR860
RR861
RR862
RR863
RR864
RR865
RR866
RR867
RR868
RR869
RR870
RR871
RR872
RR873
RR874
RR875
RR876
RR877
RR878
RR879
RR880
RR881
RR882
RR883
RR884
RR885
RR886
RR887
RR888
RR889
RR890
RR891
RR892
RR893
RR894
RR895
RR896
RR897
RR898
RR899
RR900
RR901
RR902
RR903
RR904
RR905
RR906
RR907
RR908
RR909
RR910
RR911
RR912
RR913
RR914
RR915
RR916
RR917
RR918
RR919
RR920
RR921
RR922
RR923
RR924
RR925
RR926
RR927
RR928
RR929
RR930
RR931
RR932
RR933
RR934
RR935
RR936
RR937
RR938
RR939
RR940
RR941
RR942
RR943
RR944
RR945
RR946
RR947
RR948
RR949
RR950
RR951
RR952
RR953
RR954
RR955
RR956
RR957
RR958
RR959
RR960
RR961
RR962
RR963
RR964
RR965
RR966
RR967
RR968
RR969
RR970
RR971
RR972
RR973
RR974
RR975
RR976
RR977
RR978
RR979
RR980
RR981
RR982
RR983
RR984
RR985
RR986
RR987
RR988
RR989
RR990
RR991
RR992
RR993
RR994
RR995
RR996
RR997
RR998
RR999
RR1000

GeoStab Madagascar Road Stabilization Program

Prepared by:

Global Trade & Marketing Pty Ltd (Australia)
GeoStab Madagascar
In collaboration with Malagasy stakeholders and strategic partners

For:

Potential Sponsors

Contents

Purpose of this Publication 6

Foreword 7

How to Use this Publication 7

Executive Summary 8

- Program Overview 8
- Progress Achieved 8
- Demonstration Objective 9
- Strategic Importance 9
- Commercial Pathway 9
  - Program Milestones 9
- Program Milestone Timeline 9
- 10
- Lifecycle Cost Comparison 10

Chapter 1: Madagascar's Road Infrastructure Challenge 11

- National Context 11
- Wet-Season Impacts 11
- Maintenance Burden 11
- Need for Innovation 11
- Infographic illustrating the cycle of deterioration and maintenance. 14

Chapter 2 – The Economic Cost of Road Deterioration 14

- Economic Significance 14

Direct Financial Impacts 14
Indirect Economic Impacts 14
Whole-of-Life Value 14
Illustrative Economic Impact Matrix 15
Lifecycle Cost Concept illustration. 15
Road-user cost infographic. 16
National logistics corridor map. 16
Whole of Life Value 17
Chapter 3 – Why Conventional Road Construction Methods Are No Longer Sufficient 17
Introduction 17
Limitations of Conventional Approaches 17
Changing Infrastructure Demands 17
Need for Performance-Based Evaluation 18
GeoStab Also Applicable to Sealed Road longevity as Stabilized Base 18
Cross-Section Comparison 18
..... 19
Lifecycle Cost Comparison 19
Wet-Season Deterioration Mechanisms 19
Engineering Decision Framework 20
Chapter 4 – The GeoStab Technology 21
Technology Overview 21
Engineering Concept 21
Construction Methodology 21
Expected Performance Benefits 21
Indicative Construction Sequence 21
GeoStab Stabilised Road Construction Sequence 22
Cross-Section Pavement Illustration 22
Flowchart showing the construction process for high end roads. 23
Flowchart showing the construction process for low end roads 24
Chapter 5 – Independent Testing and Technical Validation 24
Purpose of Independent Validation 24
Laboratory Testing 24
Previous Field Demonstration 24
Madagascar Validation Strategy 25

Summary of Technical Validation 25
Chapter 6 – Vietnam Mine Haul Road Demonstration 27
Project Background 27
Objectives 27
Construction and Monitoring 27
Key Outcomes 27
Demonstration Summary 27
Chapter 7 – The GeoStab Madagascar Road Stabilization Program 27
Program Vision 27
Strategic Objectives 28
Program Partners 28
Implementation Philosophy 28
Program Framework 28
Program Governance Overview 29
Stakeholder relationship diagram. 29
Roadmap: from validation to commercial deployment. 30
Roadmap: from validation to commercial deployment. 30
Chapter 8 – Demonstration Trial Program and Methodology 30
Purpose of the Demonstration Program 30
Trial Methodology 30
Performance Monitoring 30
Evaluation Framework 31
Indicative Demonstration Workflow 31
Chapter 9 – Program Governance, Roles and Responsibilities 31
Governance Principles 31
Stakeholder Responsibilities 31
Independent Evaluation 31
Decision-Making Process 31
Illustrative Governance Structure 32
..... 32
Decision-making workflow diagram. 32
Chapter 10 – Program Delivery Timeline and Implementation Roadmap 33
Implementation Strategy 33
Pre-Implementation Activities 33

Demonstration and Monitoring 34
Future Decision Pathway 34
Illustrative Program Roadmap 34
Program timeline. 34
Chapter 11 – Economic Analysis and Whole-of-Life Value 35
Investment Perspective 35
Lifecycle Cost Philosophy 35
Potential Economic Benefits 35
Evidence-Based Assessment 35
Illustrative Whole-of-Life Value Framework 35
Whole-of-life value pyramid. 36
Maintenance cost comparison infographic. 36
Economic benefits flow diagram. 37
Chapter 12 – Environmental, Sustainability and ESG Considerations 37
Sustainability Context 37
Environmental Considerations 37
Social Benefits 37
Governance and ESG 38
Illustrative ESG Framework 38
..... 38
ESG framework infographic. 38
..... 39
Lifecycle sustainability illustration. 39
Environmental Benefits Flow Diagram 39
Community connectivity map. 40
Chapter 13 – Commercial Opportunity and National Rollout Strategy 41
Strategic Opportunity 41
Potential Applications 41
National Rollout Framework 41
Long-Term Vision 41
Illustrative Rollout Pathway 41
National rollout roadmap. 42
Growth pathway infographic. 42
..... 43

Map illustrating future application opportunities. 43
Commercial ecosystem diagram. 43
Chapter 14 – Investment Opportunity and Strategic Partnerships 44
Investment Rationale 44
Strategic Partnership Model 44
Potential Value Creation 44
Investment Principles 44
Illustrative Partnership Framework 44
Investment pathway from demonstration to deployment. 45
Stakeholder value chain graphic. 45
Funding and governance relationship chart. 46
Chapter 15 – Conclusions and Future Vision 46
Program Summary 46
Key Conclusions 46
Future Vision 46
Closing Statement 46
Program Legacy 47
Vision statement graphic. 47
Future roadmap illustration 48
Madagascar infrastructure vision montage. 48
Completed rural dirt road and sealed road. 49
Appendix A – Supporting Technical Data and Independent Test Results i
LNTPB test summaries. i
Boral Australia testing summaries. i
Vietnam mine haul road technical report i

Appendix B – Stakeholder Correspondence, Letters of Intent and Supporting Documentation ii
Signed Letter of Intent – Ministry of Public Works ii
Signed Letter of Intent – Ministry of Public Works – English Translation ii

Purpose of this Publication

This Publication presents the GeoStab Madagascar Road Stabilization Program. It is intended for government agencies, development partners, contractors, investors, and other stakeholders considering participation in the proposed demonstration Program and subsequent commercial deployment. The publication summarizes the road infrastructure challenge, the GeoStab technology, independent validation, Program governance, economic benefits, environmental considerations, and the proposed pathway to implementation.

Foreword

Reliable road infrastructure is fundamental to Madagascar's economic development, social connectivity, emergency access and agricultural productivity. The GeoStab Madagascar Road Stabilization Program has been developed to investigate whether an advanced proven soil Stabilization technology can improve the durability and resilience of the country's road network using local Malagasy soils under demanding climatic conditions while reducing long-term maintenance requirements.

This publication has been prepared as a technical and executive reference for government agencies, development partners, contractors, investors and other stakeholders. It documents the progress achieved to date, the independent testing undertaken, the proposed field demonstration Program, and the pathway toward informed decisions based on measured engineering performance rather than theoretical assumptions.

The objective is not to advocate replacement of existing engineering practices, but to evaluate an additional tool capable of delivering improved whole-of-life value where appropriate. Any future deployment should be guided by independently verified field performance, transparent governance and collaboration between public and private sector participants.

How to Use this Publication

The chapters progress from the national road maintenance challenge through the GeoStab technology, independent validation, the proposed Madagascar demonstration Program, governance arrangements, economic and environmental considerations, and finally the potential commercial pathway following successful trials.

Document Conventions

Convention	Description
Evidence	Statements are supported by testing, field experience or referenced Program documentation where available.
Currency	Financial examples are presented using the currency applicable to the source data.

Graphics	Photographs, diagrams and maps are identified as recommended publication artwork.
Program Status	Future activities are described as proposed unless already completed.



Rural Malagasy Road during the wet season.

Executive Summary

Program Overview

The GeoStab Madagascar Road Stabilization Program proposes an independently evaluated field demonstration of an advanced soil Stabilization technology intended to improve the durability, load-bearing capacity and wet-season resilience of selected road sections in Madagascar.

Progress Achieved

Key milestones include successful laboratory testing by the Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB), independent testing by Boral Australia, previous field validation in Australia and on a Vietnamese mine haul road, a signed Letter of Interest from the Madagascar Ministry of Public Works, and discussions with SOGEA SATOM regarding participation in a demonstration Program.

Demonstration Objective

The proposed demonstration is intended to validate engineering performance under Malagasy conditions before any broader implementation decisions are considered. Performance monitoring will focus on structural integrity, erosion resistance, trafficability, maintenance demand and whole-of-life value.

Strategic Importance

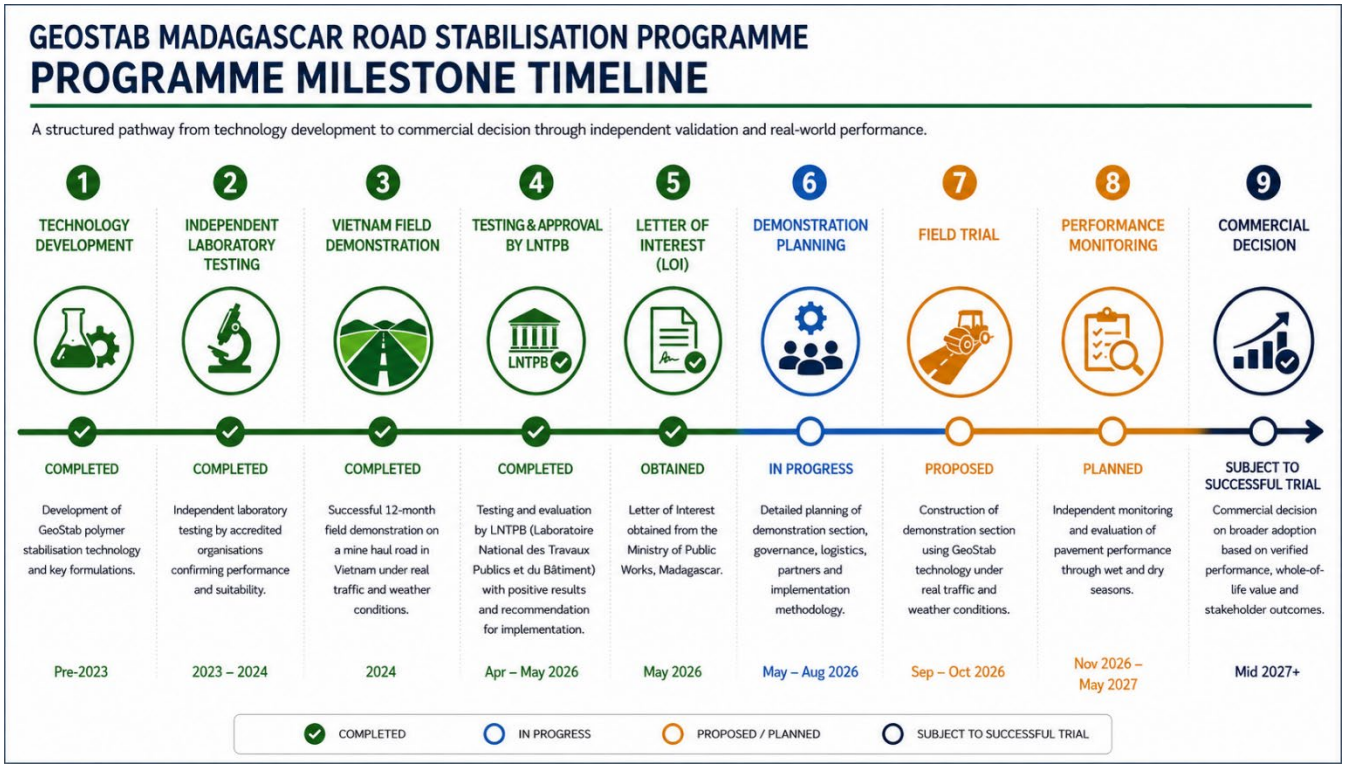
Reliable road infrastructure supports agriculture, mining, education, healthcare, tourism and regional economic development. Improved resilience during the wet season has the potential to reduce transport disruption and maintenance expenditure.

Commercial Pathway

Should the demonstration achieve its predefined engineering objectives, the results may support future commercial deployment through partnerships with government agencies, contractors and private-sector stakeholders.

Program Milestones

Milestone	Status
Technology development	Completed
Independent laboratory testing	Completed
Vietnam field demonstration	Completed
Letter of Interest	Obtained
Demonstration planning	In progress
Field trial	Proposed
Performance monitoring	Planned
Commercial decision	Subject to successful trial



LIFECYCLE COST COMPARISON

DELIVERING MORE VALUE. FOR LONGER.

Comparing the total cost of ownership over a 10-year period for typical unsealed road solutions in Madagascar.

LOWER COST
Significantly lower whole-of-life cost over 10 years.

HIGHER DURABILITY
Stronger, more resilient roads that last longer.

BETTER AVAILABILITY
More days open to traffic, less disruption.

SUSTAINABLE VALUE
Lower maintenance, less material use and lower emissions.

COMPARISON SCOPE

- **Road Section** — 1 km length x 6 m width
- **Pavement Thickness** — As specified for each solution
- **Analysis Period** — 10 Years
- **Currency** — Malagasy Ariary (MGA)
- **Basis** — Typical costs, 2026 estimates for comparative purposes

WHY LIFECYCLE COST MATTERS

The initial construction cost is only a small part of the true cost of a road. Maintenance, rehabilitation and user disruption over time have the greatest impact on total cost and value.





GEOSTAB SOIL STABILISATION
In-situ soil stabilised with cement and GeoStab polymer additive



CONVENTIONAL SOIL-CEMENT
In-situ soil stabilised with cement



CRUSHED ROCK (NATURAL GRAVEL)
Crushed rock wearing course on compacted base



ASPHALT SEAL (50 mm)
Asphalt wearing course on prepared base

10-YEAR LIFECYCLE COST SUMMARY	GEOSTAB SOIL STABILISATION	CONVENTIONAL SOIL-CEMENT	CRUSHED ROCK (NATURAL GRAVEL)	ASPHALT SEAL (50 mm)
	TOTAL 10-YEAR COST (MGA) 1,320,000,000	TOTAL 10-YEAR COST (MGA) 2,160,000,000	TOTAL 10-YEAR COST (MGA) 2,950,000,000	TOTAL 10-YEAR COST (MGA) 4,550,000,000
Initial Construction Cost (Year 0)	580,000,000 44%	680,000,000 31%	900,000,000 31%	1,650,000,000 36%
Routine Maintenance (Years 1–10)	220,000,000 17%	480,000,000 22%	600,000,000 20%	600,000,000 13%
Periodic Rehabilitation (Years 3–10)	200,000,000 15%	420,000,000 19%	650,000,000 22%	850,000,000 19%
Major Rehabilitation / Reconstruction (Years 6–10)	120,000,000 9%	360,000,000 17%	520,000,000 18%	1,150,000,000 25%
User Cost (Disruption) (Years 1–10)	200,000,000 15%	220,000,000 11%	280,000,000 9%	300,000,000 7%
TOTAL 10-YEAR COST	1,320,000,000	2,160,000,000	2,950,000,000	4,550,000,000

GEOSTAB SAVINGS OVER 10 YEARS

VS CONVENTIONAL SOIL-CEMENT		VS CRUSHED ROCK		VS ASPHALT SEAL	
SAVINGS	LOWER COST	SAVINGS	LOWER COST	SAVINGS	LOWER COST
840,000,000 MGA	39%	1,630,000,000 MGA	55%	3,230,000,000 MGA	71%

ADDITIONAL BENEFITS OF GEOSTAB

STRONGER & MORE DURABLE
Resists erosion and potholes, delivering 10–20 years of reliable performance.

MORE DAYS OPEN
Up to 30–40% more annual availability for traffic.

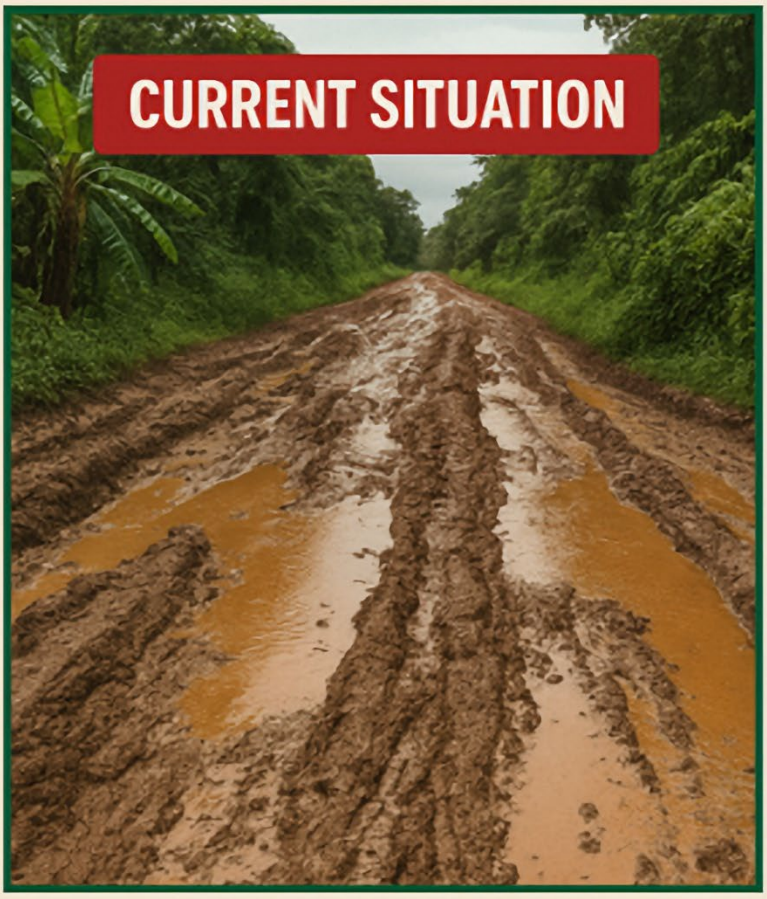
LOWER MAINTENANCE NEEDS
Fewer interventions mean lower costs and reduced resource requirements.

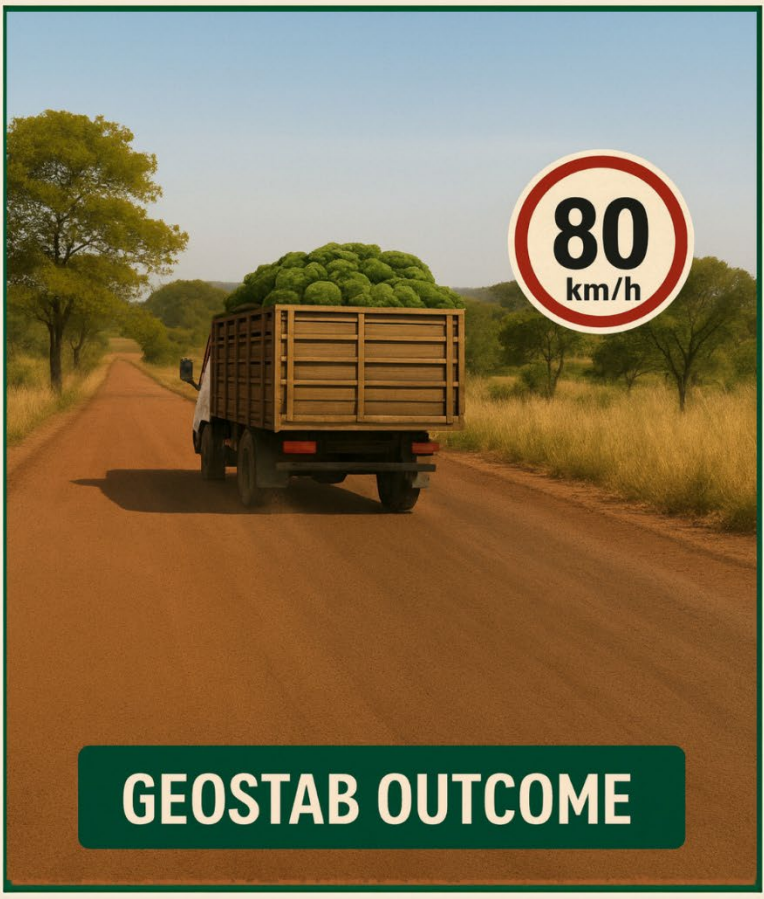
ENVIRONMENTAL ADVANTAGE
Lower material consumption and reduced CO_2 emissions over the lifecycle.

BETTER CONNECTIVITY
Improved reliability supports economic growth and social development.

Note: Costs are indicative and will vary depending on location, road conditions, traffic levels and market rates.

CURRENT SITUATION vs GEOSTAB OUTCOME





Chapter 1: Madagascar's Road Infrastructure Challenge

National Context

Madagascar's transport network is essential for connecting communities, agricultural production, mining operations, tourism and regional commerce. A substantial proportion of the road network remains unsealed or requires frequent maintenance, particularly where traffic volumes and seasonal rainfall place significant demands on the pavement structure.

Wet-Season Impacts

Heavy rainfall can rapidly reduce the serviceability of unsealed roads through erosion, rutting, loss of surface material and reduced bearing capacity. These conditions increase transport costs, extend journey times and interrupt access to schools, health services and markets.

Maintenance Burden

Traditional maintenance approaches often restore serviceability only temporarily where the underlying pavement continues to deteriorate. This can result in repeated maintenance cycles and increasing whole-of-life expenditure.

Need for Innovation

The purpose of the GeoStab Madagascar Road Stabilization Program is to evaluate whether an alternative Stabilization methodology can improve long-term pavement performance under Malagasy operating conditions through an independently monitored demonstration Program.

Key Engineering Challenges

Challenge	Typical Effect	Potential Consequence
Intense rainfall	Surface erosion	Road closures
Weak subgrade	Loss of bearing capacity	Reduced pavement life
Heavy freight	Rutting	Higher maintenance costs
Remote locations	Difficult maintenance access	Longer restoration times
Budget constraints	Deferred maintenance	Accelerated deterioration



RN12 – Unsealed Road deeply rutted due to rain



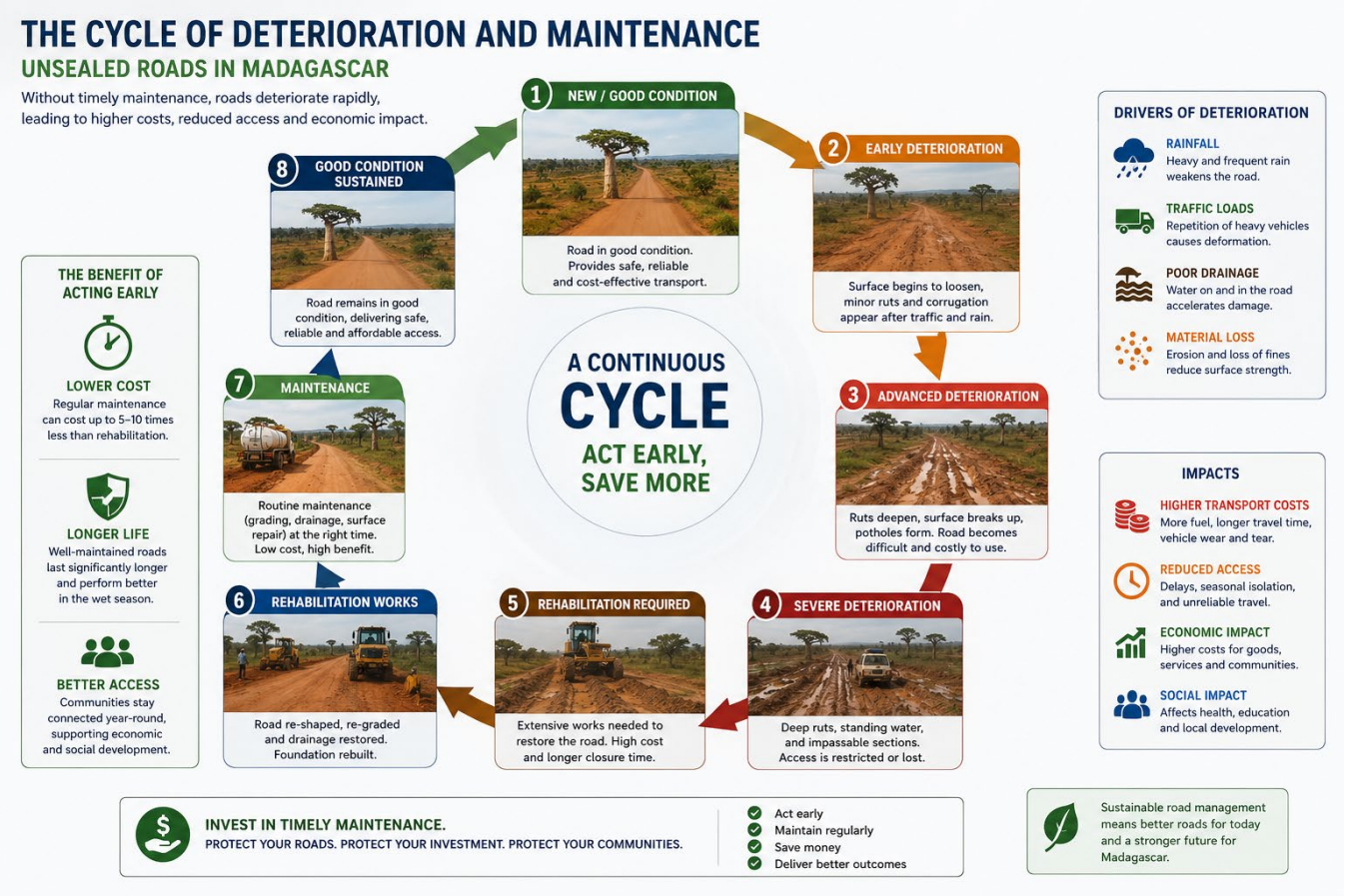
Map of Madagascar showing principle national roads.



Intact Road before Wet Season



Same Road during Wet Season



Chapter 2 – The Economic Cost of Road Deterioration

Economic Significance

Road infrastructure is a strategic national asset that supports commerce, agriculture, mining, tourism and public services. Deteriorating roads increase transport costs and reduce economic efficiency.

Direct Financial Impacts

Poor road conditions contribute to higher maintenance expenditure, increased vehicle operating costs, greater fuel consumption and more frequent emergency repairs.

Indirect Economic Impacts

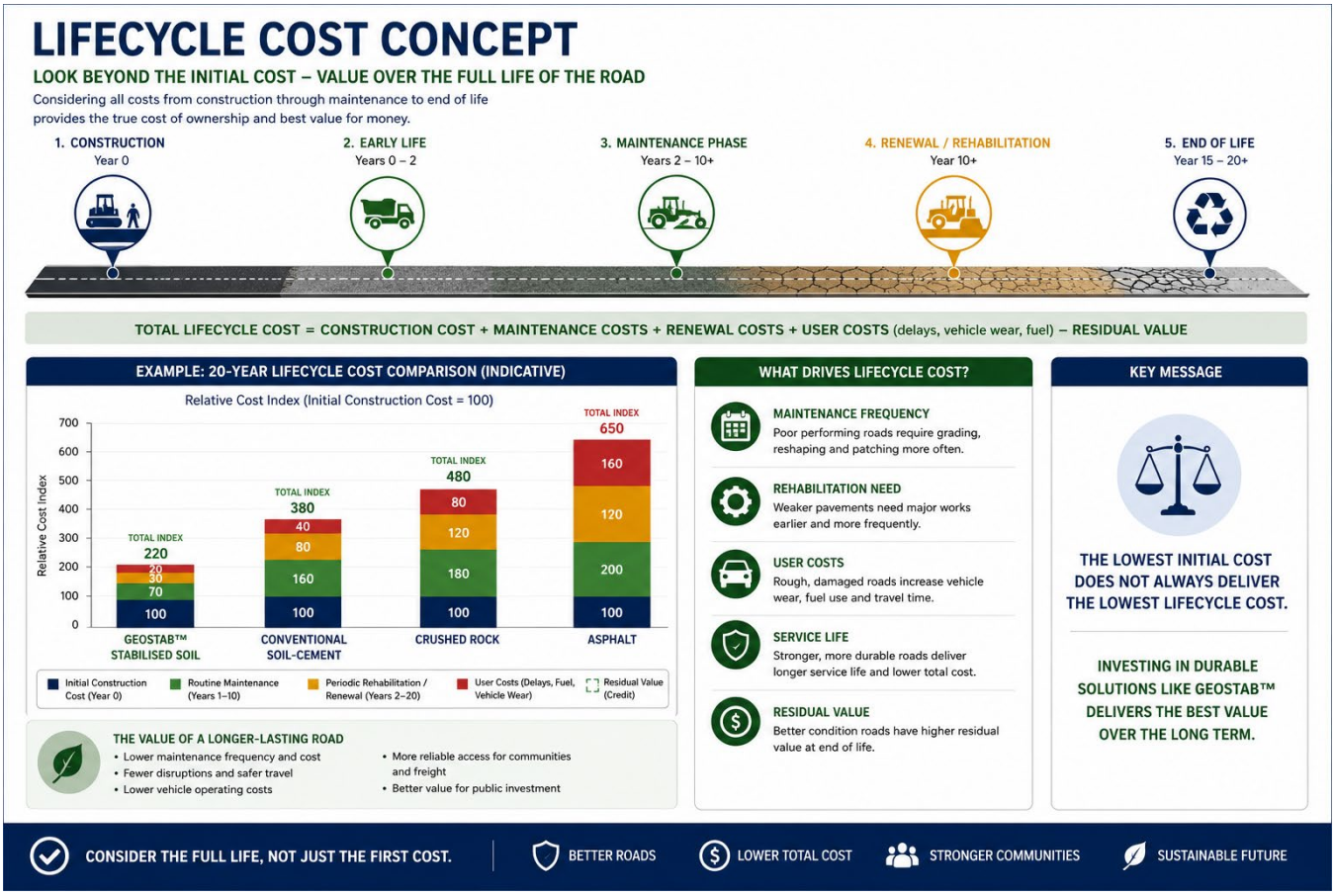
Road deterioration affects supply chains, access to education and healthcare, regional investment and productivity by increasing travel times and reducing reliability.

Whole-of-Life Value

Infrastructure decisions should consider total lifecycle performance rather than initial construction cost alone. Construction, maintenance, operational availability and service life collectively determine overall value.

Illustrative Economic Impact Matrix

Impact Area	Typical Consequence	Long-Term Objective
Maintenance	Repeated repairs	Lower lifecycle cost
Freight	Higher logistics costs	Reliable transport
Agriculture	Market disruption	Year-round access
Communities	Reduced connectivity	Improved accessibility
Government	Budget pressure	Sustainable asset management



ROAD-USER COSTS (RUC)

THE HIDDEN COST OF POOR ROADS

Road-User Costs are the additional costs borne by road users when travelling on poor quality roads.

POOR ROAD CONDITIONS DRIVE UP COSTS FOR EVERY ROAD USER

- LONGER TRAVEL TIME
- HIGHER FUEL USE
- MORE VEHICLE WEAR & TEAR
- HIGHER RISK OF ACCIDENTS
- LOWER PRODUCTIVITY

COMPONENTS OF ROAD-USER COSTS

TIME COSTS
Extra travel time due to slow speeds, delays and detours.

VEHICLE OPERATING COSTS
Higher fuel consumption caused by rough road surfaces and low speeds.

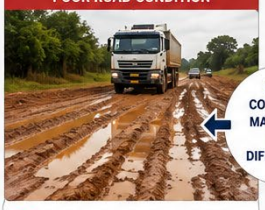
VEHICLE MAINTENANCE COSTS
Increased wear and tear on suspension, tyres, brakes and other components.

ACCIDENT COSTS
Greater risk of accidents and associated costs for vehicles and people.

OTHER COSTS
Cargo damage, increased insurance, stress and discomfort.

THE IMPACT ON ROAD USERS

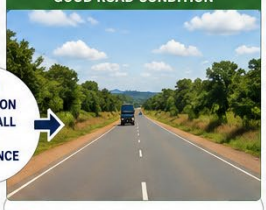
POOR ROAD CONDITION



- Slower speeds and longer travel times
- Higher fuel consumption
- More frequent breakdowns and repairs
- Higher accident risk
- Higher total cost for every trip

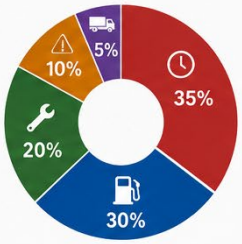
ROAD CONDITION MAKES ALL THE DIFFERENCE

GOOD ROAD CONDITION



- Faster, reliable travel times
- Lower fuel consumption
- Lower maintenance and repair costs
- Safer travel
- Lower total cost for every trip

TYPICAL RUC BREAKDOWN ON POOR ROADS*



Road-User Costs can be **2 to 5 times higher on poor roads** compared to good roads.

These costs are paid by drivers, passengers, transport operators and the economy.

* Indicative breakdown. Actual values vary by road type, traffic and local conditions.

EXAMPLE: COST OF TRAVELLING 100 km (INDICATIVE)

Road Condition	Time (Minutes)	Fuel Use (Litres)	Vehicle Operating Cost (MGA)	Vehicle Maintenance Cost (MGA)	Total RUC (MGA)
POOR ROAD	180	18	90,000	60,000	150,000
GOOD ROAD	100	11	55,000	55,000	80,000
SAVINGS WITH GOOD ROADS	80 min	7 L		35,000 (47% LOWER COST)	70,000

NOTE: Figures are illustrative and will vary by vehicle type, road, speed and local conditions.

LOWER ROAD-USER COSTS MEAN:

- Lower transport costs for businesses
- More affordable travel for communities
- Improved road safety
- Greater economic productivity
- Stronger national competitiveness

THE KEY MESSAGE



INVESTING IN BETTER ROADS REDUCES ROAD-USER COSTS, SAVES MONEY AND DRIVES ECONOMIC GROWTH.

BETTER ROADS. LOWER COSTS. STRONGER ECONOMY. | SAVE TIME | SAVE FUEL | SAVE MONEY | SAVE LIVES

MADAGASCAR

NATIONAL LOGISTICS CORRIDORS

CONNECTING PRODUCTION AREAS TO MARKETS AND PORTS

An integrated network of road corridors linking key economic zones, production regions and international ports to drive trade, growth and national development.



LOGISTICS CORRIDORS

- NORTH CORRIDOR (RN6) Antananarivo – Antsiranana – Sambava
- EAST CORRIDOR (RN2 / RN5) Antananarivo – Toamasina – Sambava / Fenoarivo
- WEST CORRIDOR (RN1) Antananarivo – Mahajanga – Maintirano
- SOUTH CORRIDOR (RN7) Antananarivo – Toliara – Tolagnaro
- SOUTH-EAST CORRIDOR (RN12) Antananarivo – Fianarantsoa – Tolagnaro

Other National Roads
Major Ports
International Airports
Key Production / Economic Zones
Major Cities / Regional Hubs

KEY PRODUCTION AREAS

- Agriculture (Rice, Maize, Cassava, Horticulture)
- Mining & Minerals (Nickel, Ilmenite, Graphite, Gold)
- Livestock & Fisheries
- Forestry & Timber
- Industrial & Manufacturing

CORRIDOR BENEFITS

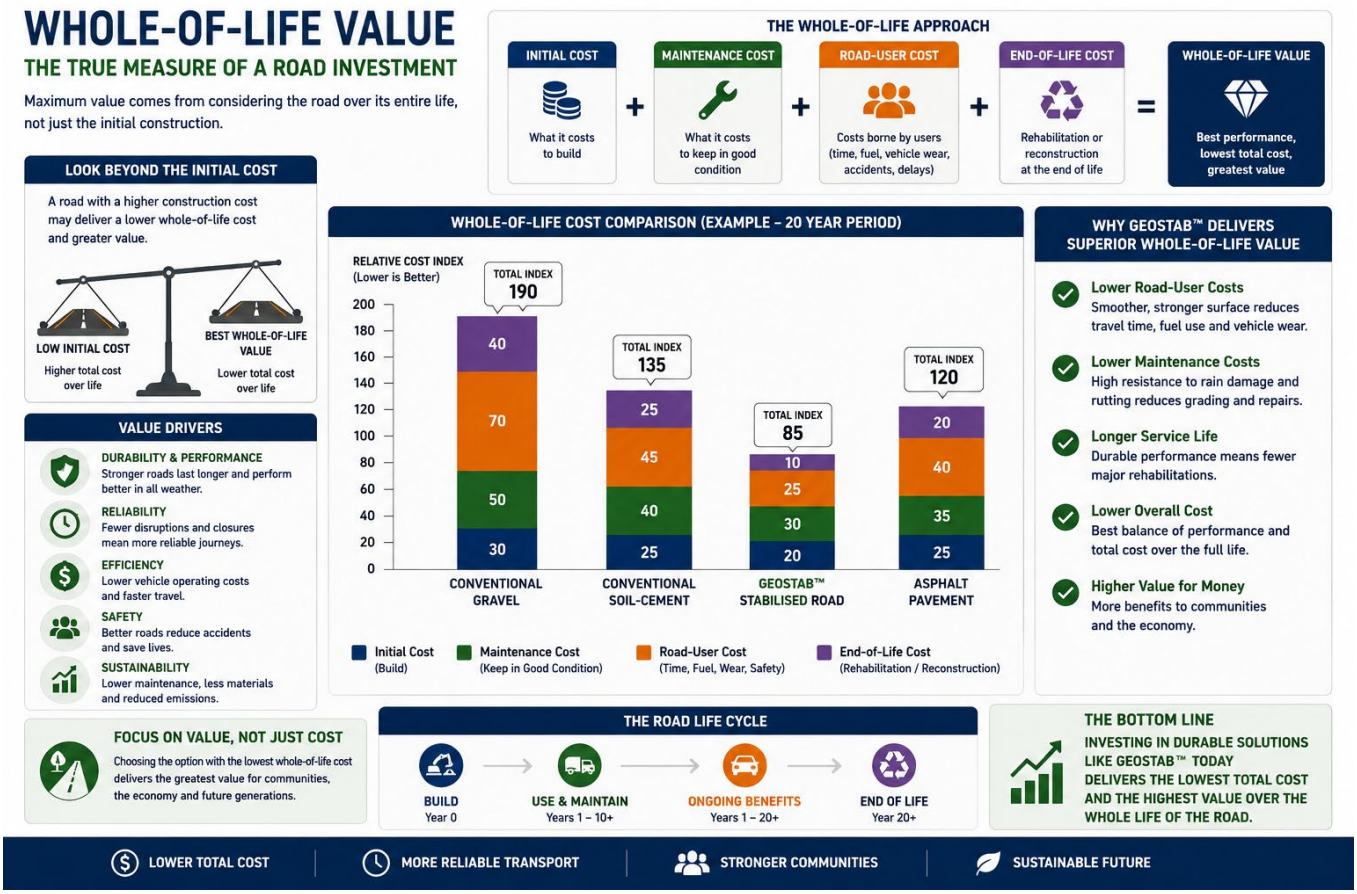
- Improve connectivity between production zones, markets and international gateways
- Reduce transport time, costs and vehicle wear
- Increase all-weather reliability and resilience
- Support regional development, jobs and food security
- Strengthen trade, investment and national competitiveness

CORRIDOR SUMMARY

CORRIDOR	ROUTE	LENGTH (KM)	CONNECTS
NORTH (RN6)	Antananarivo – Antsiranana – Sambava	~1,600	Northern ports, mining, agriculture, export zones
EAST (RN2/RN5)	Antananarivo – Toamasina – Sambava / Fenoarivo	~1,450	Main port, industry, timber, agriculture
WEST (RN1)	Antananarivo – Mahajanga – Maintirano	~1,100	Western ports, agriculture, fisheries, mining
SOUTH (RN7)	Antananarivo – Toliara – Tolagnaro	~1,600	Southern port, livestock, minerals, agriculture
SOUTH-EAST (RN12)	Antananarivo – Fianarantsoa – Tolagnaro	~950	South-east port, agriculture, mining, communities

BETTER ROADS. STRONGER CONNECTIONS. STRONGER MADAGASCAR.

BUILDING A RELIABLE NATIONAL LOGISTICS NETWORK FOR A PROSPEROUS FUTURE.



Chapter 3 – Why Conventional Road Construction Methods Are No Longer Sufficient

Introduction

Conventional road construction techniques have delivered reliable infrastructure for decades. However, in regions experiencing intense seasonal rainfall, weak subgrades, constrained maintenance budgets and increasing freight demands, traditional approaches may not always provide the most cost-effective whole-of-life outcome.

Limitations of Conventional Approaches

Granular pavements and conventional soil-cement can remain susceptible to moisture ingress, erosion, deformation and progressive deterioration where drainage, material quality or maintenance are insufficient. Repeated intervention may be required to maintain acceptable service levels.

Changing Infrastructure Demands

Growing freight movements, agricultural development, mining activity and regional connectivity objectives require pavements capable of maintaining performance for longer periods with fewer maintenance interventions.

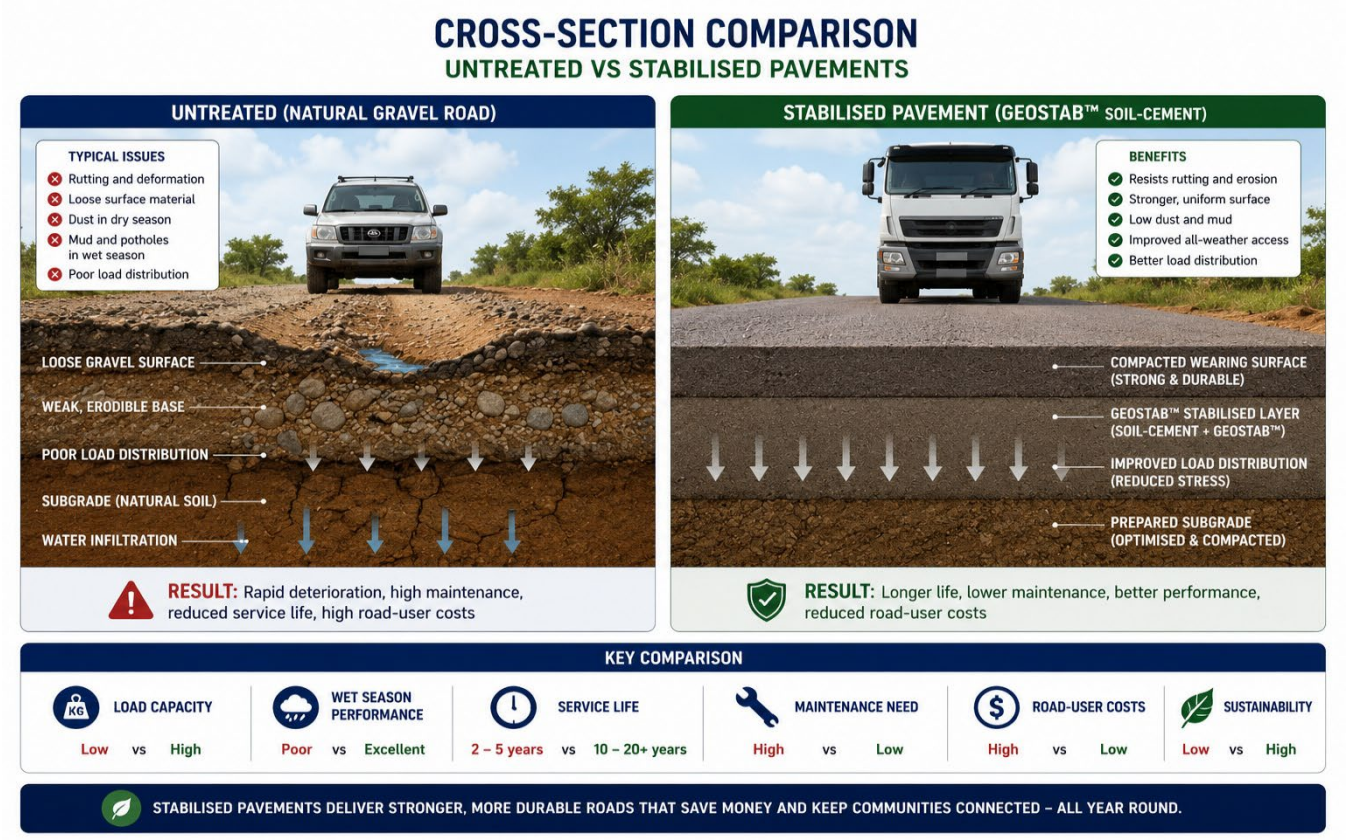
Need for Performance-Based Evaluation

The GeoStab Madagascar Program is based on the principle that alternative Stabilization technologies should be assessed using independently measured engineering performance under local conditions rather than assumptions. Decisions should be made by field data, lifecycle cost and operational outcomes.

Illustrative Comparison

Attribute	Conventional Granular	Conventional Soil-Cement	Performance-Based Objective
Maintenance	Frequent	Moderate	Reduced frequency
Wet-season resilience	Variable	Improved	Validate under trial
Lifecycle focus	Often initial cost	Mixed	Whole-of-life value
Engineering evidence	Established practice	Established practice	Independent field verification

GeoStab Also Applicable to Sealed Road longevity as Stabilized Base



LIFECYCLE COST COMPARISON

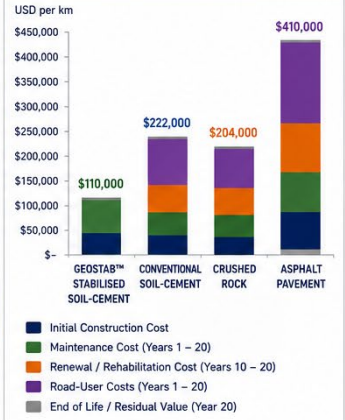
LOOK BEYOND INITIAL COST – CONSIDER THE FULL 20-YEAR PICTURE

All costs in USD per km of road (6 m wide). Present value at 5% discount rate.

1. CONSTRUCTION Year 0 → 2. EARLY LIFE Years 0 – 2 → 3. MAINTENANCE Years 2 – 10+ → 4. RENEWAL / REHABILITATION Year 10+ → 5. END OF LIFE Year 20+

PAVEMENT OPTION	GEOSTAB™ STABILISED SOIL-CEMENT (150 mm)	CONVENTIONAL SOIL-CEMENT (200 mm)	CRUSHED ROCK (150 mm)	ASPHALT PAVEMENT (50 mm)
INITIAL CONSTRUCTION COST (Year 0)	$ 48,000	$ 56,000	$ 62,000	$ 110,000
MAINTENANCE COST (Years 1 – 20)	$ 22,000	$ 58,000	$ 40,000	$ 90,000
RENEWAL / REHABILITATION COST (Years 10 – 20)	$ 15,000	$ 45,000	$ 50,000	$ 120,000
ROAD-USER COSTS (Time, Fuel, Vehicle Wear, Safety) (Years 1 – 20)	$ 30,000	$ 65,000	$ 55,000	$ 95,000
END OF LIFE / RESIDUAL VALUE (Year 20)	($ 5,000)	($ 2,000)	($ 3,000)	($ 5,000)
TOTAL LIFECYCLE COST (PRESENT VALUE)	**$ 110,000**	**$ 222,000**	**$ 204,000**	**$ 410,000**
COST PER KM PER YEAR (Average Over 20 Years)	$ 5,500	$ 11,100	$ 10,200	$ 20,500
RELATIVE TOTAL COST (GEOSTAB™ = 100)	100	202	186	373

LIFECYCLE COST BREAKDOWN (20-YEAR PRESENT VALUE)



KEY TAKEAWAY

GEOSTAB™ stabilised soil-cement delivers the **LOWEST** total lifecycle cost – around **50%** lower than conventional soil-cement and over **70%** lower than asphalt over 20 years.

WHY GEOSTAB™ DELIVERS THE BEST VALUE

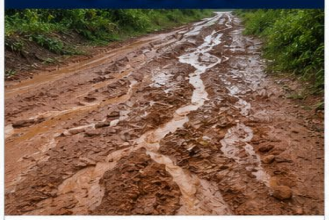
- **DURABLE & RESILIENT** – High resistance to rain damage, erosion and rutting extends service life.
- **LOWER MAINTENANCE** – Fewer grading and repair interventions mean lower maintenance costs.
- **LOWER ROAD-USER COSTS** – Smoother, more reliable surface reduces travel time, fuel use and vehicle wear.
- **BETTER VALUE** – Lowest total cost delivering long-term savings for government and communities.
- **STRONGER COMMUNITIES** – More reliable access all year round supports economic activity and social development.

INVESTING IN GEOSTAB™ STABILISED ROADS TODAY DELIVERS LOWER COSTS, BETTER PERFORMANCE AND GREATER VALUE FOR GENERATIONS TO COME.

WET-SEASON DETERIORATION MECHANISMS

COMMON DISTRESS OBSERVED ON UNSEALED ROADS DURING AND AFTER HEAVY RAINFALL

1. SURFACE EROSION



Rainfall impact and runoff remove fine particles, leaving a rough, uneven surface.

2. RUTTING



Repeated traffic in wet conditions causes permanent ruts that hold water and worsen.

3. POTHOLES



Water weakens the road and dislodges aggregates, forming potholes that grow in size and number.

4. WASHOUT / SCOUR



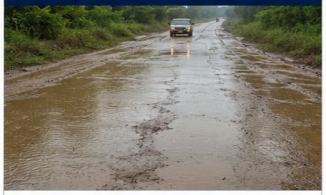
Concentrated flows cross or run along the road, removing soil and collapsing sections.

5. EDGE BREAKDOWN



Saturated edges lose support and crumble under traffic, reducing carriageway width.

6. LOSS OF SHAPE / CAMBER



Rain and traffic flatten the road shape, reducing drainage and increasing damage.

7. SUBGRADE WEAKENING



Water penetrates the pavement, softening the subgrade and reducing load-bearing capacity.

8. SLIPPERY SURFACE



Wet, fine materials create a slick surface that reduces tyre grip and increases the risk of skidding.

THESE MECHANISMS ACCELERATE DETERIORATION, INCREASE MAINTENANCE COSTS AND REDUCE ROAD ACCESS AND SAFETY.

ENGINEERING DECISION FRAMEWORK

Selecting the Right Road Solution for Performance, Cost and Value

1 DEFINE OBJECTIVES — Clarify project goals and constraints.

2 UNDERSTAND CONTEXT — Analyse site conditions, traffic, climate and stakeholders.

3 EVALUATE OPTIONS — Assess alternative solutions against key criteria.

4 COMPARE & DECIDE — Compare whole-of-life performance and cost to select the best option.

5 IMPLEMENT & MONITOR — Implement the solution and monitor performance to inform future decisions.

1. DEFINE OBJECTIVES

- Improve all-weather access and reliability
- Maximise whole-of-life value
- Minimise road-user costs and maintenance
- Enhance safety
- Support economic and social outcomes
- Use resources sustainably

2. UNDERSTAND CONTEXT

CLIMATE	TRAFFIC	ROAD ENVIRONMENT	PROJECT CONSTRAINTS	STAKEHOLDERS
Rainfall intensity Wet-season length Flood risk	Traffic volume Axle loads Growth forecast	Soil type Topography Drainage conditions	Budget Timeframe Funding	Community needs Agency requirements Local capacity

3. EVALUATE OPTIONS

CONSIDER SOLUTIONS	STRUCTURAL PERFORMANCE Strength, durability, resistance to rutting & erosion	DURABILITY IN WET SEASON Performance under heavy rain and saturation	CONSTRUCTION FEASIBILITY Local equipment, skills, materials and programme	ROAD-USER IMPACT Travel time, vehicle operating cost, safety	MAINTENANCE REQUIREMENT Frequency, effort and cost over life	WHOLE-OF-LIFE COST Net present cost over design life (20+ years)
GEOSTAB™ STABILISED SOIL-CEMENT (150 mm typical)	High	Excellent	High	Low	Low	Low
CONVENTIONAL SOIL-CEMENT (200 mm typical)	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium
CRUSHED ROCK GRAVEL (150 mm typical)	High	High	Low	Low	High	High
ASPHALT PAVEMENT (50 mm typical)						

EXCELLENT / LOW COST · GOOD · FAIR / MEDIUM · POOR / HIGH COST

4. COMPARE & DECIDE

WHOLE-OF-LIFE COST COMPARISON (Example – 20 Year NPV, USD per km)



DECISION CHECKLIST

- ☑ Meets technical performance requirements
- ☑ Performs well in wet-season conditions
- ☑ Lowest whole-of-life cost
- ☑ Affordable to build and maintain
- ☑ Minimises road-user costs
- ☑ Feasible with local capacity and resources
- ☑ Supports long-term sustainability goals

DECISION OUTCOME (Example)

GEOSTAB™ STABILISED SOIL-CEMENT

Delivers the best balance of performance, resilience and whole-of-life value for this project.

5. IMPLEMENT & MONITOR

- **Detailed Design** — Finalise design, QA/QC plan and specifications.
- **Construction** — Quality construction and documentation.
- **Monitoring** — Monitor performance through wet and dry seasons.
- **Evaluate** — Assess performance and costs against objectives.
- **Improve** — Apply lessons learned to future projects and networks.

KEY TAKEAWAY

Use data, engineering judgement and whole-of-life thinking to select the solution that delivers the greatest long-term value for communities and the economy.

BETTER ROADS Improved access and reliability

LOWER COSTS Reduce maintenance and road-user costs

STRONGER COMMUNITIES Support safety, jobs and development

SUSTAINABLE FUTURE Build resilient roads for tomorrow's challenges

Chapter 4 – The GeoStab Technology

Technology Overview

GeoStab is an advanced polymer-based soil Stabilization additive designed for use with cement and virtually any in-situ soils. The objective is to enhance the engineering performance of stabilised pavements by improving durability, load-bearing capacity and resistance to moisture-related deterioration while making maximum use of locally available materials.

Engineering Concept

Rather than replacing conventional Stabilization practice, GeoStab is incorporated into the soil–cement process. While or after the existing pavement material has been pulverised and blended with the specified quantities of cement and GeoStab, the layer is moisture conditioned, mixed, shaped and compacted to the required density before opening to traffic within 3 hours of final compaction.

Construction Methodology

Typical construction follows established full-depth reclamation and Stabilization practices: site preparation, pulverisation, binder application, mixing, moisture conditioning, grading, and compaction. This approach enables the reuse of in-situ materials, reducing dependence on imported aggregates where suitable local soils are available.

Expected Performance Benefits

Based on previous testing and field experience, the technology is intended to improve structural performance, reduce susceptibility to washout, increase operational reliability during wet conditions and lower long-term maintenance requirements. The Madagascar demonstration Program has been designed to verify these outcomes under local conditions using independent monitoring.

Indicative Construction Sequence

Stage	Description
1. Site preparation	Survey, traffic management and preparation.
2. Pulverisation	Existing pavement processed to design depth.
3. Binder application	Specified cement and GeoStab added.
4. Mixing	Uniform blending with moisture conditioning.
5. Shaping & compaction	Trimmed and compacted to specification.
6. Curing	Controlled curing before normal service.

GEOSTAB™ STABILISED ROAD CONSTRUCTION SEQUENCE

A PROVEN PROCESS FOR STRONG, DURABLE ROADS THAT LAST

BUILT TO RESIST
Rain, erosion and heavy traffic

FAST TO CONSTRUCT
Open to traffic in as little as 3 hours*

LONG-LASTING
10–20 year design life

SUSTAINABLE
Uses local materials and fewer resources

COST-EFFECTIVE
Lower whole-of-life cost than traditional options

1 SITE CLEARING & SET-OUT



KEY ACTIVITIES
- Clear vegetation, remove obstructions
- Set alignment, levels and width

EQUIPMENT
Survey Equipment

OUTCOME
Clean, set-out corridor ready for construction

2 SPREAD CEMENT



KEY ACTIVITIES
- Spread cement at the specified rate
- Ensure even coverage across full width

EQUIPMENT
Coment Spreader

OUTCOME
Uniform cement application

3 ADD GEOSTAB™ POLYMER



KEY ACTIVITIES
- Apply GeoStab™ polymer at specified dosage
- Ensure even application across full width

EQUIPMENT
GeoStab™ Distributor

OUTCOME
Uniform GeoStab™ application

4 MIXING / PULVERISING



KEY ACTIVITIES
- Mix in-situ soil, cement and GeoStab™ to the required depth
- Achieve uniform distribution

EQUIPMENT
Reclaimer / Stabiliser

OUTCOME
Homogeneous, well-mixed stabilised material

5 SHAPING & GRADING



KEY ACTIVITIES
- Grade to design levels and crossfall
- Shape for proper drainage

EQUIPMENT
Motor Grader

OUTCOME
Correct profile, level and crossfall

6 WATERING



KEY ACTIVITIES
- Add water to achieve optimum moisture content
- Ensure even moisture distribution

EQUIPMENT
Water Cart

OUTCOME
Optimum moisture for compaction

7 COMPACTION



KEY ACTIVITIES
- Compact in multiple passes
- Achieve target density and smooth finish

EQUIPMENT
Padfoot Roller
Smooth Drum Roller

OUTCOME
Dense, strong and durable layer

8 FINAL SHAPING & TIDY UP



KEY ACTIVITIES
- Final trim and shaping
- Clean up excess material
- Ensure proper drainage and batters

EQUIPMENT
Grader

OUTCOME
Finished surface ready for curing

9 OPEN TO TRAFFIC IN AS LITTLE AS 3 HOURS*



KEY ACTIVITIES
- Allow moisture to cure and strength to develop
- Light traffic in 3 hours* Full traffic as specified

EQUIPMENT
Monitoring

OUTCOME
Durable road delivering long-term performance

TYPICAL CONSTRUCTION PLANT

Reclaimer / Stabiliser → Cement Spreader → GeoStab™ Distributor
Water Cart → Motor Grader → Compaction (Padfoot & Roller)

TYPICAL SECTION (150 mm)



QUALITY CONTROL THROUGHOUT

Material Testing → Moisture Control → Density Testing → Level & Crossfall Verification → Documentation & Records

TYPICAL CONSTRUCTION PLANT

Reclaimer / Stabiliser → Cement Spreader → GeoStab™ Distributor
Water Cart → Motor Grader → Compaction (Padfoot & Roller)

THE RIGHT PROCESS. THE RIGHT MATERIALS. THE RIGHT RESULT.

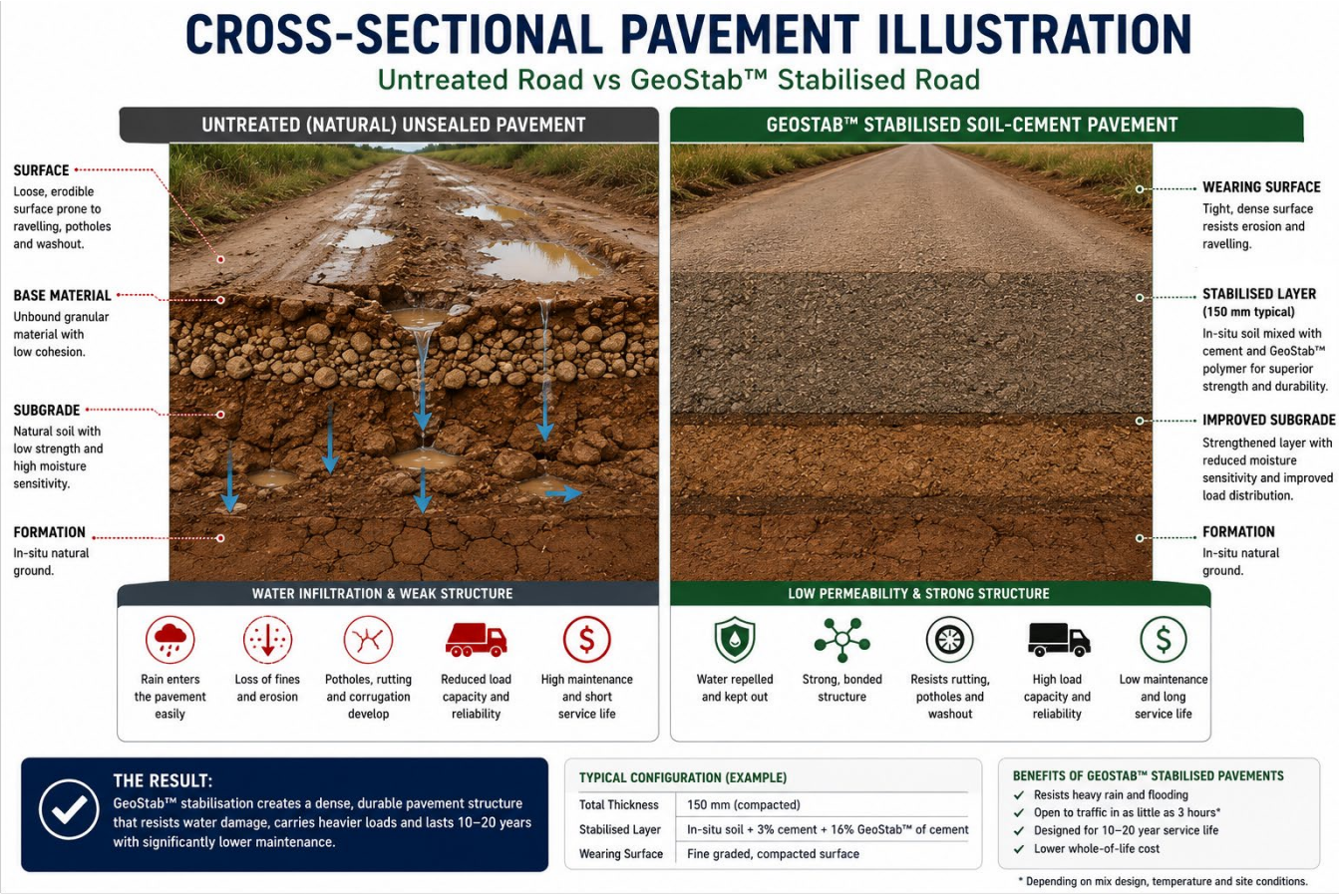
STRONGER ROADS
Built to withstand heavy traffic and harsh conditions

FASTER CONSTRUCTION
Efficient process minimises time on road disruption

LOWER COSTS
Lower maintenance and road-user costs over the life

BETTER FOR COMMUNITIES
Improved access, safety and economic opportunities

A SUSTAINABLE CHOICE
Uses local materials and reduces carbon emissions



Flowchart showing the construction process for high end roads.



1. Site clearing and set out
2. Cement spreading
3. GeoStab pre-mixed in water tank at correct ratio hooked up to stabilizer
4. Stabiliser injecting GeoStab at designed rate and mixing cement, GeoStab, and in-situ soil
5. Watering if required to maintain OMC
6. Initial compaction with pad foot roller
7. Final compaction with smooth drum roller
8. Final shaping and tidy up

Flowchart showing the construction process for low end roads



1. Site clearing and set out with basic bulldozer
2. Cement spreading by bag by hand
3. GeoStab pre-mixed in water tank at correct ratio sprayed onto surface
4. Tractor pulled rotary hoe mixing cement, GeoStab, and in-situ soil
5. Watering if required to maintain OMC
6. Initial compaction with tractor pulled pad foot roller
7. Final compaction with tractor pulled smooth drum roller
8. Final shaping and tidy up
9. Open to traffic

Chapter 5 – Independent Testing and Technical Validation

Purpose of Independent Validation

Independent testing provides an objective engineering basis for evaluating the performance of the GeoStab Stabilization system. Laboratory investigations and field experience form an important foundation for the proposed Madagascar demonstration Program, while recognising that local verification under Malagasy conditions remains essential.

Laboratory Testing

GeoStab has undergone laboratory evaluation by independent testing organisations to assess engineering characteristics including compressive strength and stabilised material performance. These results provide confidence for progressing to controlled field evaluation but should be interpreted alongside site-specific investigations.

Previous Field Demonstration

Prior to the Madagascar initiative, GeoStab was applied to several sites within Australia as well as on a heavy-duty mine haul road in Vietnam. The demonstrations provided valuable operational experience under demanding traffic conditions and informed subsequent Program development.

Madagascar Validation Strategy

The Madagascar Road Stabilization Program has been structured around an independently monitored demonstration section. Performance indicators are expected to include structural condition, moisture resistance, trafficability, maintenance requirements and long-term pavement behavior through the wet season.

Summary of Technical Validation

Validation Activity	**Purpose**	**Program Status**
Independent laboratory testing	Engineering performance assessment	Completed
Vietnam field application	Operational validation	Completed
LNTPB testing	Local technical evaluation	Completed
Madagascar demonstration section	Field verification under local conditions	Planned
Wet-season monitoring	Performance assessment	Planned



GeoStab stabilized Cao Son Mine Haul road after 6 months of use including periods of heavy rain
Not one Pothole
No Rutting
No Washout of any kind
Picture taken the day after heavy storm passed through

Chapter 6 – Vietnam Mine Haul Road Demonstration

Project Background

The Vietnam mine haul road demonstration represented an early full-scale application of the GeoStab Stabilization system under demanding industrial operating conditions. Heavy vehicle loading and continuous use provided an opportunity to observe performance beyond laboratory testing.

Objectives

The demonstration was undertaken to evaluate constructability, structural behavior and durability using conventional Stabilization equipment and procedures while monitoring operational performance over an extended period.

Construction and Monitoring

The trial section was constructed using in-situ materials combined with cement and the GeoStab additive. The road was subsequently monitored during normal mining operations to observe pavement conditions, trafficability and maintenance requirements.

Key Outcomes

Experience gained from the Vietnam Program and subsequent technical development demonstrated that full-scale field evaluation is an essential step between laboratory testing and wider commercial deployment. The Madagascar demonstration Program builds on this staged validation approach by providing independent assessment under local climatic and operational conditions.

Demonstration Summary

Aspect	**Summary**
Application	Mine haul road
Purpose	Full-scale operational validation
Traffic	Heavy industrial vehicles
Monitoring	Long-term field observations
Contribution	Foundation for subsequent Madagascar Program

Chapter 7 – The GeoStab Madagascar Road Stabilization Program

Program Vision

The GeoStab Madagascar Road Stabilization Program has been established to evaluate an advanced road Stabilization technology through a structured, independently monitored demonstration under Malagasy conditions. The Program seeks to provide decision-makers

with objective engineering, operational and economic evidence before considering broader implementation.

Strategic Objectives

The Program aims to demonstrate improved pavement durability, enhanced wet-season resilience, reduced maintenance demand and better whole-of-life value while supporting the use of local construction materials and established Stabilization practices.

Program Partners

The initiative has been developed through collaboration between Global Trade & Marketing Pty Ltd, Malagasy stakeholders, technical organisations and prospective construction partners. Independent testing, government engagement and contractor participation are intended to ensure transparent evaluation and clearly defined responsibilities.

Implementation Philosophy

The Program follows a staged approach: laboratory validation, independent technical review, controlled field demonstration, wet-season performance monitoring and evidence-based evaluation. Each stage is intended to reduce technical and commercial risk before wider deployment is considered.

Program Framework

Program Element	**Purpose**	**Status**
Independent testing	Technical validation	Completed
Government engagement	Program support	Established
Demonstration section	Field validation	Planned
Performance monitoring	Evidence collection	Planned
Commercial assessment	Future deployment decision	Future

GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME

PROGRAMME GOVERNANCE OVERVIEW

OUR PURPOSE: Deliver a successful demonstration programme that proves the performance, value and scalability of GeoStab™ technology on Malagasy roads.

GOVERNANCE STRUCTURE

STRATEGIC OVERSIGHT
Provides direction, approval and strategic decisions

PROGRAMME STEERING COMMITTEE
Oversees delivery, manages risks and resolves issues

PROGRAMME MANAGEMENT TEAM
Plans, coordinates and monitors day-to-day delivery

DELIVERY WORKSTREAMS
Execute and deliver activities and outputs

STRATEGIC OVERSIGHT COMMITTEE
- Ministry of Public Works (MTP) — Chair
- Malagasy State / EDBM — Member
- GTM Group Australia — Observer

ROLE
Provides strategic direction, approves major decisions and ensures alignment with national priorities and policies.

PROGRAMME STEERING COMMITTEE
- MTP / DG Routes — Member
- LNTPB — (Member)
- SOGEA SATOM — (Member)
- GTM Group Australia — (Member)
- Local Partner / Contractor (e.g. Maubuisson) — (Member)
- EDBM / Adviser — (Advisor)

ROLE
Provides oversight of progress, approves plans and budgets, manages risks and issues, and ensures effective coordination and communication among stakeholders.

PROGRAMME MANAGEMENT TEAM
- Programme Manager (GTM)
- Technical Manager (GTM)
- Commercial & Finance Manager (GTM)
- Site Implementation Lead (Contractor)
- QA / Monitoring Lead (LNTPB)
- Stakeholder & Gov. Liaison (GTM / Local Partner)

ROLE
Manages day-to-day activities, ensures plans are executed, resources are coordinated and reporting is completed.

DELIVERY WORKSTREAMS
- TECHNICAL & DESIGN — Trial design, mix design, methodology, site selection
- PROCUREMENT & SUPPLY — GeoStab™ product, cement, equipment, logistics
- CONSTRUCTION & OPERATIONS — Site preparation, stabilisation, compaction, quality control
- MONITORING & EVALUATION — Performance monitoring, testing, data collection
- SAFETY, ENVIRONMENT & COMMUNITY — HSE management, community engagement, environment
- COMMUNICATIONS — Internal & external comms, reporting, documentation

ROLE
Execute specific activities to plan, deliver outputs to standard, manage risks and report progress.

KEY GOVERNANCE PRINCIPLES

COLLABORATION	All key stakeholders work together transparently with a common objective.
ACCOUNTABILITY	Clear roles, responsibilities and decision rights at every level.
TRANSPARENCY	Open communication, shared information and clear reporting.
QUALITY & INTEGRITY	Decisions and actions are evidence-based, ethical and focused on long-term value.
RESULTS FOCUSED	Deliver measurable outcomes and a successful proof of performance.

DECISION-MAKING & ESCALATION

- **Day-to-day decisions:** Programme Management Team
- **Operational decisions:** Within approved plans and budgets
- **Material decisions (scope, budget, timeline, risks):** Steering Committee
- **Strategic decisions & approvals:** Strategic Oversight Committee
- **Escalation Path:** PMT → Steering Committee → Strategic Oversight Committee

DECISION-RIGHTS MATRIX (SUMMARY)

Approve / Decide · Recommend · Consult · Commit

RACI MATRIX (SUMMARY)

ACTIVITY	MTP / DG Routes	LNTPB	SOGEA SATOM	GTM Group	Local Partner / Contractor	EDBM / Adviser
Programme Strategy & Approval	A	C	C	R	I	C
Trial Design & Methodology	C	A	R	R	I	C
Procurement & Supply	C	I	C	A	R	I
Construction & Implementation	I	C	A	C	R	I
Quality Control & Testing	C	A	R	C	R	I
Monitoring & Evaluation	C	A	C	R	C	C
Reporting	A	C	C	R	C	C

REPORTING
- **Weekly:** Internal progress updates
- **Monthly:** Steering Committee reports
- **Milestone Reports:** Key deliverables and decisions
- **Final Report:** Trial results, learnings and recommendations

GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME

STAKEHOLDER RELATIONSHIP DIAGRAM

Collaborating for stronger, more durable roads in Madagascar

GOVERNMENT & PUBLIC AUTHORITIES

- **Ministry of Public Works (MTP)**
  - Policy direction
  - Programme approval
  - Strategic oversight
- **EDBM / Roads Authority**
  - Road network planning
  - Technical guidance
  - Standards & approval
- **LNTPB (National Lab)**
  - Independent testing
  - Quality assurance
  - Performance validation
- **Local Authorities**
  - Regional & Municipal
  - Site identification
  - Community engagement

Policy, approval, alignment & strategic direction · Technical guidance, standards & approvals · Testing results, certification & validation · Local support, permits & community engagement

TECHNOLOGY PROVIDER

GTM GROUP

GTM Group Australia
- GeoStab™ technology owner
- Product supply & technical support
- Training & know-how transfer

Technology, products, training ⟷ Performance feedback, continuous improvement

GEOSTAB™ MADAGASCAR PROGRAMME
Coordination & Programme Management
GTM Group Australia

Technical collaboration, methodology, support ⟷ Performance data, lessons learned

CONSTRUCTION & IMPLEMENTATION PARTNERS

SOGEA SATOM VINCI

SOGEA SATOM Madagascar
- Technical leadership
- Construction supervision
- Quality & HSE management

FUNDING & SUPPORT PARTNERS
- Development Partners
- Financial Institutions
- Private Investors
- PIR 3M & Other Programmes

Funding, resources, strategic support

Funding, support, strategic alignment ⟷ Results, impact reporting, value delivery

LOCAL CONTRACTORS & SUPPLIERS
- Local contractor (e.g. Maubuisson)
- Equipment mobilisation
- Execution of works
- Local materials & services

Work execution, local knowledge ⟷ Reporting, progress, site feedback

Engagement, consultation, communication · Feedback, local insights, social acceptance

TECHNICAL ADVISORS & EXPERTS
- Independent advisors
- University / Research partners
- Industry experts

Expert advice, innovation support

Technical input, innovation ⟷ Data, results, field experience

COMMUNITIES & ROAD USERS
- Local communities
- Transport operators
- Businesses & road users

Local engagement & communication

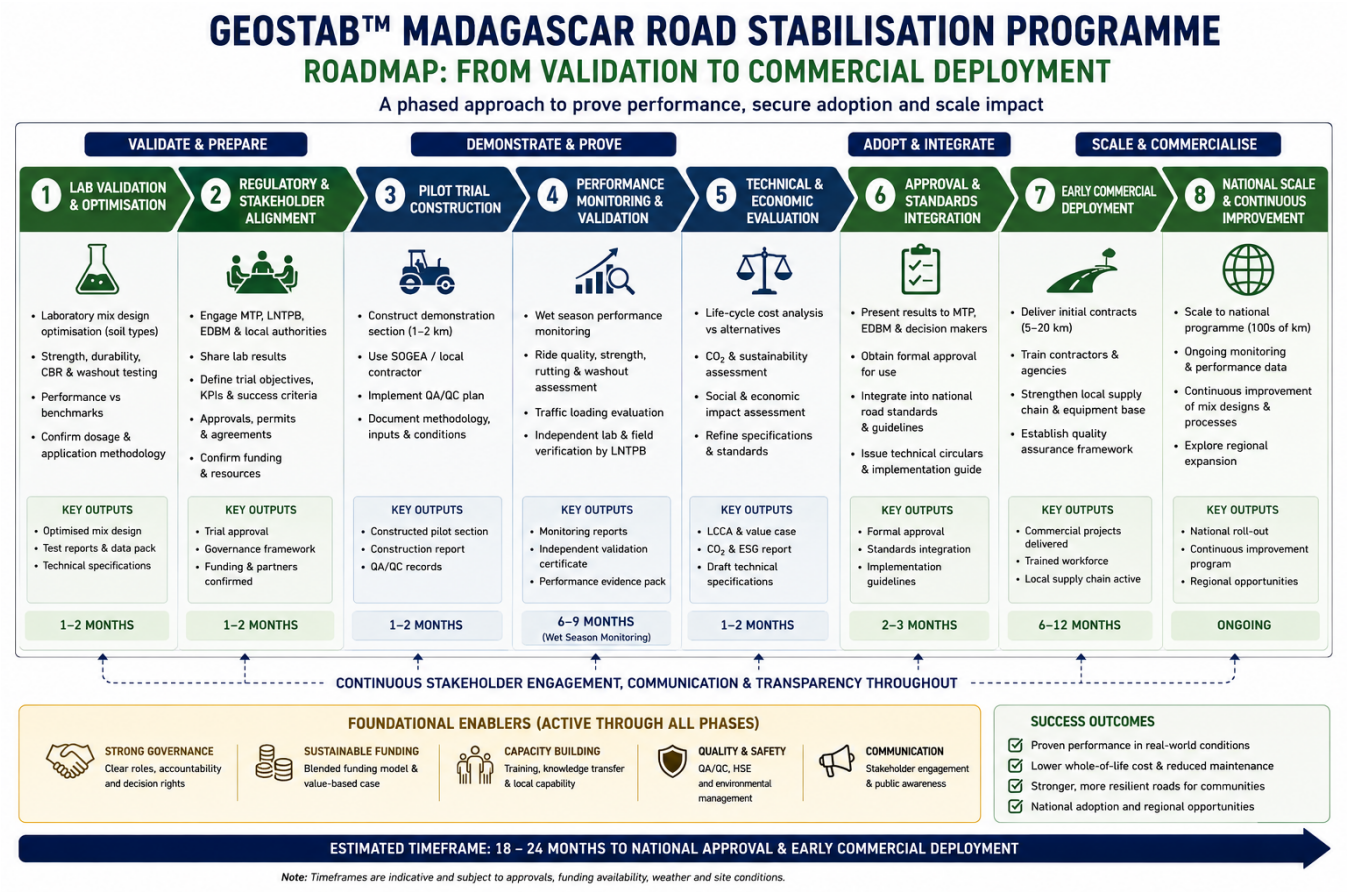
Monitoring, evaluation, independent assurance ⟷ Reports, recommendations, performance insights

MONITORING, EVALUATION & ASSURANCE
- Independent QA / QC
- Monitoring & evaluation experts
- HSE & Environmental advisors

Independent assurance

RELATIONSHIP KEY
Strategic / Governance Relationship · Operational / Working Relationship · Technical / Advisory Relationship · Contractual / Implementation Relationship · Assurance / Oversight Relationship

SHARED GOAL: Deliver a successful demonstration programme that proves the performance, value and scalability of GeoStab™ technology for stronger, more durable and climate-resilient roads in Madagascar.



Chapter 8 – Demonstration Trial Program and Methodology

Purpose of the Demonstration Program

The proposed demonstration Program is intended to provide independently verifiable engineering evidence of GeoStab performance under Malagasy climatic, traffic and construction conditions. The Program is designed as a controlled field evaluation rather than commercial deployment.

Trial Methodology

The demonstration section will be constructed using conventional road Stabilization equipment and accepted engineering practices. Construction activities are expected to include site preparation, pavement pulverization, controlled addition of stabilising materials, moisture conditioning, mixing, grading, and compaction in accordance with the approved methodology.

Performance Monitoring

Following construction, the demonstration section will be monitored throughout the wet season using agreed engineering performance indicators. These may include structural condition, ride quality, rutting, erosion resistance, drainage behaviour, maintenance interventions and operational availability.

Evaluation Framework

The results of the demonstration will provide the evidence required for participating stakeholders to assess technical performance, construction practicality, lifecycle implications and potential suitability for wider application within Madagascar.

Indicative Demonstration Workflow

Stage	Description
Planning	Site selection, approvals and construction planning.
Construction	Execution of the demonstration section.
Initial Assessment	Post-construction engineering inspection.
Wet-Season Monitoring	Performance observations during operation.
Technical Review	Independent evaluation of results.
Commercial Decision	Assessment of future deployment opportunities.

Chapter 9 – Program Governance, Roles and Responsibilities

Governance Principles

The GeoStab Madagascar Road Stabilization Program is intended to operate under a transparent governance framework that clearly defines responsibilities, supports independent technical evaluation and promotes evidence-based decision-making throughout the demonstration process.

Stakeholder Responsibilities

Participating organisations are expected to contribute according to their respective areas of expertise. Responsibilities may include Program coordination, technical oversight, construction delivery, laboratory testing, engineering review, monitoring and reporting.

Independent Evaluation

A fundamental objective of the Program is to ensure that engineering performance is assessed independently using agreed inspection procedures, documented observations and measurable technical criteria. This approach supports confidence in the resulting conclusions.

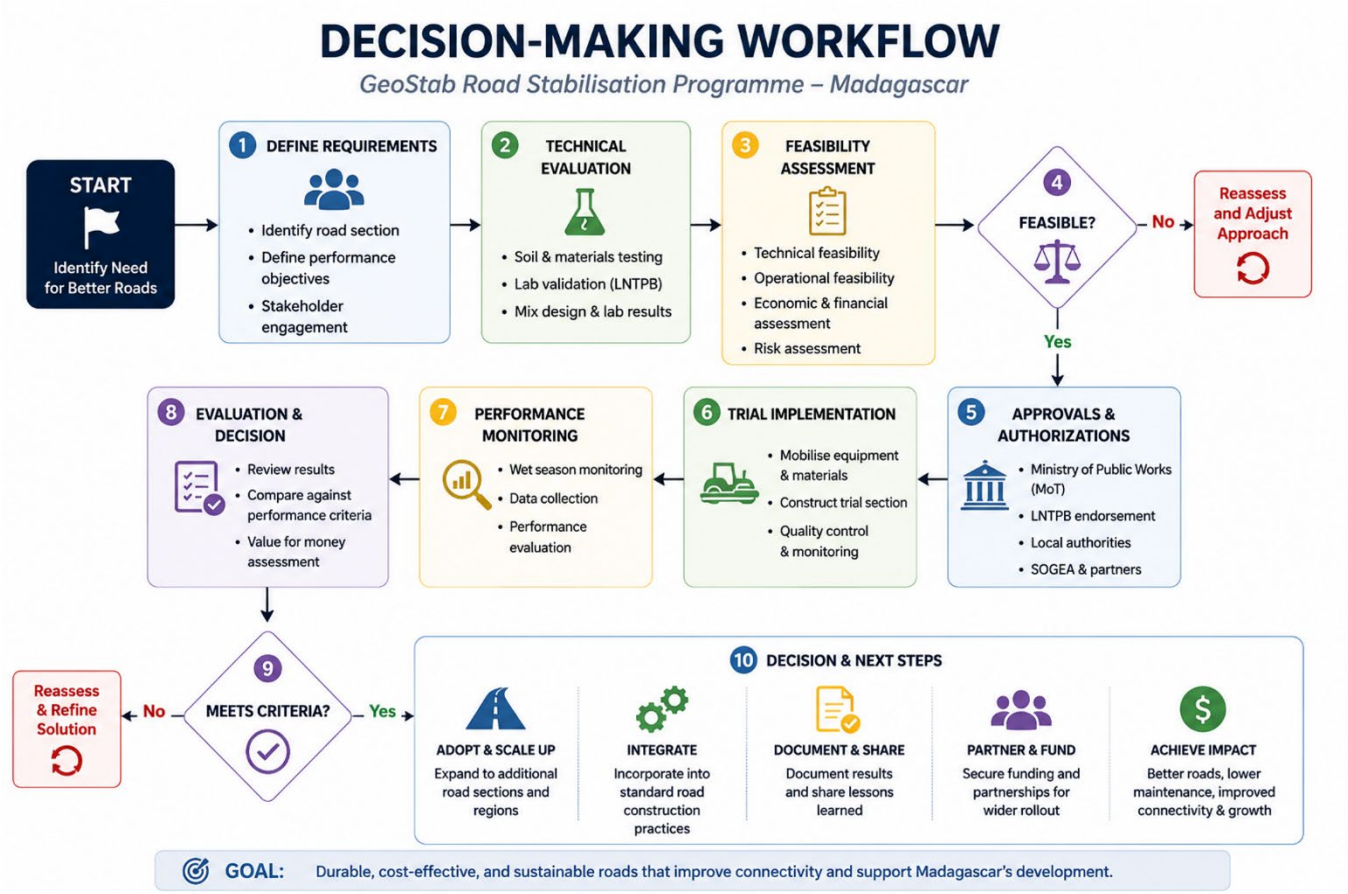
Decision-Making Process

Progression beyond the demonstration phase should be determined only after reviewing the independently collected engineering evidence, construction experience, operational

performance and whole-of-life considerations. Future implementation decisions should remain the responsibility of the participating stakeholders.

Illustrative Governance Structure

Participant	Illustrative Role
Program Sponsor	Overall Program coordination
Government Agencies	Approvals and oversight
Technical Laboratory	Independent testing and reporting
Construction Partner	Execution of demonstration works
Program Management	Monitoring, documentation and coordination
Independent Review	Assessment of engineering outcomes





Chapter 10 – Program Delivery Timeline and Implementation Roadmap

Implementation Strategy

The GeoStab Madagascar Road Stabilization Program has been structured as a phased implementation process. Each phase builds on the successful completion of the previous stage, allowing technical, operational and commercial risks to be progressively reduced before wider deployment is considered.

Pre-Implementation Activities

Initial activities include manufacturing, quality assurance, shipping, site preparation, stakeholder coordination and mobilisation of construction resources. These activities are intended to ensure that the demonstration can be completed before the onset of the principal wet season where practical.

Demonstration and Monitoring

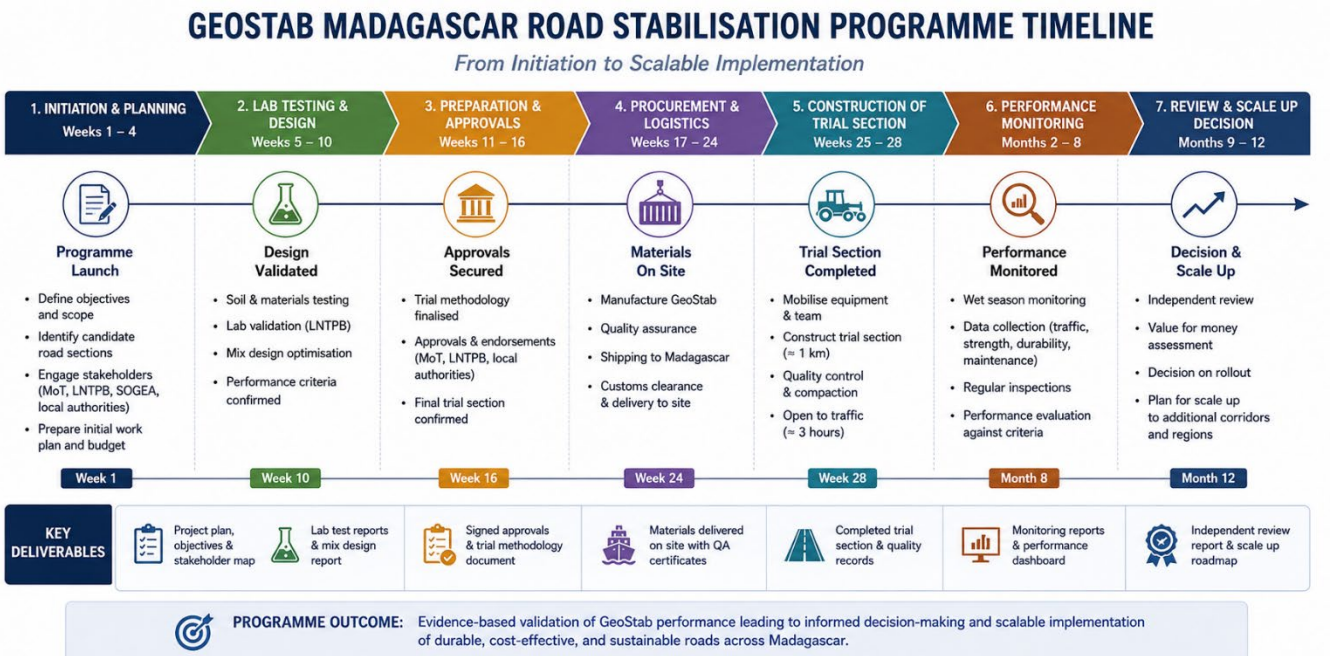
Following construction, the demonstration section is expected to undergo a structured monitoring Program throughout the wet season. Engineering observations and performance data will provide the basis for independent technical evaluation.

Future Decision Pathway

Following completion of monitoring and review, participating stakeholders may consider future implementation options based on the independently documented engineering evidence, economic assessment and operational outcomes.

Illustrative Program Roadmap

Phase	Key Activity	Outcome
1	Manufacturing and logistics	Product available on site
2	Construction	Demonstration section completed
3	Wet-season monitoring	Engineering performance data
4	Independent evaluation	Technical assessment
5	Commercial review	Evidence-based implementation decision



Chapter 11 – Economic Analysis and Whole-of-Life Value

Investment Perspective

Road infrastructure should be assessed on the basis of whole-of-life performance rather than initial construction cost alone. The objective of the GeoStab Madagascar Program is to determine whether improved pavement durability can reduce long-term expenditure while maintaining acceptable engineering performance.

Lifecycle Cost Philosophy

Whole-of-life value considers construction costs together with maintenance frequency, operational availability, rehabilitation requirements, user impacts and expected service life. A higher initial investment may provide better value if it materially reduces future maintenance and disruption.

Potential Economic Benefits

If independently verified during the demonstration Program, improvements in pavement durability could contribute to lower maintenance demand, fewer traffic disruptions, reduced vehicle operating costs and more reliable access for agriculture, mining and regional communities.

Evidence-Based Assessment

The demonstration Program has been designed to generate engineering and operational data that can be incorporated into future lifecycle cost analyses. Any economic conclusions should be based on measured field performance rather than projected assumptions alone.

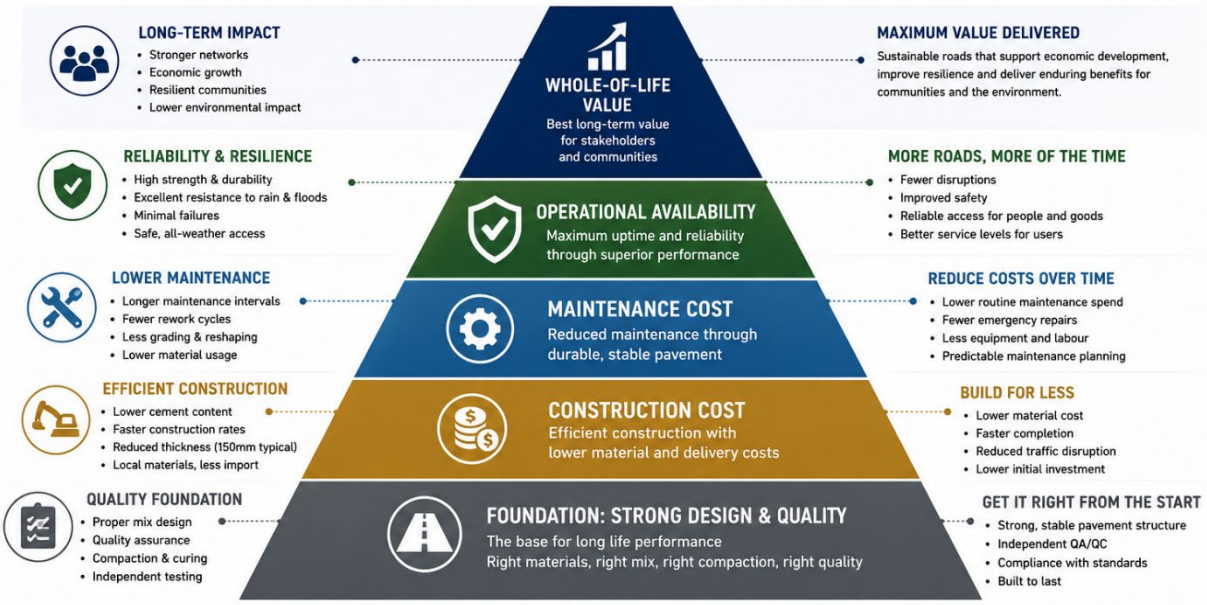
Illustrative Whole-of-Life Value Framework

Cost Element	**Traditional Focus**	**Whole-of-Life Perspective**
Construction	Initial capital	Capital plus future performance
Maintenance	Routine expenditure	Lifetime intervention costs
Operations	Often excluded	Road availability and user impacts
Service Life	Design period	Measured long-term performance
Decision Basis	Lowest initial cost	Best overall value

GEOSTAB™ ROAD STABILISATION

WHOLE-OF-LIFE VALUE PYRAMID

Delivering Sustainable Value Across the Entire Life Cycle



GEOSTAB™ DELIVERS SUPERIOR WHOLE-OF-LIFE VALUE

Lower total cost of ownership | Stronger, more durable road assets | Reliable access in all seasons | Sustainable solution for people and communities | Better value today, lasting benefits tomorrow

GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION

MAINTENANCE COST COMPARISON (10 YEAR ANALYSIS)

Lower Maintenance. Lower Costs. Higher Value Over the Life of the Road.

ROAD SECTION ASSUMPTIONS
- 1 km length x 6 m width (6,000 m²)
- Standard traffic (heavy vehicle access)
- 10 year analysis period
- Costs in MGA (Malagasy Ariary)

COST COMPONENTS INCLUDED
- Routine Maintenance
- Periodic Maintenance
- Major Maintenance / Rehabilitation
- Unplanned Repairs

MAINTENANCE STRATEGY
Cost estimates based on typical maintenance interventions required to maintain serviceability and performance in wet season conditions.

GEOSTAB™ BENEFIT
Designed for superior durability and resistance to water damage, significantly reducing the need for maintenance.

MAINTENANCE ACTIVITIES (10 YEAR PERIOD)	GEOSTAB™ STABILISED ROAD (150mm Soil Cement + GeoStab™)	CONVENTIONAL SOIL CEMENT ROAD (200mm, 5% Cement)	CRUSHED ROCK ROAD (150mm)	ASPHALT ROAD (50mm Wearing Course)
Routine Maintenance (Grading, clearing, spot repairs)	2,460,000 Minimal grading and clearing	7,800,000 Frequent grading, repairs	9,600,000 Frequent grading	5,200,000 Patching, crack sealing
Periodic Maintenance (Reshaping, regravelling, surface dressing)	6,800,000 One light reshaping at Year 5	24,300,000 Reshaping + regravelling at Years 3, 7	28,800,000 Regravelling at Years 2, 5, 8	36,000,000 Reseal / thin overlay at Years 4, 8
Major Maintenance / Rehabilitation (Reconstruction, re-stabilisation, thick overlay)	0 No major rehab required	73,000,000 Rehabilitation at Year 6	60,000,000 Regravelling + base repair at Year 6	95,000,000 Major overlay at Year 7
Unplanned Repairs (Washouts, potholes, damage repairs)	2,050,000 Minimal spot repairs	25,900,000 Washouts & damage repairs	18,600,000 Potholes & washouts	9,800,000 Pothole repairs
TOTAL MAINTENANCE COST (10 YEARS)	11,310,000	131,000,000	117,000,000	146,000,000
TOTAL COST PER m² OVER 10 YEARS (MGA)	1,885 per m²	21,833 per m²	19,500 per m²	24,333 per m²

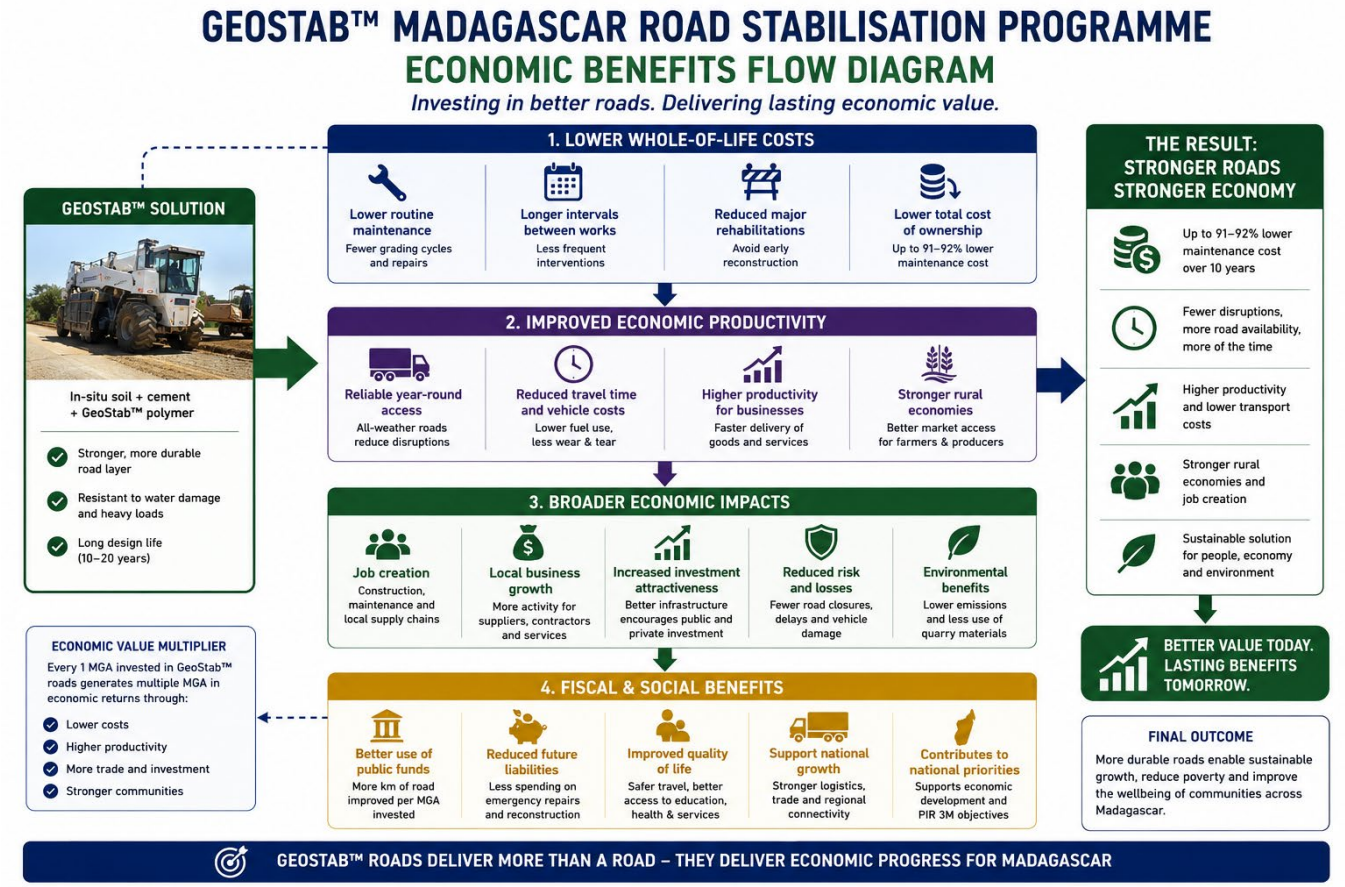
COST SAVINGS WITH GEOSTAB™

VS CONVENTIONAL SOIL CEMENT	VS CRUSHED ROCK ROAD	VS ASPHALT ROAD
SAVING: 119,690,000 MGA (91% LOWER MAINTENANCE COST)	SAVING: 105,690,000 MGA (90% LOWER MAINTENANCE COST)	SAVING: 136,690,000 MGA (92% LOWER MAINTENANCE COST)



GEOSTAB™ DELIVERS UP TO 92% LOWER MAINTENANCE COST OVER 10 YEARS

Lower Maintenance = Lower Cost of Ownership = Higher Value for Money = Better Roads for Madagascar



Chapter 12 – Environmental, Sustainability and ESG Considerations

Sustainability Context

Transport infrastructure plays a significant role in supporting sustainable economic development. Road construction methods that improve durability and reduce the frequency of maintenance interventions may contribute to more efficient use of resources over the life of an asset.

Environmental Considerations

The GeoStab Madagascar demonstration Program has been designed to evaluate engineering performance while considering broader environmental outcomes. Potential areas of interest include reduced consumption of imported construction materials, greater utilisation of in-situ soils where suitable, and lower maintenance-related resource use over time.

Social Benefits

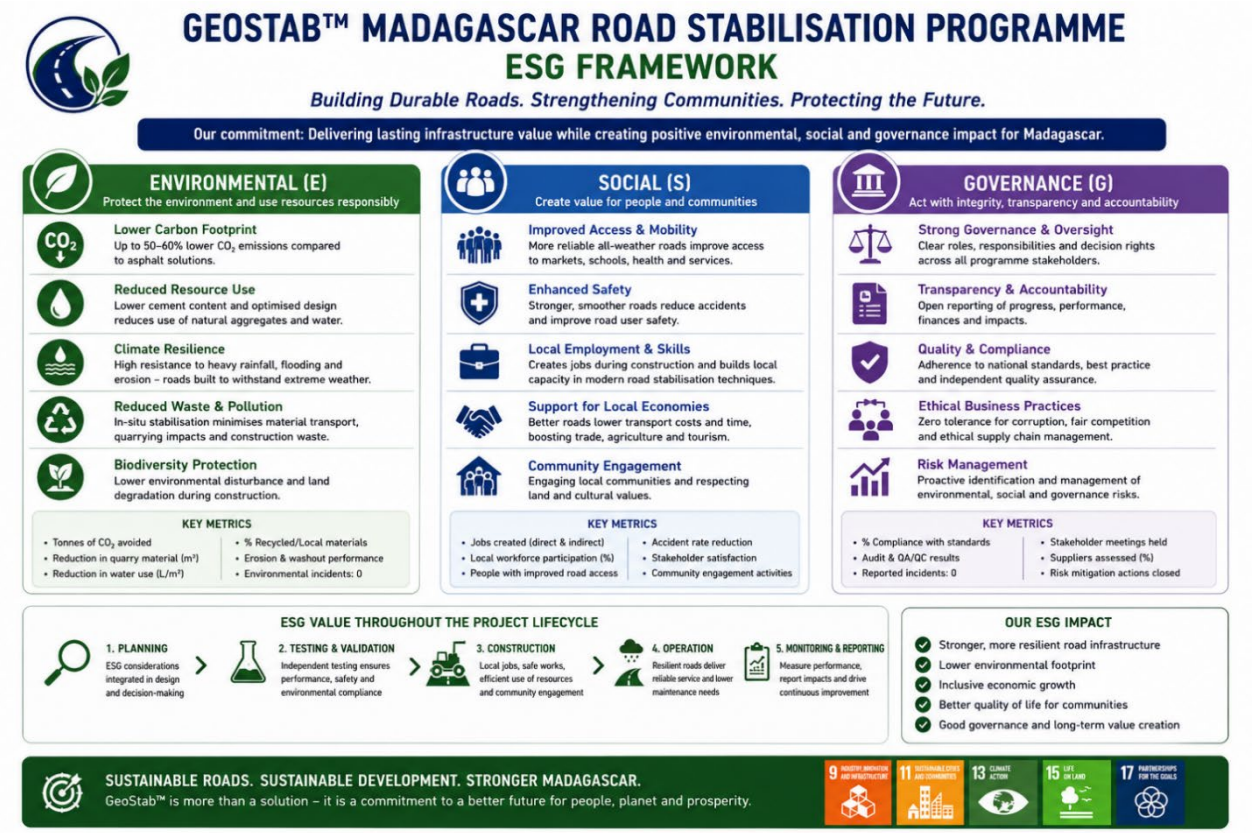
More reliable road infrastructure has the potential to improve year-round access to education, healthcare, markets and employment opportunities. Reduced road closures during adverse weather may strengthen community resilience and regional connectivity.

Governance and ESG

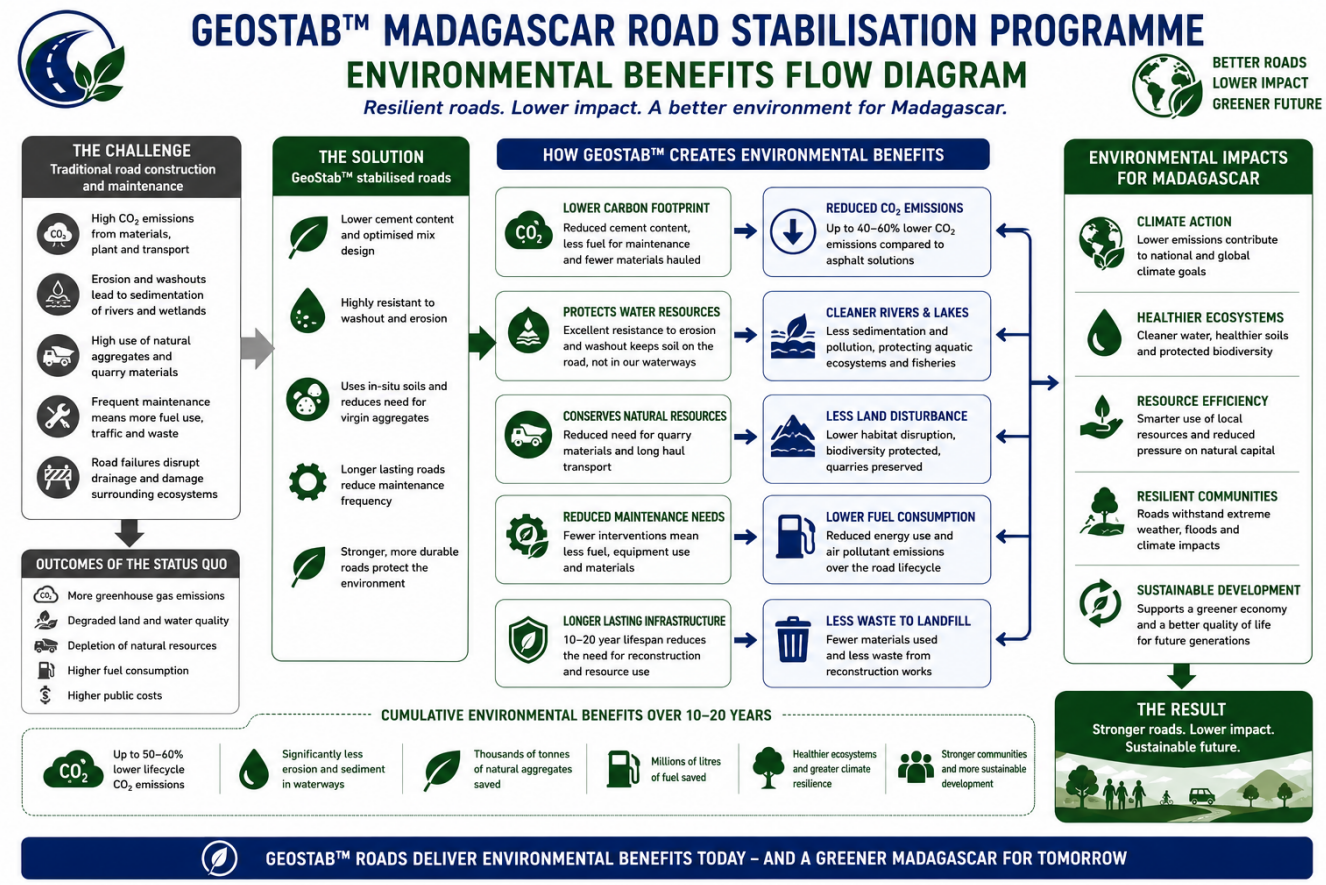
The Program emphasises transparent governance, independent technical assessment and evidence-based decision-making. These principles align with broader environmental, social and governance (ESG) objectives by supporting accountability, stakeholder engagement and responsible infrastructure planning.

Illustrative ESG Framework

ESG Pillar	Program Focus	Potential Outcome
Environmental	Resource efficiency	Reduced lifecycle impacts
Social	Reliable transport access	Improved community connectivity
Governance	Independent oversight	Transparent decision-making
Engineering	Performance validation	Evidence-based implementation
Economic	Whole-of-life value	Sustainable infrastructure investment




GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME
LIFECYCLE SUSTAINABILITY ILLUSTRATION
Sustainable by Design. Responsible in Delivery. Positive Impact for Generations.
BUILDING BETTER ROADS FOR PEOPLE, PLANET AND PROSPERITY
CONTINUOUS FEEDBACK & LEARNING
1 PLANNING & DESIGN
2 MATERIALS & RESOURCES
3 CONSTRUCTION
4 OPERATION & MAINTENANCE
5 END OF LIFE / REHABILITATION
6 CONTINUOUS IMPROVEMENT
CEMENT
GEOSTAB™
• Assess needs and environmental baseline
• Optimise design using in-situ materials
• Plan for long-term performance and community needs
SUSTAINABILITY HIGHLIGHTS
Low-impact design
Use of local knowledge and materials
• Local soils + cement + GeoStab™ polymer
• Lower cement content
• Reduced need for imported aggregates
SUSTAINABILITY HIGHLIGHTS
Lower embodied carbon
Conservation of natural resources
• In-situ stabilisation with minimal material transport
• Efficient use of water and fuel
• Local labour, skills and equipment
SUSTAINABILITY HIGHLIGHTS
Lower emissions from transport and machinery
Employment and skills development
• Durable road with long service life (10–20 years)
• Minimal maintenance interventions
• Reliable performance in all weather
SUSTAINABILITY HIGHLIGHTS
Lower maintenance materials and fuel use
Reduced disruption and vehicle emissions
• Road can be re-stabilised or repurposed
• Materials remain in place and reusable
• Minimal waste sent to landfill
SUSTAINABILITY HIGHLIGHTS
Reuse of existing materials
Reduced waste and landfill
• Monitor performance and environmental impact
• Learn, adapt and innovate
• Strengthen communities and value creation
SUSTAINABILITY HIGHLIGHTS
Data-driven improvement
Long-term social and economic benefits
SUSTAINABILITY BENEFITS ACROSS THE LIFECYCLE
Up to 50–60% lower CO2 emissions vs asphalt solutions
Lower water consumption in construction
Less material transport and fewer emissions
Reduced waste and resource use
Stronger local economies and job creation
More resilient infrastructure for the future
Protecting ecosystems and natural environments
Better quality of life for communities across Madagascar
SUSTAINABLE ROADS. SUSTAINABLE FUTURE. STRONGER MADAGASCAR.
GeoStab™ delivers long-term value today while safeguarding the environment and empowering communities for tomorrow.
9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE
11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES
13 CLIMATE ACTION
15 LIFE ON LAND
17 PARTNERSHIPS FOR THE GOALS
Caring for the Planet
Investing in People
Governed with Integrity
Building Shared Prosperity


GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME
ENVIRONMENTAL BENEFITS FLOW DIAGRAM
Resilient roads. Lower impact. A better environment for Madagascar.
BETTER ROADS LOWER IMPACT GREENER FUTURE
THE CHALLENGE
Traditional road construction and maintenance
High CO2 emissions from materials, plant and transport
Erosion and washouts lead to sedimentation of rivers and wetlands
High use of natural aggregates and quarry materials
Frequent maintenance means more fuel use, traffic and waste
Road failures disrupt drainage and damage surrounding ecosystems
OUTCOMES OF THE STATUS QUO
More greenhouse gas emissions
Degraded land and water quality
Depletion of natural resources
Higher fuel consumption
Higher public costs
THE SOLUTION
GeoStab™ stabilised roads
Lower cement content and optimised mix design
Highly resistant to washout and erosion
Uses in-situ soils and reduces need for virgin aggregates
Longer lasting roads reduce maintenance frequency
Stronger, more durable roads protect the environment
HOW GEOSTAB™ CREATES ENVIRONMENTAL BENEFITS
LOWER CARBON FOOTPRINT
Reduced cement content, less fuel for maintenance and fewer materials hauled
REDUCED CO2 EMISSIONS
Up to 40–60% lower CO2 emissions compared to asphalt solutions
PROTECTS WATER RESOURCES
Excellent resistance to erosion and washout keeps soil on the road, not in our waterways
CLEANER RIVERS & LAKES
Less sedimentation and pollution, protecting aquatic ecosystems and fisheries
CONSERVES NATURAL RESOURCES
Reduced need for quarry materials and long haul transport
LESS LAND DISTURBANCE
Lower habitat disruption, biodiversity protected, quarries preserved
REDUCED MAINTENANCE NEEDS
Fewer interventions mean less fuel, equipment use and materials
LOWER FUEL CONSUMPTION
Reduced energy use and air pollutant emissions over the road lifecycle
LONGER LASTING INFRASTRUCTURE
10–20 year lifespan reduces the need for reconstruction and resource use
LESS WASTE TO LANDFILL
Fewer materials used and less waste from reconstruction works
ENVIRONMENTAL IMPACTS FOR MADAGASCAR
CLIMATE ACTION
Lower emissions contribute to national and global climate goals
HEALTHIER ECOSYSTEMS
Cleaner water, healthier soils and protected biodiversity
RESOURCE EFFICIENCY
Smarter use of local resources and reduced pressure on natural capital
RESILIENT COMMUNITIES
Roads withstand extreme weather, floods and climate impacts
SUSTAINABLE DEVELOPMENT
Supports a greener economy and a better quality of life for future generations
THE RESULT
Stronger roads. Lower impact. Sustainable future.
CUMULATIVE ENVIRONMENTAL BENEFITS OVER 10–20 YEARS
Up to 50–60% lower lifecycle CO2 emissions
Significantly less erosion and sediment in waterways
Thousands of tonnes of natural aggregates saved
Millions of litres of fuel saved
Healthier ecosystems and greater climate resilience
Stronger communities and more sustainable development
GEOSTAB™ ROADS DELIVER ENVIRONMENTAL BENEFITS TODAY – AND A GREENER MADAGASCAR FOR TOMORROW

GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME
COMMUNITY CONNECTIVITY MAP – WHOLE OF MADAGASCAR

Stronger Roads. Connected Communities. Shared Prosperity.

MAP OVERVIEW

GeoStab™ stabilised roads connect people to essential services, markets, education, healthcare and opportunities across Madagascar.

- Better all-weather access for communities
- More resilient roads reduce isolation
- Stronger local economies and inclusive growth
- Building a sustainable future for all generations

LEGEND

ROAD NETWORK
- GeoStab™ Stabilised Roads (Existing / Completed)
- GeoStab™ Stabilised Roads (Planned / Pipeline)
- National Roads
- Regional Roads
- Other Roads

CONNECTIVITY HUBS
- Major City / Provincial Capital
- Regional Centre
- Market / Growth Hub
- Community / Key Town

ESSENTIAL SERVICES
- Health Facility (Major)
- Education Centre
- Government Services
- Port / Harbour
- Airport
- Agricultural Zone
- Mining / Industrial Zone
- Water Resource / Lake



CONNECTING WHAT MATTERS

PEOPLE
Improving access to education, healthcare, clean water and social services.

MARKETS
Linking farmers and producers to markets, reducing post-harvest losses and increasing incomes.

OPPORTUNITIES
Enabling businesses, investment and tourism through reliable road access.

HEALTHCARE
Faster, safer access to healthcare facilities and emergency services.

EDUCATION
Better roads mean more children in school and stronger futures.

SUSTAINABLE GROWTH
Resilient infrastructure supports inclusive, low-carbon and long-term economic development.

OUR VISION

A connected Madagascar where every community can thrive, every journey matters, and every road builds a better future.

ECONOMIC & SOCIAL BENEFITS ACROSS MADAGASCAR

- Stronger community connections
- Reduced travel time and transport costs
- Increased trade and market access
- More jobs and local business growth
- Improved safety and resilience
- Inclusive growth and poverty reduction
- Better quality of life for present and future generations

TOGETHER, WE BUILD CONNECTIONS THAT TRANSFORM LIVES.
GeoStab™ roads connect communities, create opportunities and build a stronger, more prosperous Madagascar.

9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE · 11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES · 13 CLIMATE ACTION · 15 LIFE ON LAND · 17 PARTNERSHIPS FOR THE GOALS

Chapter 13 – Commercial Opportunity and National Rollout Strategy

Strategic Opportunity

The successful completion of the demonstration Program has the potential to provide a technical foundation for future consideration of GeoStab within Madagascar's road infrastructure sector. Any broader implementation should be based on independently verified engineering performance, economic assessment and stakeholder agreement.

Potential Applications

Subject to successful validation, the technology may be considered for rural access roads, regional transport corridors, mining and industrial roads, agricultural infrastructure and other locations where improved durability and reduced maintenance requirements could provide long-term value.

National Rollout Framework

A staged implementation strategy would enable gradual expansion from demonstration projects to larger Programs. This approach allows technical knowledge, local capability, manufacturing capacity and construction experience to develop in parallel with market demand.

Long-Term Vision

The long-term objective is to support resilient, sustainable road infrastructure through collaboration between government, contractors, technical organisations and private-sector stakeholders. Future expansion should remain evidence-driven and aligned with national infrastructure priorities.

Illustrative Rollout Pathway

Stage	**Objective**	**Indicative Outcome**
Demonstration	Technical validation	Independent evidence
Pilot Projects	Broader application	Operational experience
Regional Deployment	Expansion	Growing capability
National Program	Scaled implementation	Long-term infrastructure benefits
Export Potential	Regional markets	Technology transfer opportunities

GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME
NATIONAL ROLLOUT ROADMAP

Strong Foundations. Strategic Rollout. Connected Madagascar.

BETTER ROADS
STRONGER COMMUNITIES
SUSTAINABLE FUTURE

PHASE 0 — VALIDATION & PRIORITISATION 2025 – 2026

- Complete pilot & demonstration sections
- Finalise standards, specifications & MoT approval
- Develop national network priority plan
- Build capacity & partnerships

OUTPUT: Approved technology & priority network

PHASE 1 — EARLY DEPLOYMENT 2026 – 2027

- Roll out 100 – 300 km on high-impact corridors
- Focus on economic corridors, market access & climate vulnerable areas
- Mobilise equipment, training & local teams
- Establish local supply chain & logistics

OUTPUT: Proven performance & delivery model

PHASE 2 — SCALE & EXPAND 2027 – 2029

- Scale to 1,000 – 2,000 km across all provinces
- Connect regional centres, ports, mining & agricultural zones
- Expand local production & depots
- Strengthen community engagement & jobs

OUTPUT: National coverage growing & local value

PHASE 3 — NATIONAL INTEGRATION 2029 – 2032

- Integrate GeoStab™ into national road programs & budgets
- Embed in climate resilience & disaster risk reduction strategies
- Ongoing training, R&D & innovation
- Performance monitoring & continuous improvement

OUTPUT: Integrated, resilient road network

PHASE 4 — NATIONAL MATURITY 2032+

- 10,000+ km of durable, low-maintenance roads
- Strong local industry, jobs & skills legacy
- Lower emissions, better environment
- Inclusive growth & connected communities

OUTPUT: Sustainable roads. Stronger Madagascar.

NATIONAL ROLLOUT PRIORITY NETWORK



NATIONAL ROLLOUT ENABLERS

- **STRONG PARTNERSHIPS** — Government, private sector, communities & donors
- **SUSTAINABLE FUNDING** — Blended finance, public investment & PPP models
- **LOCAL CAPACITY** — Training, jobs & local enterprise development
- **LOCAL PRODUCTION & SUPPLY CHAIN** — Reduce costs, build resilience
- **QUALITY ASSURANCE & STANDARDS** — Consistent performance & long-term durability
- **DATA & MONITORING** — Evidence based decisions & performance tracking

ROLL OUT TARGETS

PERIOD	CUMULATIVE ROAD LENGTH	FOCUS AREAS	KEY OUTCOMES
2025 – 2026	0 – 100 km	Pilot completion, standards, priority corridors	Technology validated, plan approved
2026 – 2027	100 – 300 km	Market access roads, high impact districts	Quick wins, proof of benefits
2027 – 2029	1,000 – 2,000 km	Regional links, ports, mining, agriculture zones	Scaled delivery, economic impact
2029 – 2032	3,000 – 6,000 km	National integration, all provinces	Resilient network, lower maintenance
2032+	10,000+ km	Complete priority network, continuous improvement	Sustainable, connected Madagascar

EXPECTED NATIONAL BENEFITS

- Up to 50–60% lower lifecycle CO_2 emissions
- Significantly lower maintenance costs & longer road life (10–20 years)
- Improved access to markets, services, education & healthcare
- More jobs, skills & local business opportunities
- Greater climate resilience – less erosion, flood damage & disruption
- Stronger food security & agricultural competitiveness
- Inclusive growth & reduced regional inequality
- Cleaner environment & healthier communities

KEY SUCCESS FACTORS

- Political commitment & clear national strategy
- Stable funding & efficient procurement
- Strong local partnerships & community ownership
- Quality implementation & monitoring
- Innovation, learning & continuous improvement

TOGETHER, WE BUILD THE ROADS THAT CONNECT MADAGASCAR
Better roads. Lower impact. Stronger communities. Sustainable future.

9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE · 11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES · 13 CLIMATE ACTION · 15 LIFE ON LAND · 17 PARTNERSHIPS FOR THE GOALS

GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME
GROWTH PATHWAY – BUILDING MOMENTUM, DELIVERING VALUE

From proven performance to national impact and long-term prosperity.

BETTER ROADS
STRONGER COMMUNITIES
SUSTAINABLE FUTURE

1 PROVE & VALIDATE 2025 – 2026

- Pilot & demonstration sections
- Independent testing & performance validation
- Standards, approvals & quality assurance
- Build partnerships & local capability



OUTPUT: Proven technology & approved methodology

2 EARLY ADOPTION 2026 – 2027

- Roll out 100 – 300 km in priority corridors
- Deliver early wins in high-impact areas
- Strengthen supply chain & local partnerships
- Build community trust & awareness



OUTPUT: Proven performance, market confidence & demand

3 SCALE & EXPAND 2027 – 2029

- Scale to 1,000 – 2,000 km across all provinces
- Connect regional centres, ports, mining & agricultural zones
- Expand local production & depots
- Create jobs & strengthen local enterprises



OUTPUT: National coverage growing & local value creation

4 NATIONAL INTEGRATION 2029 – 2032

- Integrate GeoStab™ into national road programs & budgets
- Embed climate resilience & disaster risk reduction
- Performance monitoring & continuous improvement
- Ongoing training, R&D & innovation



OUTPUT: Integrated, resilient national road network

5 LEADERSHIP & MATURITY 2032 – 2035

- 10,000+ km of durable, low-maintenance roads
- Export knowledge, technology & services to Africa & beyond
- Strong local industry & skills legacy
- Lower emissions, better environment



OUTPUT: Sustainable roads. Stronger Madagascar.

6 LEGACY & IMPACT 2035+

- All-weather access for all communities
- Inclusive economic growth & reduced poverty
- Resilient infrastructure for future generations
- A model for sustainable development in Africa



OUTPUT: Lasting impact. Prosperous & connected Madagascar.

GROWTH ENABLERS

- **STRONG PARTNERSHIPS** — Government, private sector, communities & donors
- **SUSTAINABLE FUNDING** — Blended finance, PPP models & impact investors
- **LOCAL CAPACITY** — Training, skills & enterprise development
- **SUPPLY CHAIN & PRODUCTION** — Local manufacturing, depots & reliable logistics
- **QUALITY & STANDARDS** — Consistent performance, monitoring & innovation
- **DATA & KNOWLEDGE** — Evidence-based decisions & continuous improvement

OUR VISION

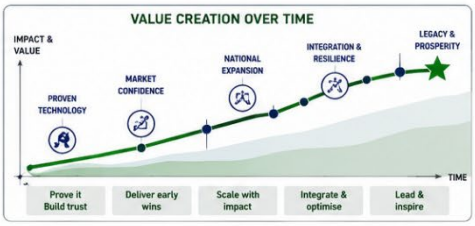


A connected Madagascar where every journey creates opportunity, every road builds resilience, and every community thrives.

GROWTH MILESTONES

PERIOD	CUMULATIVE ROAD LENGTH	FOCUS	KEY OUTCOME
2025 – 2026	0 – 100 km	Pilot, validation, priority corridors	Technology proven, plan approved
2026 – 2027	100 – 300 km	Early rollout, high-impact districts	Market confidence, quick wins
2027 – 2029	1,000 – 2,000 km	Scale nationally, connect key zones	Expanded access, ceonomic impact
2029 – 2032	3,000 – 6,000 km	National integration, all provinces	Resilient network, lower maintenance
2032+	10,000+ km	Complete network, continuous growth	Sustainable, connected Madagascar

VALUE CREATION OVER TIME



KEY OUTCOMES BY 2035+

- **10,000+ km** of durable, all-weather roads
- **UP TO 50–60%** lower lifecycle CO_2 emissions
- **30–50%** lower maintenance costs
- **Thousands** of jobs & local businesses created
- Improved access to markets, services, education & healthcare
- Stronger communities, safer & more resilient

TOGETHER, WE BUILD THE ROADS THAT CONNECT MADAGASCAR
Better roads. Lower impact. Stronger communities. Sustainable future.

9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE · 11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES · 13 CLIMATE ACTION · 15 LIFE ON LAND · 17 PARTNERSHIPS FOR THE GOALS

GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME
FUTURE APPLICATION OPPORTUNITIES MAP

BETTER ROADS
STRONGER COMMUNITIES
SUSTAINABLE FUTURE

Building the roads that connect people, enable growth and unlock Madagascar's potential.

MAP OVERVIEW

This map highlights future road network opportunities for GeoStab™ stabilised roads across Madagascar.

- Upgrade key national corridors for all-weather access and resilience.
- Improve regional and rural links to connect communities and unlock economic potential.
- Support strategic sectors including agriculture, mining, tourism and trade.

LEGEND

ROAD OPPORTUNITY CORRIDORS

- Priority 1: National Economic Corridors (High Impact)
- Priority 2: Regional Development Corridors (Medium Impact)
- Priority 3: Rural Access Corridors (Community Impact)
- Strategic Sector Links (Mining, Agriculture, Tourism)
- Planned / Future Projects

KEY SYMBOLS

- Major City / Capital
- Regional Centre
- Agricultural Opportunity Zone
- Mining Opportunity Zone
- Port / Harbour
- Airport
- Tourism Opportunity Zone
- Industrial / Special Economic Zone
- Hydropower Opportunity Zone



FUTURE APPLICATION OPPORTUNITIES

- **NATIONAL CORRIDORS** — Strengthen RN routes connecting major economic hubs, ports and borders.
- **REGIONAL CONNECTIVITY** — Improve access to regional centres, markets, schools, health and services.
- **AGRICULTURAL GROWTH** — Better roads to farms and processing centres reduce costs and losses.
- **MINING & INDUSTRY** — Reliable all-weather access to mines and industrial zones.
- **TOURISM DEVELOPMENT** — Enhance access to key tourist sites and national parks.
- **TRADE & LOGISTICS** — Improve freight efficiency to ports, airports and trade routes.
- **ENERGY OPPORTUNITIES** — Support access to hydropower sites and energy infrastructure.

STRATEGIC IMPACT

- All-weather road access for more communities
- Economic growth and job creation
- Reduced transport costs and travel time
- Stronger resilience to climate and disasters
- Inclusive development across all regions

KEY STATISTICS (POTENTIAL)

- 20,000+ km of future stabilisation opportunities
- Across 22 regions and 114 districts
- Connecting 80%+ of Madagascar's population
- Supporting agriculture, mining, tourism, trade and social development

A CONNECTED MADAGASCAR – A PROSPEROUS FUTURE

STRONGER COMMUNITIES | GREATER OPPORTUNITIES | RESILIENT INFRASTRUCTURE | SUSTAINABLE DEVELOPMENT

GeoStab™ roads deliver lasting value today and create opportunities for generations to come.

GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME
COMMERCIAL ECOSYYSTEM

BETTER ROADS
STRONGER COMMUNITIES
SUSTAINABLE FUTURE

A collaborative ecosystem creating value, driving sustainable growth and lasting impact.

INPUTS & RESOURCES

- GeoStab™ Polymer — High-performance additive
- Cement & Materials — Local & imported supply
- Soils & Aggregates — Local in-situ materials
- Equipment & Technology — Stabilisation & compaction
- Logistics & Shipping — Global supply to local delivery
- Knowledge & Innovation — R&D, testing, technical support
- Finance & Investment — Capital for growth & scaling

GOVERNMENT & PUBLIC SECTOR
- Policy & Strategy
- Funding & Budgets
- Standards & Regulation
- Project Pipeline

RESEARCH & TESTING PARTNERS
- LNTPB & Universities
- Independent Testing
- Innovation & R&D
- Performance Validation

CONTRACTORS & CONSTRUCTION PARTNERS
- SOGEA & Local Contractors
- Works Delivery
- Quality Assurance
- Maintenance Services

SUPPLIERS & MANUFACTURERS
- GeoStab™ Production
- Raw Material Suppliers
- Packaging & Quality
- Continuous Improvement

GEOSTAB™ VALUE CREATION HUB
Technology • Expertise
Quality • Performance
Sustainability

LOCAL COMMUNITIES
- Employment & Skills
- Local Participation
- Social Inclusion
- Community Benefits

FINANCIAL & INVESTMENT PARTNERS
- Banks & Investors
- Project Finance
- Impact Investment
- Long-term Partnerships

END USERS & BENEFICIARIES
- Road Authorities
- Municipalities
- Industries & Businesses
- Farmers & Communities

LOGISTICS & DISTRIBUTION
- International Shipping
- Port & Customs
- Local Transport
- Supply Chain Management

MARKETS & OPPORTUNITIES

- National Road Network — RN corridors, regional & rural roads
- Agriculture & Rural Access — Farm-to-market roads, feeder roads
- Mining & Industrial Access — Haul roads, site access, logistics
- Urban & Municipal Roads — Local streets, peri-urban roads
- Tourism & Economic Zones — Access to parks, ports, attractions
- Export Potential — Technology, expertise & products to Africa & beyond

ECOSYSTEM OUTCOMES

- Lower Lifecycle Costs — Reduced construction & maintenance
- Resilient Infrastructure — All-weather, longer lasting roads
- Inclusive Economic Growth — Jobs, skills & local enterprise growth
- Environmental Sustainability — Lower emissions, less resource use
- Stronger Communities — Better access to services & opportunities

VALUE & INFORMATION FLOW

Demand (Road needs identified) → Solution (GeoStab™ technology) → Delivery (Efficient construction & implementation) → Performance (Durable, resilient roads) → Economic Value (Lower costs, more productivity) → Social Impact (Stronger communities, better lives) → Reinvestment (Sustainable growth & expansion)

ECOSYSTEM ENABLERS

Strong Governance | Clear Policies & Frameworks | Capacity Building & Training | Data & Monitoring & Evaluation | Innovation & Continuous Improvement | Transparency & Accountability | Environmental Stewardship

TOGETHER, WE BUILD VALUE

A connected commercial ecosystem delivering better roads, stronger communities and a prosperous, sustainable Madagascar.

STRATEGIC PARTNERSHIPS | SHARED VALUE | SUSTAINABLE GROWTH | LASTING IMPACT

Chapter 14 – Investment Opportunity and Strategic Partnerships

Investment Rationale

The proposed demonstration Program represents a structured opportunity to evaluate infrastructure technology before broader deployment. Investment at this stage is directed toward independent validation, Program delivery and evidence generation rather than immediate commercial expansion.

Strategic Partnership Model

The Program has been conceived as a collaborative initiative involving government agencies, engineering organisations, construction partners, testing laboratories, development institutions and private-sector participants. Each partner contributes specialised expertise within a transparent governance framework.

Potential Value Creation

If the demonstration achieves its predefined technical objectives, independently verified performance data may support future commercial discussions, manufacturing development, technology licensing and broader infrastructure applications within Madagascar and potentially other markets.

Investment Principles

Future investment decisions should remain evidence-based and proportionate to demonstrated technical performance. Commercial progression should follow successful engineering validation, stakeholder review and confirmation that proposed applications align with national infrastructure priorities.

Illustrative Partnership Framework

Participant	Primary Contribution	Illustrative Benefit
Government	Oversight and approvals	Public infrastructure outcomes
Construction Partner	Field delivery	Operational experience
Technical Laboratory	Independent validation	Engineering confidence
Private Investors	Program funding	Participation in future growth
Development Partners	Strategic support	Capacity building

GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME
INVESTMENT PATHWAY: FROM DEMONSTRATION TO DEPLOYMENT

BETTER ROADS
STRONGER COMMUNITIES
SUSTAINABLE FUTURE

Strategic investment at every stage to build proof, scale impact and deliver long-term value.

1 PREPARE & VALIDATE 2025 – Q1 2026	2 DEMONSTRATION PILOT 2026 – Q2/Q3	3 EVALUATION & APPROVAL 2026 – Q4 / 2027 – Q1	4 EARLY DEPLOYMENT & SCALE-UP 2027 – 2028	5 NATIONAL ROLLOUT & PARTNERSHIPS 2028 – 2030	6 SUSTAINABLE GROWTH & EXPORT 2030+
Build confidence and technical proof	**Prove performance in real conditions**	**Secure approval & unlock adoption**	**Scale delivery & build market traction**	**Expand nationally through partnerships**	**Sustain value & expand beyond borders**
• Lab testing & validation • Product optimisation • Standards & approvals • Stakeholder alignment	• 1 – 2 km demonstration section (Mahajanga) • Independent monitoring • Performance evaluation • Cost & time analysis	• Independent evaluation • Cost–benefit validation • MoT approval & guidelines • Government endorsement	• 20 – 100 km of roads delivered • Local contractor training & equipment mobilisation • Supply chain scale-up • Community engagement	• 500 – 2,000 km rollout across regions • PPP & donor partnerships • Local manufacturing feasibility • Knowledge transfer	• 2,000+ km per year sustainable delivery • Diversify into export markets (Africa) • Continuous innovation & ESG leadership
INVESTMENT NEED USD 150K – 250K	**INVESTMENT NEED** USD 400K – 600K	**INVESTMENT NEED** USD 250K – 350K	**INVESTMENT NEED** USD 1.2M – 2.0M	**INVESTMENT NEED** USD 3M – 6M	**INVESTMENT NEED** USD 5M+ (Growth Capital)
KEY OUTPUT Proven technology, approved for field trial	**KEY OUTPUT** Proven performance, cost benefits & local capability confirmed	**KEY OUTPUT** Official approval, standards & adoption framework in place	**KEY OUTPUT** Operational scale, local capacity & repeatable delivery model	**KEY OUTPUT** National scale adoption, strategic partnerships & cost leadership	**KEY OUTPUT** Sustainable business, regional expansion & long-term value creation
MILESTONE Technology validated & ready for field demonstration	**MILESTONE** Successful demonstration & performance report completed	**MILESTONE** Government approval & inclusion in road standards / programs	**MILESTONE** Repeatable delivery model with growing pipeline of projects	**MILESTONE** National rollout underway with strong partnerships & market share	**MILESTONE** Regional expansion & industry leadership achieved

INVESTMENT SUMMARY

TOTAL INVESTMENT (2025 – 2030)
USD 5 – 9 MILLION+

TARGET RETURNS
High impact, attractive risk-adjusted returns

VALUE DRIVERS
Proven technology, scalable model, first-mover advantage

INVESTORS
Impact investors, development finance, strategic partners, private equity

RISK MITIGATION
Phased investment, independent validation, government support, strong partnerships

IMPACT
Resilient infrastructure, economic growth, social inclusion, environmental benefits

YOUR INVESTMENT BUILDS MORE THAN ROADS
It builds resilience, opportunity and a stronger Madagascar.

CAPITAL USE PRIORITIES

- **R&D & Validation** — Product optimisation & testing
- **Demonstration Works** — Field trial construction & monitoring
- **Local Capacity** — Training, equipment & contractor development
- **Supply Chain** — Production, logistics & distribution
- **Scale-Up & Marketing** — Pipeline development & stakeholder engagement
- **Working Capital** — Operations, admin & cash flow

SMART INVESTMENT. STRONG RETURNS. LASTING IMPACT.

BE PART OF MADAGASCAR'S INFRASTRUCTURE TRANSFORMATION

GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME
STAKEHOLDER VALUE CHAIN

BETTER ROADS
STRONGER COMMUNITIES
SUSTAINABLE FUTURE

Working together across the value chain to deliver stronger roads, stronger communities and shared value.

STAKEHOLDERS	1. INPUTS & INNOVATION Develop & source high-performance solutions	2. MANUFACTURING & SUPPLY Produce quality materials at scale	3. LOGISTICS & DELIVERY Move efficiently to project sites	4. IMPLEMENTATION Build quality roads across Madagascar	5. USE & MAINTENANCE Maintain performance & extend asset life	6. IMPACT & OUTCOMES Deliver economic, social and environmental value
GOVERNMENT & PUBLIC SECTOR	Sets policy & standards Funds research & innovation	Enables local industry Provides incentives	Facilitates permits & customs	Procurement & oversight Ensures quality & compliance	Asset management Planning & budgeting	Stronger infrastructure Economic growth Service delivery
INVESTORS & FINANCIERS	Provide capital for development	Fund production capacity & working capital	Finance logistics & inventory	Fund projects & scale Mobilise private capital	Support maintenance financing	Sustainable returns De-risked investments Long-term value
GEOSTAB™ (GTM GROUP)	R&D, testing & product innovation	Technology transfer Quality assurance	Supply chain coordination Export & delivery	Technical support Training & supervision	Performance monitoring Technical advisory	Brand leadership Scalable impact License & royalty potential
SUPPLIERS & MANUFACTURERS	Raw materials & component supply	Manufacture GeoStab™ & packaging	Prepare orders Ensure availability	On-time supply Technical support	Continuous improvement Product enhancement	Stable demand Business growth Long-term partnerships
CONTRACTORS & EQUIPMENT PARTNERS	Provide equipment & construction solutions	Maintain & prepare equipment	Mobilise equipment & teams	Construct & compact Quality workmanship	Periodic maintenance & rehabilitation	Repeat business Skills development Safety & efficiency
LOCAL COMMUNITIES	Share local knowledge Participate in planning	Local employment Local small business	Provide local services & site support	Local jobs & skills Community engagement	Road user feedback Community participation	Better access to services Improved livelihoods Stronger communities
END USERS / ROAD USERS	Share needs & feedback	—	—	Safer, smoother roads During construction	Reliable, all-weather access Lower travel costs	Time savings Lower vehicle costs Improved quality of life

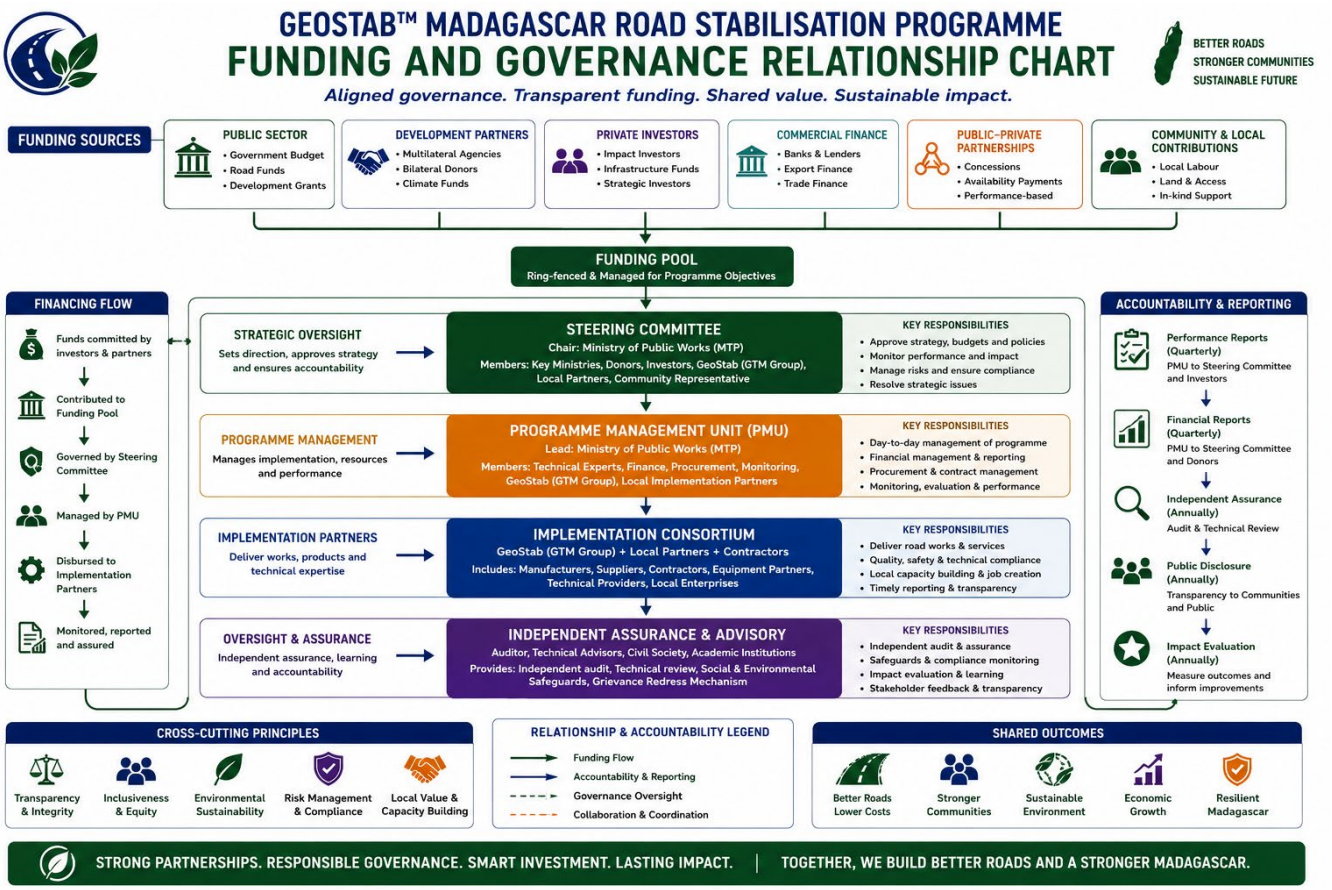
VALUE CREATED ACROSS THE CHAIN

- **Risk sharing** — Stronger projects
- **Cost efficiency** — Optimised value
- **Faster delivery** — Reduced disruptions
- **Sustainability** — Lower emissions
- **Inclusive growth** — Shared prosperity
- **Long-term resilience** — Lasting impact

ENABLERS OF SUCCESS

- Strong Partnerships & Collaboration
- Clear Policies & Regulation
- Quality Standards & Assurance
- Capacity Building & Skills
- Data & Monitoring & Innovation
- Environmental Stewardship
- Sustainable Financing

TOGETHER WE DELIVER
A resilient road network that connects people, enables opportunity and builds a stronger Madagascar.



Chapter 15 – Conclusions and Future Vision

Program Summary

The GeoStab Madagascar Road Stabilization Program has been developed as a structured, evidence-based initiative to evaluate an advanced road Stabilization technology under Malagasy conditions. The Program integrates independent testing, stakeholder collaboration and field validation before any wider implementation decisions are considered.

Key Conclusions

The staged approach adopted by the Program reflects recognised engineering practice by progressing from laboratory evaluation through full-scale demonstration to independent performance assessment. This process supports informed infrastructure decision-making based on measured technical evidence rather than theoretical expectations.

Future Vision

Subject to successful demonstration outcomes, the Program has the potential to contribute to improved infrastructure resilience, more efficient use of maintenance resources and enhanced transport connectivity. Any future expansion should remain aligned with national priorities and supported by transparent governance and technical evaluation.

Closing Statement

The GeoStab Madagascar initiative demonstrates a commitment to collaborative infrastructure innovation. By combining engineering discipline, independent assessment and

long-term thinking, the Program seeks to provide decision-makers with a credible basis for evaluating future road Stabilization strategies.

Program Legacy

Focus Area	Long-Term Objective
Engineering	Evidence-based infrastructure decisions
Communities	Improved year-round accessibility
Government	More sustainable asset management
Industry	Local capability development
Partnerships	Collaborative infrastructure delivery



GEOSTAB™ MADAGASCAR ROAD STABILISATION PROGRAMME

FUTURE ROADMAP

Building a connected Madagascar through durable, sustainable roads

PHASE 1 DEMONSTRATE 2025 – 2026
- Complete 1 km trial section
- Wet season performance evaluation
- Independent review & validation
- Ministry approval & standards development

PHASE 2 ESTABLISH 2027 – 2028
- Expand to priority national corridors
- Establish local supply chain & depots
- Train local contractors & build capability
- Secure long-term frameworks & funding

PHASE 3 EXPAND 2029 – 2031
- Scale up across regions
- Integrate with rural access programs
- Strengthen maintenance systems
- Drive cost savings & productivity

PHASE 4 INTEGRATE 2032 – 2035
- Connect economic hubs, ports & borders
- Multimodal logistics corridors
- Smart asset management & data systems
- Climate resilience at scale

PHASE 5 TRANSFORM 2036+
- Nationwide network of durable roads
- Low maintenance, all-weather access
- Support inclusive growth, jobs & investment
- Sustainable roads for future generations

NOW | 12 Months | Year 2 – 3 | Year 4 – 6 | Year 7 – 10 | Year 11+

PROOF OF PERFORMANCE | BUILD CAPACITY & SCALE | NATIONAL IMPACT | LONG-TERM TRANSFORMATION

PRIORITY CORRIDOR ROLLOUT PLAN



KEY BENEFITS

STRONGER COMMUNITIES — Better access to markets, services, education and healthcare

ECONOMIC GROWTH — Lower transport costs, more trade, jobs and investment

RESILIENT INFRASTRUCTURE — All-weather access, reduced maintenance and higher reliability

SUSTAINABLE FUTURE — Lower emissions, climate resilience and resource efficiency

ENABLERS FOR SUCCESS

STRONG PARTNERSHIPS — Government, private sector, communities and development partners

QUALITY STANDARDS — Robust testing, standards and continuous improvement

LOCAL CAPABILITY — Build local expertise, manufacturing and supply chains

SUSTAINABLE FINANCING — Innovative funding models and long-term investment

EFFECTIVE MAINTENANCE — Routine maintenance systems to protect asset performance

DATA & INNOVATION — Use data and technology for planning, delivery and monitoring

SUCCESS INDICATORS

KILOMETRES OF ROADS STABILISED — Increasing network coverage year on year

REDUCED MAINTENANCE COSTS — Lower lifecycle costs compared to traditional solutions

IMPROVED ACCESS & RELIABILITY — All-weather roads, fewer disruptions

POSITIVE SOCIAL & ENVIRONMENTAL IMPACT — Jobs, safety, inclusion and reduced emissions

OUR VISION

A Madagascar where every road connection creates opportunities, strengthens communities and drives a more prosperous, inclusive and sustainable future.

Better roads. Stronger communities. Sustainable future for Madagascar.

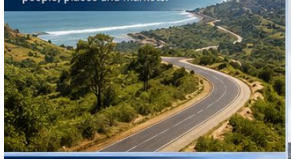
MADAGASCAR INFRASTRUCTURE VISION

CONNECTED COMMUNITIES. STRONGER ECONOMY. SUSTAINABLE FUTURE.

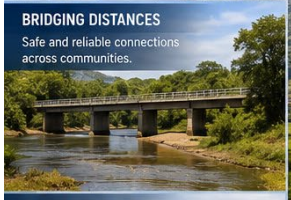
Building resilient infrastructure that unlocks potential, drives inclusive growth and improves the quality of life for all Malagasy.

CONNECTED COMMUNITIES | ECONOMIC GROWTH | RESILIENT INFRASTRUCTURE | SUSTAINABLE DEVELOPMENT | INCLUSIVE FUTURE

ALL-WEATHER ROADS
Resilient roads connecting people, places and markets.



BRIDGING DISTANCES
Safe and reliable connections across communities.



SMART DRAINAGE
Built to withstand climate challenges and protect our roads.





Better roads open doors to opportunity, prosperity and a brighter future for Madagascar.

STRONGER TRADE & LOGISTICS
Efficient corridors that power commerce and create jobs.



ENERGY FOR GROWTH
Reliable, clean energy supporting communities and industry.



OPPORTUNITIES FOR ALL
Better access to education, healthcare and services for every community.



AGRICULTURAL GROWTH
Better access for farmers to markets, inputs and opportunities.



ACCESS TO HEALTHCARE
Infrastructure that brings essential services closer to communities.



CONNECTING PEOPLE
Airports and transport links that connect Madagascar to the world.



JOBS & LOCAL CAPACITY
Infrastructure projects creating jobs and building local skills.



RESPECTING OUR ENVIRONMENT
Sustainable infrastructure for today and for future generations.



GEOSTAB™ ROADS FOR A STRONGER MADAGASCAR | DURABLE SOLUTIONS | LOWER MAINTENANCE | COST EFFECTIVE | CLIMATE RESILIENT | BUILT FOR THE FUTURE

TOGETHER, LET'S BUILD THE ROADS THAT CONNECT MADAGASCAR TO A PROSPEROUS AND SUSTAINABLE FUTURE.


Completed rural dirt road
and sealed road.
Future Roads for Madagascar

Appendix A – Supporting Technical Data and Independent Test Results

Purpose

This appendix is intended to consolidate the principal technical information supporting the GeoStab Madagascar Road Stabilization Program. It provides a structured location for laboratory reports, engineering calculations, construction data and independent technical assessments referenced throughout the publication.

Contents

LNTPB test summaries.

Boral Australia testing summaries.

Vietnam mine haul road technical report.

Document Register

NTPB test summaries.

LABORATOIRE NATIONAL DES TRAVAUX PUBLICS ET DU BATIMENT
Alarobia – Antananarivo MADAGASCAR
B.P. 1151 –Tél : 78 421 88 –E-mail : lntpb@moov.mg STAT 71201 11 1962 0 10005 - NIF 3 000043913 - RC Antananarivo 2003 B00769
CA-BNI : 00005 00001 02913740100 06 – Analakely – BFV SG : 00008 00015 02001007886 49 – Ankorondrano
Organisme certifié en ISO 9001 Version 2015

RESULTATS DES ESSAIS

N/Réf. : DOSSIER N° 25 DRDM / LS **23/01**

V/Réf. : **Devis N° D 25 DRDM/LS 60/A**

DEMANDEUR	: **MADGO SARL / GTM Group Australia**
OBJET	: Stabilisation de sol avec le produit GEOSTAB
ECHANTILLONS RECUS	: Dix (10) boites de produit GEOSTAB
DATE	: lundi 28 avril 2025

Sauf demande expresse à la commande, les échantillons ne seront plus conservés après les essais

RESULTATS DES ESSAIS

★★★★★★★★★★★★

Dossier : 25 DRDM/LS 23/01
Client : **MADGO SARL /GTM GROUP**

A - GENERALITES

- Objet : Stabilisation de sol avec le produit GEOSTAB
- Client : **MADGO SARL / GTM Group Australia**
- Référence : - **Devis N° D 25 DRDM/LS 60/A**
- Lieu d'exécution des essais : **LNTPB siège Alarobia Antananarivo**

B - ECHANTILLONS RECUS

Dix (10) boites bien fermés et protégés de produits stabilisants d'environ 1 kg chacun ont été remises par le Client au siège du LNTPB le 19 Mars 2025.

C - PRESTATIONS DU LNTPB

Essais réalisés :

- ✓ Identification de différents types de sol à l'état naturel dont :
  - Essai granulométrique par tamisage NF EN 17892 - 4
  - Essai Limite d'Atterberg NF EN 17892-12
  - Essai de compactage Proctor Modifié NF P 94-93
  - Essai de portance CBR à 4 jours d'immersion NF P 94-78
- ✓ Stabilisation des sols types avec le produit GEOSTAB selon le processus et dosage donnés par le Client.
- ✓ Mesure de perméabilité après stabilisation

D - RESULTATS

Résultats des essais des sols types à l'état naturel

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Types de sol	Identifications				Proctor modifié		CBR immersion	
	Dmax mm	% Fine	WL%	IP%	γd max KN / m3	Wopt %	Ip CBR 4 jours	Gft %
Argile	5.00	95	60	26	17.50	22.50	6	4.50
Argile limoneuse	5.00	80	54	22	17.20	18.40	11	2.90
Limon Argileux	5.00	66	46	17	18.45	17.90	15	2.65
Limon Sableux	5.00	42	33	12	18.60	11.50	24	0.30
Sable limoneux	5.00	30	26	7	19.10	8.60	30	0.10
Sable Argileux	5.00	36	30	13	19.40	13.20	26	0.26
Sable	5.00	3	-	-	17.20	6.20	20	0.00

Stabilisation des sols types avec le produit GEOSTAB

1- Processus de stabilisation et Dosage du produit GEOSTAB et Ciment

- Détermination de la densité maximale et teneur en eau optimale du sol à l'état naturel
- Détermination de l'indice portant CBR à 4 jours d'immersion du sol à l'état naturel
- Détermination de l'indice portant CBR à 4 jours d'immersion du sol traité
  - ➢ Sol + ciment (5% du poids du sol)
  - ➢ Produit GESOSTAB (5% du poids du ciment) dans la teneur en eau optimale

2- Résultats des essais des sols types stabilisés avec CIMENT + GEOSTAB

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Types de sol	*Etat naturel*		Stabilisé à 5% Ciment et 5% GEOSTAB		
	Ip CBR 4 jours	*Gft %*	**Ip CBR 4 jours**	**Gft %**	**Perméabilité cm/h**
Argile	*6*	*4.50*	**90**	**1.47**	**0.01**
Argile limoneuse	*11*	*2.90*	**116**	**0.42**	**0.04**
Limon Argileux	*15*	*2.65*	**116**	**0.47**	**0.05**
Limon Sableux	*24*	*0.30*	**160**	**0.02**	**0.30**
Sable Limoneux	*30*	*0.10*	**156**	**0.02**	**0.90**
Sable Argileux	*26*	*0.26*	**176**	**0.05**	**0.70**
Sable	*20*	*0.00*	**35**	**0.00**	**4.20**

E - CONCLUSION

Le ciment utilisé pour la stabilisation est le ciment LOVA 32.5. Le produit GEOSTAB nécessite toujours l'utilisation de ciment pour stabiliser le sol.

Les sols types utilisés sont fournis par le LNTPB.

Les essais CBR réalisés sont directement imbibés dans l'eau après compactage (sans période de cure)

D'après les résultats, on peut déduire une nette amélioration de la portance des sols:

- Pour l'Argile, une augmentation de 9 à 90
- Pour l'Argile limoneuse, de 11 à 116
- Pour le Limon Argileux, de 15 à 116
- Pour le Limon Sableux, de 24 à 160
- Pour le Sable Limoneux, de 30 à 156
- Pour le Sable Argileux, de 26 à 176
- Pour le Sable, de 20 à 35

Il y a réduction du gonflement linéaire des sols et aussi une forte imperméabilité des sols cohérents.

Le produit GEOSTAB est très favorable pour les sols cohérents et peu favorable pour les sols pulvérulents ou sableux.

Antananarivo le 28 Avril 2025

Le Chef de Laboratoire Sols

ANDRIAMBELOMANANA Tahiry Mandranto

Le Directeur de Recherche, Développement et Commercial,

Raymond RATAFIMAHEFATRA

Le Chef de Département de Recherche, Développement et Matériaux, p.i.

LALAHERIJAONA A.A. Patrick

Professional English Translation

LNTPB TEST REPORT

Professional English Translation

Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB)

Antananarivo, Madagascar

Reference: 25 DRDM/LS 23/01 | Dated 28 April 2025

NOTE: This document is a faithful English translation of the original French LNTPB report. The technical content, tables and conclusions have been preserved while being presented in publication-quality English.

Cover Letter

Reference No. 171/DRDC/DRDM/ATM/rm/25

Subject: Soil Stabilization Using the GEOSTAB Product

Dear Sirs,

We are pleased to forward the attached report relating to the above subject.

Please accept the assurance of our highest consideration.

Attachment: File No. 25 DRDM/LS 23/01 (Supplement).

General Information

Client: MADGO SARL / GTM Group Australia
Subject: Soil Stabilization Using the GEOSTAB Product
Testing Location: LNTPB Headquarters, Alarobia, Antananarivo
Samples Received: Ten (10) sealed containers of GEOSTAB (approximately 1 kg each)
Date of Report: 28 April 2025

Scope of Testing

- Particle size distribution (NF EN 17892-4)
- Atterberg Limits (NF EN 17892-12)
- Modified Proctor Compaction (NF P 94-93)
- California Bearing Ratio (CBR) after four days immersion (NF P 94-78)
- Soil Stabilization using the GEOSTAB process specified by the client
- Permeability measurements after Stabilization

Natural Soil Test Results

Soil Type	% Fines	LL	PI	γd Max kN/m^3	OMC %	CBR	Swell %
Clay	95	60	26	17.50	22.50	6	4.50
Silty Clay	80	54	22	18.40	17.00	11	2.90
Clayey Silt	66	46	17	18.45	17.90	15	2.65
Sandy Silt	42	33	12	18.60	11.50	24	0.30
Silty Sand	30	26	7	19.10	8.60	30	0.10
Clayey Sand	36	30	13	19.40	13.20	26	0.26
Sand	3	–	–	17.20	6.20	20	0.00

Stabilization Mix Design

The Stabilization process adopted by LNTPB consisted of:

- Cement dosage: 5% of dry soil weight
- GEOSTAB dosage: 5% of cement weight
- GEOSTAB incorporated at the optimum moisture content determined by the Modified Proctor test.

Results After Stabilization

Soil Type	Natural CBR	Natural Swell	Stabilised CBR	Stabilised Swell	Permeability cm/hr
Clay	6	4.50	90	1.47	0.01
Silty Clay	11	2.90	116	0.42	0.04
Clayey Silt	15	2.65	116	0.47	0.05
Sandy Silt	24	0.30	160	0.02	0.30
Silty Sand	30	0.10	156	0.02	0.90
Clayey Sand	26	0.26	176	0.05	0.70
Sand	20	0.00	35	0.00	4.20

LNTPB Conclusions

- LOVA 32.5 cement was used throughout the testing Program.
- GEOSTAB requires cement to achieve effective soil Stabilization.
- CBR testing commenced immediately after compaction without any curing period.
- Significant improvements in bearing capacity were achieved across all cohesive soil types.
- Linear swelling was substantially reduced.
- Cohesive soils exhibited very low permeability after treatment.

CBR Improvements:

Clay: 6 → 90
Silty Clay: 11 → 116
Clayey Silt: 15 → 116
Sandy Silt: 24 → 160
Silty Sand: 30 → 156
Clayey Sand: 26 → 176
Sand: 20 → 35

Overall Assessment:
GEOSTAB is highly effective in cohesive soils and considerably less effective in loose granular and sandy soils.

Publication Note

This report represents the initial validation phase of the LNTPB testing Program using a dosage of 5% cement and GEOSTAB at 5% of the cement weight. Subsequent optimisation studies undertaken by LNTPB investigated lower cement contents with higher GEOSTAB-to-cement ratios. Accordingly, this report should be read as the initial validation study within the broader GeoStab Madagascar research Program.

Boral Australia testing summaries.

Global Trade & Marketing Pty. Ltd.

Overview of *GeoStab* 101 Independent Test Results - Boral Materials Technical Services

Main tests completed by Boral using our GeoStab stabilisation process were:

UCS

Unconfined Compressive Strength (UCS) at 1 day. Result = 2.6 MPa
Unconfined Compressive Strength (UCS) at 7 days. Result = 4.4 MPa

Note: *The UCS would normally be 1.0 – 1.5 MPa for a cementitious modified material (usually requires 2% to 3% cementitious binder by mass) or 2.0 – 2.5 MPa for a fully bound material (usually requires 4% - 5% cementitious binder by mass) for deep lift stabilization.*
The above result of 4.4 MPa was achieved with only 2.5% cementitious binder + 0.42% GeoStab and is twice that expected for fully bound deep lift stabilization requiring 4% - 5% cementitious binder.

CBR

California Bearing Ratio (CBR) at 1 day. 2.5 mm penetration. Result = 280
California Bearing Ratio (CBR) at 1 day. 5.0 mm penetration. Result = 390

California Bearing Ratio (CBR) at 4 days. 2.5 mm penetration. Result = 420
California Bearing Ratio (CBR) at 4 days. 5.0 mm penetration. Result = Exceeded capacity of testing equipment.

Note: *The CBR for soil-cement road sub-base and base for light traffic should be in the range of 50 to 150. Our process results in extremely high CBR well in excess of any traffic loading requirement.*

Texas TXL

Modified Texas Triaxial Compression Test For Pavement Material. Texas Classification No. = 1.2

Note: Test result of 1.2 puts our GeoStab stabilisation process using only 2.5% cement to soil ratio suitable for Traffic Category 1. (Roads with design traffic equal to or exceeding 10^7 equivalent standard axle (ESA) repetitions.)

Texas Triaxial Classification No. VS Traffic Loading Category
Max 2.0 suitable for Traffic Category 1. (Roads with design traffic equal to or exceeding 10^7 equivalent standard axle (ESA) repetitions.)
Max 2.2 suitable for Traffic Category 2a. (Roads with design traffic exceeding 4 x 10^6 ESA's but less than 10^7 ESA's)
Max 2.5 suitable for Traffic Category 2b. (Roads with design traffic exceeding 10^6 ESA's but less than or equal to 4 x 10^6 ESA's)
Max 3.0 suitable for Traffic Category 2c. (Roads with design traffic exceeding 10^5 ESA's but less than or equal to 10^6 ESA's)
Max 3.0 suitable for Traffic Category 2d. (Roads with design traffic less than or equal to 10^5 ESA's)

Build something great™

Boral Construction Materials
Materials Technical Services

Unit 4, 3-5 Gibbon Road
Baulkham Hills NSW 2153 Australia
PO Box 400, Winston Hills NSW 2153

T: +61 (02) 9624 9900
F: +61 (02) 9624 9999
www.boral.com.au

TEST REPORT

CLIENT:	Global Trade & Marketing Pty. Ltd.	FILE No:	482/15
ADDRESS :	P O Box 8095 Glenmore Park NSW 2745	REQUEST No. :	61347
PROJECT:	Testing of GeoStab 1.01 Polymer Emulsion for Stabilised Soil	DATE SAMPLED:	15.2.15
MATERIAL:	GeoStab 1.01 - Batch No. GS150215-1	DATE TESTED:	9.3.15 to 12.3.15

Test Method RMS T131	**Results**
Unconfined Compressive Strength of Road Construction Materials (Blended in the Laboratory with Cementitious Binders)	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693
Material description	Boral DGB20
Material retained on 19.0mm sieve (%)	-
Additive type	GP Cement and GeoStab1.01
Additive source	GP Cement (Boral) and GeoStab 1.01 (provided by client)
Binder content (%)	GeoStab 1.01 / GP Cement = 16.8%
Test Method RMS T130	**Dry Density/Moisture Relationship of Road Construction Materials (Blended in the Laboratory with Cementitious Binders)**
Maximum Dry Density (t/m^3)	2.357
Optimum Moisture Content (%)	8.4 (GeoStab 1.01 added at 5% of OMC)
Method used to determine moisture content.	RMS T120
Compactive effort	Standard
Test Method RMS T131	**Unconfined Compressive Strength (UCS)**
UCS specimens curing conditions	Specimens wrapped in protective cover and cured at 65°C ± 5°C
Compactive effort	Standard
Curing period	Accelerated curing 1 days ± 6hrs (unsoaked prior to testing)
Dry density at compaction (t/m^3)	2.38 , 2.39
Moisture content at compaction (%)	8.0 , 8.0
Test Method to determine moisture content	RMS T120
Condition of specimen after curing	Moist
UCS (MPa)	2.55 , 2.65
Average UCS (MPa)	**2.6**
Note 1.	15 minutes
Note 1:	RMS T131Table 1 - Time constraints - curing period for Fast Setting Binder - approximately $^1/_4$ hrs after incorporating binder prior to completion of moulding.

Note 2. : GeoStab 1.01 was provided by client.

MIKE HENDRY, FILE.

NATA ACCREDITED FOR TECHNICAL COMPETENCE

Approved Signatory _____

Date 12.3.15 Serial No. 134360

Artemio Mendoza

NATA Accredited Laboratory

Number: 547

Accredited for compliance with ISO/IEC 17025

Build something great™

Boral Construction Materials
Materials Technical Services

Unit 4, 3-5 Gibbon Road
Baulkham Hills NSW 2153 Australia
PO Box 400, Winston Hills NSW 2153

T: +61 (02) 9624 9900
F: +61 (02) 9624 9999

www.boral.com.au

TEST REPORT

CLIENT:	Global Trade & Marketing Pty. Ltd.	FILE No:	482/15
ADDRESS :	P O Box 8095 Glenmore Park NSW 2745	REQUEST No. :	61347
PROJECT:	Testing of GeoStab 1.01 Polymer Emulsion for Stabilised Soil	DATE SAMPLED:	15.2.15
MATERIAL:	GeoStab 1.01 - Batch No. GS150215-1	DATE TESTED:	9.3.15 to 12.3.15

Test Method RMS T117	**Results**
California Bearing Ratio (CBR) of Remoulded Specimens of Road Construction Materials	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693
(GeoStab 1.01 added at 5% of OMC)	GeoStab 1.01 / GP Cement = 16.8%
CBR at 2.5mm penetration (%)	**280**
CBR at 5.0mm penetration (%)	**390**
Correction applied (mm)	0.9
Number of days soaked	1 day unsoaked
Mass of surcharge applied (kg)	4.5
Dry density at compaction (t/m^3)	2.365
Density Ratio at compaction (%)	100
Moisture content at compaction (%)	7.8
Moisture Ratio at compaction (%)	93
Amount of oversize material +19.0mm (%)	-
Compactive effort used in preparation	Standard
Moisture content of specimen after soaking (%)	7.6% (Unsoaked))
Moisture content of top 30mm layer after penetration (%)	6.9
Moisture content at full depth after penetration (%)	7.2
Swell (as a % of initial height)	0.0
Method used for moisture content determination	RMS T120
Note : Boral DGB20 was used where GP Cement and GeoStab 1.01 were added for this test method.	

Test Method RMS T130	**Results**
Dry Density/Moisture Relationship of Road Construction Materials (Blended in the Laboratory with Cementitious Binders)	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693
	No GeoStab 1.01 was added
Standard Maximum Dry Density (t/m^3)	**2.357**
Standard Optimum Moisture Content (%)	**8.4**
Amount oversize material retained on 19.0mm sieve (%)	-
Method used for moisture content determination	RMS T120
Note : Boral DGB20 was used where GP Cement was added for this test method (GP Cement / Soil = 2.5%)	

Note 2. : GeoStab 1.01 provided by client.

MIKE HENDRY, FILE.

Approved Signatory _____

Date 12.3.15 Serial No. 134361

Artemio Mendoza

NATA Accredited Laboratory

Number: 547

ACCREDITED FOR TECHNICAL COMPETENCE

Accredited for compliance with ISO/IEC 17025

Build something great™

Boral Construction Materials
Materials Technical Services

Unit 4, 3-5 Gibbon Road
Baulkham Hills NSW 2153 Australia
PO Box 400, Winston Hills NSW 2153

T: +61 (02) 9624 9900
F: +61 (02) 9624 9999

www.boral.com.au

TEST REPORT

CLIENT:	Global Trade & Marketing Pty. Ltd.	FILE No:	482/15
ADDRESS :	PO Box 8095 Glenmore Park, NSW 2745	REQUEST No. :	61347
PROJECT:	Testing of GeoStab 1.01 Polymer Emulsion for Stabilised Soil	DATE SAMPLED:	15.2.15
MATERIAL:	GeoStab 1.01 - Batch No. GS150215-1	DATE TESTED:	9.3.15 to 12.3.15

Test Method RMS T131	**Results**
Unconfined Compressive Strength of Road Construction Materials (Blended in the Laboratory with Cementitious Binders)	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693
Material description	Boral DGB20
Material retained on 19.0mm sieve (%)	-
Additive type	GP Cement and GeoStab1.01
Additive source	GP Cement (Boral) and GeoStab 1.01 (provided by client)
Binder content (%)	GeoStab 1.01 / GP Cement = 16.8%
Test Method RMS T130	**Dry Density/Moisture Relationship of Road Construction Materials (Blended in the Laboratory with Cementitious Binders)**
Maximum Dry Density (t/m^3)	2.357
Optimum Moisture Content (%)	8.4 (GeoStab 1.01 added at 5% of OMC)
Method used to determine moisture content.	RMS T120
Compactive effort	Standard
Test Method RMS T131	**Unconfined Compressive Strength (UCS)**
UCS specimens curing conditions	Specimens wrapped in protective cover and cured at 65°C ± 5°C
Compactive effort	Standard
Curing period	Accelerated curing 1 day ± 6hrs (unsoaked prior to testing)
Dry density at compaction (t/m^3)	2.38 , 2.39
Moisture content at compaction (%)	8.0 , 8.0
Test Method to determine moisture content	RMS T120
Condition of specimen after curing	Moist
UCS (MPa)	2.55 , 2.65
Average UCS (MPa)	**2.6**
Note 1.	15 minutes
Note 1:	RMS T131Table 1 - Time constraints - curing period for Fast Setting Binder - approximately $^1/_4$ hrs after incorporating binder prior to completion of moulding.

Note 2. : GeoStab 1.01 was provided by client.

MIKE HENDRY, FILE.

C. J. Shaw

Approved Signatory _____

Date 20.3.15 Serial No. 134626

NATA ACCREDITED FOR TECHNICAL COMPETENCE

Accredited for compliance with ISO/IEC 17025

NATA Accredited Laboratory

Number: 547

Build something great™

Boral Construction Materials
Materials Technical Services

Unit 4, 3-5 Gibbon Road
Baulkham Hills NSW 2153 Australia
PO Box 400, Winston Hills NSW 2153

T: +61 (02) 9624 9900
F: +61 (02) 9624 9999

www.boral.com.au

TEST REPORT

CLIENT:	Global Trade & Marketing Pty. Ltd.	FILE No:	482/15
ADDRESS :	PO Box 8095 Glenmore Park, NSW 2745	REQUEST No. :	61347
PROJECT:	Testing of GeoStab 1.01 Polymer Emulsion for Stabilised Soil	DATE SAMPLED:	15.2.15
MATERIAL:	GeoStab 1.01 - Batch No. GS150215-1	DATE TESTED:	9.3.15 to 20.3.15

Test Method RMS T131	**Results**
Unconfined Compressive Strength of Road Construction Materials (Blended in the Laboratory with Cementitious Binders)	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693
Material description	Boral DGB20
Material retained on 19.0mm sieve (%)	-
Additive type	GP Cement and GeoStab1.01
Additive source	GP Cement (Boral) and GeoStab 1.01 (provided by client)
Binder content (%)	GeoStab 1.01 / GP Cement = 16.8%
Test Method RMS T130	**Dry Density/Moisture Relationship of Road Construction Materials (Blended in the Laboratory with Cementitious Binders)**
Maximum Dry Density (t/m^3)	2.357
Optimum Moisture Content (%)	8.4 (GeoStab 1.01 added at 5% of OMC)
Method used to determine moisture content.	RMS T120
Compactive effort	Standard
Test Method RMS T131	**Unconfined Compressive Strength (UCS)**
UCS specimens curing conditions	Specimens wrapped in protective cover and cured at 65°C ± 5°C
Compactive effort	Standard
Curing period	Accelerated curing 7 days ± 6hrs
Dry density at compaction (t/m^3)	2.37 , 2.37
Moisture content at compaction (%)	8.0 , 8.0
Test Method to determine moisture content	RMS T120
Condition of specimen after curing	Moist
UCS (MPa)	4.45 , 4.35
Average UCS (MPa)	**4.4**
Note 1.	15 minutes
Note 1:	RMS T131Table 1 - Time constraints - curing period for Fast Setting Binder - approximately $^1/_4$ hrs after incorporating binder prior to completion of moulding.

Note 2. : GeoStab 1.01 was provided by client.

MIKE HENDRY, FILE.

NATA
ACCREDITED FOR TECHNICAL COMPETENCE

Approved Signatory _____ **C. J. Shaw**

Date 20-3-15 Serial No. 134627

Accredited for compliance with ISO/IEC 17025

NATA Accredited Laboratory
Number: 547

Build something great™

Boral Construction Materials
Materials Technical Services

Unit 4, 3-5 Gibbon Road
Baulkham Hills NSW 2153 Australia
PO Box 400, Winston Hills NSW 2153

T: +61 (02) 9624 9900
F: +61 (02) 9624 9999

www.boral.com.au

TEST REPORT

CLIENT: Global Trade & Marketing Pty. Ltd.
ADDRESS: PO Box 8095 Glenmore Park, NSW 2745
PROJECT: Testing of GeoStab 1.01 Polymer Emulsion for Stabilised Soil
MATERIAL: GeoStab 1.01 - Batch No. GS150215-1

FILE No: 482/15
REQUEST No. : 61347
DATE SAMPLED: 15.2.15
DATE TESTED: 9.3.15 to 20.3.15

Test Method RMS T171 - Texas TXL	**Results**			
Modified Texas Triaxial Compression Test for Pavement Materials	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693			
Texas Classification No.	**1.2**			
Angle of shear resistance (deg.)	54.6			
Apparent cohesion (KPa)	127.3			
Average compressive modulus (MPa)	126.4			
Average Relative Density (%MDD) at moulding	100.9			
Average Relative Moisture content (%OMC) at moulding	75.0 (GeoStab 1.01 added at 5% of required MC)			
Target density (t/m^3)	2.357			
Target Moisture content (%)	7.1			
Amount of material retained on 37.5mm sieve (%)	0			
Normal Stress (kPa)	10	30	60	90
Compressive Modulus (MPa)	52.5	125.9	148.9	178.2
Dry Density of Specimen (t/m^3)	2.378	2.377	2.379	2.381
Relative Dry Density of specimen (%MDD)	100.9	100.8	100.9	101.0
Moisture content after test (%)	6.3	6.4	6.3	6.4

Test Method RMS T130	**Results**
Dry Density/Moisture Relationship of Road Construction Materials (Blended in the Laboratory with Cementitious Binders)	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693
Maximum Dry Density (t/m^3)	**2.357**
Optimum Moisture Content (%)	**8.4**
Method used for moisture content determination	RMS T120
Amount of material retained on 19.0mm sieve (%)	3
Note : Boral DGB20 was used where GP Cement was added for this test method (GP Cement / Soil = 2.5%)	

Note 2. : GeoStab 1.01 provided by client.

MIKE HENDRY, FILE.

NATA
ACCREDITED FOR TECHNICAL COMPETENCE

Approved Signatory _____ **C. J. Shaw**

Date 20.3.15 Serial No. 134628

Accredited for compliance with ISO/IEC 17025

NATA Accredited Laboratory
Number: 547

Build something great™

Ref: 2015 163693 DGB20 + GP Cement + GeoStab RMS MDD Std CBR 1day
Page 1 of 1
Rev 1 Dec 2012 Authorised by A. Mendoza

Boral Construction Materials
Materials Technical Services

Unit 4, 3-5 Gibbon Road
Baulkham Hills NSW 2153 Australia
PO Box 400, Winston Hills NSW 2153

T: +61 (02) 9624 9900
F: +61 (02) 9624 9999

www.boral.com.au

TEST REPORT

CLIENT:	Global Trade & Marketing Pty. Ltd.	FILE No:	482/15
ADDRESS:	PO Box 8095 Glenmore Park, NSW 2745	REQUEST No. :	61347
PROJECT:	Testing of GeoStab 1.01 Polymer Emulsion for Stabilised Soil	DATE SAMPLED:	15.2.15
MATERIAL:	GeoStab 1.01 - Batch No. GS150215-1	DATE TESTED:	9.3.15 to 12.3.15

Test Method RMS T117	**Results**
California Bearing Ratio (CBR) of Remoulded Specimens of Road Construction Materials	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693
(GeoStab 1.01 added at 5% of OMC)	GeoStab 1.01 / GP Cement = 16.8%
CBR at 2.5mm penetration (%)	**280**
CBR at 5.0mm penetration (%)	**390**
Correction applied (mm)	0.9
Number of days soaked	1 day unsoaked
Mass of surcharge applied (kg)	4.5
Dry density at compaction (t/m^3)	2.365
Density Ratio at compaction (%)	100
Moisture content at compaction (%)	7.8
Moisture Ratio at compaction (%)	93
Amount of oversize material +19.0mm (%)	-
Compactive effort used in preparation	Standard
Moisture content of specimen after soaking (%)	7.6% (Unsoaked))
Moisture content of top 30mm layer after penetration (%)	6.9
Moisture content at full depth after penetration (%)	7.2
Swell (as a % of initial height)	0.0
Method used for moisture content determination	RMS T120
Note : Boral DGB20 was used where GP Cement and GeoStab 1.01 were added for this test method.	

Test Method RMS T130	**Results**
Dry Density/Moisture Relationship of Road Construction Materials (Blended in the Laboratory with Cementitious Binders)	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693
	No GeoStab 1.01 was added
Standard Maximum Dry Density (t/m^3)	**2.357**
Standard Optimum Moisture Content (%)	**8.4**
Amount oversize material retained on 19.0mm sieve (%)	3
Method used for moisture content determination	RMS T120
Note : Boral DGB20 was used where GP Cement was added for this test method (GP Cement / Soil = 2.5%)	

Note 2. : GeoStab 1.01 provided by client.

MIKE HENDRY, FILE.

NATA
ACCREDITED FOR TECHNICAL COMPETENCE

Approved Signatory  C. J. Shaw

Date 23.3.15 Serial No. 134629

Accredited for compliance with ISO/IEC 17025

NATA Accredited Laboratory
Number: 547

Build something great™

Boral Construction Materials
Materials Technical Services

Unit 4, 3-5 Gibbon Road
Baulkham Hills NSW 2153 Australia
PO Box 400, Winston Hills NSW 2153

T: +61 (02) 9624 9900
F: +61 (02) 9624 9999

www.boral.com.au

Ref: 2015 163693 DGB20 + GP Cement + GeoStab RMS MDD Std CBR 4day

Rev 1 Dec 2012 Authorised by A. Mendoza

TEST REPORT

CLIENT:	Global Trade & Marketing Pty. Ltd.	FILE No:	482/15
ADDRESS:	PO Box 8095 Glenmore Park, NSW 2745	REQUEST No. :	61347
PROJECT:	Testing of GeoStab 1.01 Polymer Emulsion for Stabilised Soil	DATE SAMPLED:	15.2.15
MATERIAL:	GeoStab 1.01 - Batch No. GS150215-1	DATE TESTED:	9.3.15 to 20.3.15

Test Method RMS T117	**Results**
California Bearing Ratio (CBR) of Remoulded Specimens of Road Construction Materials	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693
(GeoStab 1.01 added at 5% of OMC)	GeoStab 1.01 / GP Cement = 16.8%
CBR at 2.5mm penetration (%)	**420**
CBR at 5.0mm penetration (%)	Exceeded capacity of testing equipment
Correction applied (mm)	0.4
Number of days soaked	4 day soaked
Mass of surcharge applied (kg)	4.5
Dry density at compaction (t/m^3)	2.365
Density Ratio at compaction (%)	100
Moisture content at compaction (%)	8.1
Moisture Ratio at compaction (%)	96
Amount of oversize material +19.0mm (%)	-
Compactive effort used in preparation	Standard
Moisture content of specimen after soaking (%)	8.5
Moisture content of top 30mm layer after penetration (%)	7.4
Moisture content at full depth after penetration (%)	7.2
Swell (as a % of initial height)	0.0
Method used for moisture content determination	RMS T120
Note : Boral DGB20 was used where GP Cement and GeoStab 1.01 were added for this test method.	

Test Method RMS T130	**Results**
Dry Density/Moisture Relationship of Road Construction Materials (Blended in the Laboratory with Cementitious Binders)	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693
	No GeoStab 1.01 was added
Standard Maximum Dry Density (t/m^3)	**2.357**
Standard Optimum Moisture Content (%)	**8.4**
Amount oversize material retained on 19.0mm sieve (%)	3
Method used for moisture content determination	RMS T120
Note : Boral DGB20 was used where GP Cement was added for this test method (GP Cement / Soil = 2.5%)	

Note 2. : GeoStab 1.01 provided by client.

MIKE HENDRY, FILE.

Approved Signatory _____ **C. J. Shaw**

Date 23.3.15 Serial No. 134630

NATA ACCREDITED FOR TECHNICAL COMPETENCE

Accredited for compliance with ISO/IEC 17025

NATA Accredited Laboratory

Number: 547

Build something great™

Boral Construction Materials
Materials Technical Services

Unit 4, 3-5 Gibbon Road
Baulkham Hills NSW 2153 Australia
PO Box 400, Winston Hills NSW 2153

T: +61 (02) 9624 9900
F: +61 (02) 9624 9999

www.boral.com.au

Ref: 2015 163693 DGB20 + GP Cement + GeoStab AS1289.6.7.2 FH Permeability Std

Report Template Rev 0 Jan 09 Authorised by A. Mendoza

TEST REPORT

CLIENT:	Global Trade & Marketing Pty. Ltd.	FILE No:	482/15
ADDRESS:	PO Box 8095 Glenmore Park, NSW 2745	REQUEST No. :	61347
PROJECT:	Testing of GeoStab 1.01 Polymer Emulsion for Stabilised Soil	DATE SAMPLED:	15.2.15
MATERIAL:	GeoStab 1.01 - Batch No. GS150215-1	DATE TESTED:	10.3.15 to 20.3.15

Test Methods AS1289.6.7.2	Results	
Determination of the permeability of a soil - Falling head method for a remoulded specimen.	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693	
(GeoStab 1.01 added at 5% of OMC)	GeoStab 1.01 / GP Cement = 16.8%	
Compaction method	Standard compaction	
Permeability mould diameter (mm)	151	
Permeability mould cross sectional area (mm^2)	18002	
Average height of compacted specimen (mm)	111	
	Before test	After test
Wet density (t/m^3)	2.555	2.550
Dry density (t/m^3)	2.368	2.368
Moisture content as per AS1289.2.1.1 (%)	7.9	7.7
Dry density ratio (%)	101	-
Moisture content ratio (%)	94	-
Surcharge used in test (KPa)	3.0	
Percentage of material retained on 19.0mm sieve	(discarded during the test)	
Degree of saturation (%)	100	-
Specific Gravity (Assumed)	-	-
Average Coefficient of permeability (m/sec)	**8.7×10^{-08}**	
Note: Boral DGB20 was used where GP Cement and GeoStab 1.01 were added for this test method.		

Note 2. : GeoStab 1.01 provided by client.

MIKE HENDRY, FILE.

NATA
ACCREDITED FOR TECHNICAL COMPETENCE

Approved Signatory _____ **Kamal Ali**

Date 23.3.15 Serial No. 134631

Accredited for compliance with ISO/IEC 17025

NATA Accredited Laboratory
Number: 547

Build something great™

Boral Construction Materials
Materials Technical Services

Unit 4, 3-5 Gibbon Road
Baulkham Hills NSW 2153 Australia
PO Box 400, Winston Hills NSW 2153

T: +61 (02) 9624 9900
F: +61 (02) 9624 9999

www.boral.com.au

Ref: 2015 163693 DGB20 + GP Cement + GeoStab AS1289.6.7.2 FH Permeability Std

Report Template Rev 0 Jan 09 Authorised by A. Mendoza

TEST REPORT

CLIENT:	Global Trade & Marketing Pty. Ltd.	FILE No:	482/15
ADDRESS:	PO Box 8095 Glenmore Park, NSW 2745	REQUEST No. :	61347
PROJECT:	Testing of GeoStab 1.01 Polymer Emulsion for Stabilised Soil	DATE SAMPLED:	15.2.15
MATERIAL:	GeoStab 1.01 - Batch No. GS150215-1	DATE TESTED:	10.3.15 to 20.3.15

Test Methods AS1289.6.7.2	Results	
Determination of the permeability of a soil - Falling head method for a remoulded specimen.	**Field Sample No.** 1 **Laboratory Sample No.** 163693	
(GeoStab 1.01 added at 5% of OMC)	GeoStab 1.01 / GP Cement = 16.8%	
Compaction method	Standard compaction	
Permeability mould diameter (mm)	151	
Permeability mould cross sectional area (mm^2)	18002	
Average height of compacted specimen (mm)	111	
	Before test	After test
Wet density (t/m^3)	2.555	2.550
Dry density (t/m^3)	2.368	2.368
Moisture content as per AS1289.2.1.1 (%)	7.9	7.7
Dry density ratio (%)	101	-
Moisture content ratio (%)	94	-
Surcharge used in test (KPa)	3.0	
Percentage of material retained on 19.0mm sieve	(discarded during the test)	
Degree of saturation (%)	100	-
Specific Gravity (Assumed)	-	-
Average Coefficient of permeability (m/sec)	**8.7×10^{-08}**	
Note: Boral DGB20 was used where GP Cement and GeoStab 1.01 were added for this test method.		

Note 2. : GeoStab 1.01 provided by client.

MIKE HENDRY, FILE.

NATA
ACCREDITED FOR TECHNICAL COMPETENCE

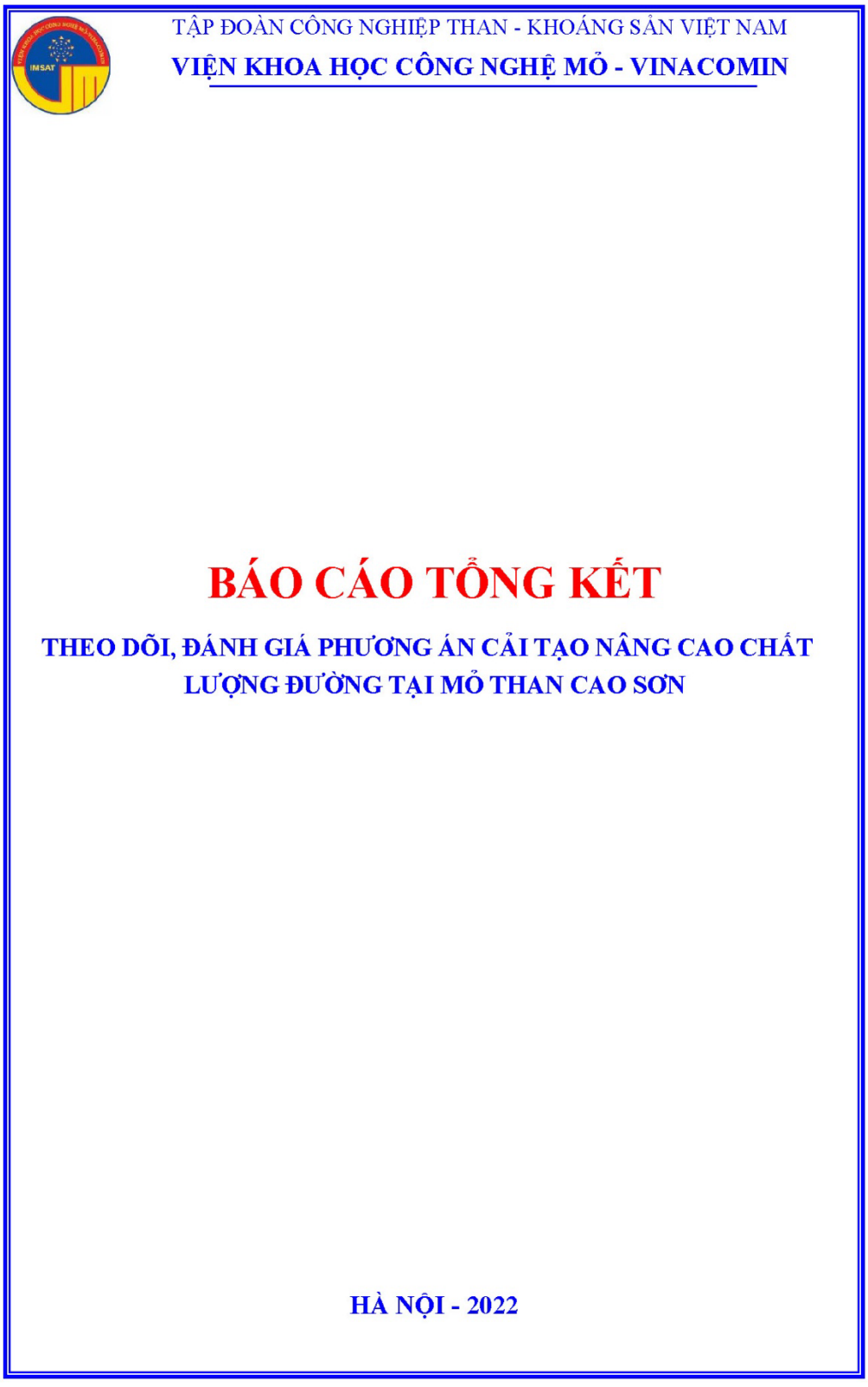
Approved Signatory _____ **Kamal Ali**

Date 23.3.15 Serial No. 134631

Accredited for compliance with ISO/IEC 17025

NATA Accredited Laboratory
Number: 547

Vietnam mine haul road technical report.



TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP THAN - KHOÁNG SẢN VIỆT NAM

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ MỎ - VINACOMIN

BÁO CÁO TỔNG KẾT

THEO DÕI, ĐÁNH GIÁ PHƯƠNG ÁN CẢI TẠO NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐƯỜNG TẠI MỎ THAN CAO SƠN

Cơ quan quản lý: **Tập đoàn CN Than - Khoáng sản Việt Nam**

Cơ quan thực hiện: **Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin**

Chủ nhiệm: **ThS. Đàm Công Khoa**

Hà Nội, ngày ... tháng ... năm 2022

VIỆN KHCN MỎ - VINACOMIN

DANH SÁCH NHỮNG NGƯỜI THỰC HIỆN

TT	Họ tên	Tên đơn vị công tác	Lĩnh vực chuyên môn	Chức danh bố trí trong gói thầu
1	Đàm Công Khoa	CBP. Lộ thiên	ThS. Khai thác mỏ	Chủ nhiệm Thiết kế
2	Đoàn Văn Thanh	PTP. Lộ thiên	TS. Khai thác mỏ	Chủ trì phần Khai thác lộ thiên
3	Trần Tuấn Anh	CBP. Địa cơ mỏ	KS. Địa chất	Chủ trì phần Địa chất
4	Đỗ Ngọc Tước	CBP. Lộ thiên	TS. Khai thác mỏ	Tham gia thực hiện phần Khai thác lộ thiên
5	Bùi Duy Nam	CBP. Lộ thiên	ThS. Khai thác mỏ	Tham gia thực hiện phần Khai thác lộ thiên
6	Lê Bá Phức	CBP. Lộ thiên	KS. Khai thác mỏ	Tham gia thực hiện phần Khai thác lộ thiên
7	Bùi Thế Nam	CBP. Lộ thiên	ThS. Khai thác mỏ	Tham gia thực hiện phần Khai thác lộ thiên
8	Đỗ Văn Triều	CBP. Lộ thiên	KS. Khai thác mỏ	Tham gia thực hiện phần khai thác lộ thiên
9	Nguyễn Nam Hải	CBP. Địa cơ mỏ	ThS. Địa chất	Tham gia thực hiện phần Địa chất
10	Lê Quang Hòa	CBP. Địa cơ mỏ	ThS. Kỹ thuật Địa Chất	Tham gia thực hiện phần Địa chất
11	Nguyễn Thanh Vân	CBP. Địa cơ mỏ	KS. Địa chất công Trình	Tham gia thực hiện phần Địa chất
12	Huỳnh anh Trung	CBP. TVXD&QLDA	Kiến trúc sư	Tham gia thực hiện phần Xây dựng - Giao thông
13	Nguyễn Thu Phương	CBP. TVXD&QLDA	KS. Xây dựng Dân dụng Công nghiệp	Tham gia thực hiện phần Xây dựng - Giao thông
14	Nhữ Sơn Thọ	CBP. TVXD& QLDA	KS. Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông	Tham gia thực hiện phần Xây dựng - Giao thông
15	Nguyễn Văn Tuấn	CBP. TVXD&QLDA	KS. Kỹ thuật xây dựng	Tham gia thực hiện phần Xây dựng - Giao thông
16	Bùi Thị Lê Na	CBP. Kinh tế Dự án	KS. Kinh tế năng lượng	Chủ trì phần Kinh tế
17	Vũ Thị Hồng Gấm	CBP. Kinh tế Dự án	CN. Kế toán	Tham gia thực hiện phần Kinh tế

TT	Họ tên	Tên đơn vị công tác	Lĩnh vực chuyên môn	Chức danh bố trí trong gói thầu
18	Nguyễn Thị Thùy Lan	CBP. Kinh tế Dự án	ThS. Kinh tế công nghiệp	Tham gia thực hiện phần Kinh tế
19	Phạm Thị Mai Thanh	CBP. Kinh tế Dự án	CN. Kinh tế	Tham gia thực hiện phần Kinh tế
20	Phạm Thúy Thường	CBP. Kinh tế Dự án	CN. Quản trị kinh doanh	Tham gia thực hiện phần Kinh tế

GIẢI NGHĨA CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Nghĩa đầy đủ
BHXH	Bảo hiểm xã hội
BHYT	Bảo hiểm y tế
CPĐD	Cấp phối đá dăm
DS	Defect score - điểm hư hỏng chức năng
Định mức 2048	Bộ định mức tiêu hao vật tư chủ yếu trong khai thác Lộ thiên, Hầm lò của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam ban hành tại Quyết định số 2048/QĐ-TKV ngày 08/12/2020
Định mức 2411	Hệ thống Định mức lao động và năng suất một số thiết bị chủ yếu khai thác than lộ thiên ban hành kèm theo Quyết định số 2411/QĐ-TKV ngày 31/12/2019 của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam
HĐĐ	Hoạt động đảng
KPCĐ	Kinh phí Công đoàn
RDS	Rougness Defect Score - điểm hư hỏng chức năng về độ phẳng mặt đường
TKV	Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam
XD	Xây dựng

MỤC LỤC

Danh sách những người thực hiện **1**
Giải nghĩa chữ viết tắt **3**
Mục lục **4**
Mở đầu **7**
Chương 1. Tổng hợp đặc điểm chung khu vực, công tác thi công cải tạo ... **11**
1.1. Hiện trạng các chỉ tiêu kỹ thuật kinh tế tuyến đường 11
1.1.1. Vị trí các đoạn đường cải tạo 11
1.1.2. Chức năng, nhiệm vụ, năng lực thông qua các đoạn đường cải tạo 12
1.2. Đặc điểm và thông số đoạn đường cải tạo 13
1.2.1. Thông số hiện trạng tuyến đường trước khi thi công cải tạo 13
1.2.2. Kết cấu các tuyến đường cải tạo 14
1.2.3. Nguồn vật liệu 17
1.3. Phân tích và lựa chọn phương pháp theo dõi, đánh giá quá trình thi công cải tạo 18
1.4. Đánh giá hiện trạng mặt đường trước khi cải tạo theo các hư hỏng chức năng DS (Defect Score) 19
1.4.1. Hiện trạng chất lượng mặt đường mỏ 19
1.4.2. Lựa chọn vật liệu làm lớp mặt đường mỏ 21
1.4.3. Đánh giá hiện trạng chất lượng mặt đường theo các hư hỏng chức năng DS (Defect Score) 24
1.4.4. Mô hình đánh giá hiện trạng chất lượng mặt đường theo các hư hỏng chức năng DS (Defect Score) 29
1.4.5. Kết quả đánh giá hiện trạng các hư hỏng chức năng mặt đường khu vực cải tạo 31
1.5. Đánh giá hiện trạng mặt đường trước khi cải tạo theo sức cản lăn RDS (Rougness Defect Score) 34
1.5.1. Khái niệm sức cản lăn (Rolling Resistance) 34
1.5.2. Đánh giá định tính sức cản lăn (RR) của mặt đường 35
1.5.3. Đánh giá định lượng sức cản lăn RR của mặt đường 36
1.5.4. Kết quả đánh giá chất lượng mặt đường khu vực cải tạo theo sức cản lăn RR tại thời điểm trước khi cải tạo. 38
1.6. Đánh giá chất lượng kết cấu mặt đường trước khi cải tạo bằng thiết bị

đo mô đun đàn hồi LWD và thiết bị DCP 40
1.6.1. Phương pháp đo mô đun đàn hồi bằng thiết bị đo động LWD 40
1.6.2. Phương pháp đo CBR bằng thiết bị chùy xuyên động DCP 42
1.6.3. Kết quả thí nhiệm 43
1.7. THIẾT KẾ BẢO TRÌ 50
1.7.1. Ý nghĩa thiết kế bảo trì và mô hình tối thiểu chi phí người sử dụng đường 50
1.7.2. Nguyên lý thiết kế bảo trì. 50
1.7.3. Thiết kế bảo trì cho các đoạn đường thử nghiệm ở mỏ Cao Sơn. 51
1.8. Theo dõi lưu lượng, chủng loại, tốc độ chuyển động trên đoạn đường chuẩn bị thi công cải tạo 56
1.9. Kết luận chương 1 57
Chương 2. Theo dõi, đánh giá quá trình chuẩn bị và thi công Phương án 61
2.1. Theo dõi, đánh giá quá trình chuẩn bị thi công 62
2.1.1. Theo dõi, đánh giá công tác chuẩn bị mặt bằng thi công (nhận bàn giao mốc cao độ, xác định tim đường…) 62
2.1.2. Theo dõi, đánh giá quá trình chuẩn bị bãi tập kết nguyên, vật liệu, phương tiện và nhân lực thi công, cung cấp điện nước 65
2.1.3. Theo dõi, đánh giá quá trình tập kết phương tiện, máy móc, thiết bị và nhân lực thi công tại hiện trường 66
2.1.4. Theo dõi, đánh giá quá trình đặt các bảng hiệu biển báo, báo hiệu phạm vi thi công 68
2.1.5. Theo dõi, đánh giá quá trình sản xuất, chế tạo CPDD-M 69
2.1.6. Theo dõi, đánh giá đoạn thi công thí điểm CPDD-M 74
2.2. Theo dõi, đánh giá quá trình thi công 78
2.2.1. Theo dõi, đánh giá quá trình thi công cho đường tạm thời B2-C 78
2.2.2. Đoạn đường bán cố định A-B1 84
2.2.3. Đoạn đường bán cố định B-B2 89
2.2.4. Đoạn đường cố định A-A1 92
2.2.5. Đoạn đường cố định A-A2 97
2.3. Tổng hợp đánh giá chất lượng các đoạn tuyến 107
2.3.1. Về tiến độ thi công 107

2.3.2. Về các thông số thi công các đoạn tuyến 107
2.3.3. Về kích thước vật liệu và chiều dày lớp CPĐD-M 109
2.3.4. Về chất lượng bề mặt tuyến đường 109
Chương 3. Theo dõi, đánh giá hiệu quả phương án 110
3.1. Theo dõi, đánh giá hiệu quả về phương diện kỹ thuật 110
3.1.1. Theo dõi, đánh giá tốc độ của các ô tô 110
3.1.2. Theo dõi hiệu quả về mức tiêu hao nhiên liệu 111
3.1.3. Theo dõi, đánh giá hiệu quả về hao mòn lốp xe 113
3.1.4. Theo dõi, đánh giá hiệu quả về phụ tùng thay thế 114
3.1.5. Theo dõi, đánh giá hiệu quả về năng suất xe 114
3.1.6. Theo dõi đánh giá chất lượng đường theo tuổi thọ 117
3.2. Đánh giá về hiệu quả kinh tế 120
3.2.1. Chi phí khi vận chuyển trên đoạn đường cải tạo 120
3.2.2. So sánh đoạn cải tạo và hiện trạng 124
Chương 4. Đề xuất phương án triển khai áp dụng trong toàn TKV 128
4.1. Chỉ dẫn kỹ thuật phương án cải tạo đường mỏ 128
4.1.1. Giải pháp kết cấu: 128
4.1.2. Giải pháp về vật liệu 130
Một số cơ chế gia cố đất/đá xi măng của phụ gia geostab. 134
4.1.3. Giải pháp về thi công và thiết bị thi công. 138
a. Đảm bảo thoát nước mặt đường 138
b. Đảm bảo độ bằng phẳng, cường độ, độ lún của lớp móng nằm ngay dưới CPĐD-M 138
4.1.4. Giải pháp bảo trì mặt đường 142
4.2. Khả năng áp dụng tại các đường cố định, bán cố định, tạm thời 144
4.2.1. Đối với các đoạn cố định 144
4.2.2. Đối với các đoạn bán cố định 145
4.2.3. Đối với các đoạn đường tạm thời 146
4.3. Phương án triển khai tại các mỏ thuộc TKV 146
Kết luận, kiến nghị 150
Phụ lục 1

MỞ ĐẦU

Vận tải là một trong những khâu công nghệ chính của quá trình sản xuất trên mỏ lộ thiên. Giá thành vận tải được cấu thành từ các loại chi phí: nhiên liệu, vật liệu, khấu hao,... Trong đó, chi phí nhiên liệu và vật liệu chiếm tỉ trọng lớn nhất (khoảng 60÷65 % giá thành vận tải). Mức tiêu hao nhiên liệu, vật liệu phụ thuộc chủ yếu vào cung độ và chiều cao nâng tải, thông số hình học tuyến đường (chiều rộng, độ dốc dọc, bán kính cong), đặc biệt chất lượng mặt đường mà đặc trưng là sức kháng lăn.

Trên thế giới, tại một số mỏ lộ thiên các nước Châu Âu (C.H. Liên bang Đức, Áo…), Châu Mỹ (Ecuador, Peru, C.H Dominica…), Châu Á (Trung Quốc, Indonesia…), Châu Phi (Ghana..) đã nghiên cứu và áp dụng giải pháp nâng cao chất lượng đường vận tải bằng giải pháp phối trộn vật liệu tại chỗ với một số phụ gia khác. Kết quả áp dụng vào thực tế đã mang lại hiệu quả cao như: xe ô tô có thể hoạt động vào những ngày mưa, từ đó tăng năng suất vận tải, giảm thiểu ô nhiễm bụi… góp phần khai thác liên tục và giảm chi phí sản xuất.

Hiện nay, các mỏ lộ thiên Việt Nam đang áp dụng tiêu chuẩn cho công tác vận tải trong mỏ tại Điều 11 Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5326: 2008 về kỹ thuật khai thác mỏ lộ thiên. Tuy nhiên, tiêu chuẩn cho công tác vận tải trong TCVN 5326: 2008 lấy tương tự TCVN 4054: 2005 về Thiết kế đường ô tô (phạm vi áp dụng cho đường giao thông). Trong khi đó, các mỏ lộ thiên Việt Nam sử dụng các thiết bị vận tải có tải trọng và kích thước rất lớn (ô tô có tải trọng 55÷130 tấn), đường vận tải thuộc dạng đồi núi, nhiều đoạn không bằng phẳng, bán kính vòng bé, thoát nước chưa tốt, thời gian sử dụng đường trong khai trường ngắn,…

Thực tế cho thấy, năng suất thiết bị vận tải tại các mỏ lộ thiên vẫn đạt định mức của TKV, một số tiêu chuẩn phù hợp với TCVN 4054: 2005. Tuy nhiên, năng suất thiết bị vẫn thấp hơn đề xuất của Nhà cung cấp. Bên cạnh đó, các quy định về an toàn của trong công tác vận tải gặp rất nhiều vướng mắc, chưa phù hợp với ngành mỏ, gây khó khăn cho công tác sản xuất của đơn vị.

Những năm tới, mỏ than Cao Sơn tiếp tục khai thác xuống sâu, khối lượng vận tải đất đá hàng năm từ 30,0÷48,0 triệu m^3 và 2,7÷4,5 triệu tấn than, chiều cao nâng tải 450÷600 m. Trong khi đó, giá thành nguyên nhiên liệu (xăng dầu, điện năng) có xu thế leo thang. Do đó, cần phải có các giải pháp nâng cao chất lượng đường mỏ để giảm giá thành khai thác.

Với mục tiêu trên, ngày 17/11/2020 Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam có Công văn số 5486/TKV-KCM về việc triển khai phương án nâng cao chất lượng đường tại mỏ Cao Sơn (Phương án). Trên cơ sở đó, Công ty Than Cao Sơn - TKV phối hợp với Viện khoa học công nghệ mỏ - Vinacomin và Công ty Tư vấn Công trình Châu Á Thái Bình Dương (APECO) lập Phương án, với các thông số kỹ thuật như sau:

- Tổng chiều dài các đoạn tuyến khoảng 2,3 km. Điểm đầu tuyến là điểm A có tọa độ (X = 2327975,07; Y = 453260,92) nằm ở mức +50 đầu đường vào trạm nghiên băng tải, điểm cuối là C (X = 2.327.827,05; Y = 454335,58) nằm ở mức -25 giáp ranh giữa đường tạm thời và bán cố định.

- Tuyến đường thi công được chia làm 3 loại: Đường tạm thời (đoạn B2-C), đường bán cố định (02 đoạn: A-B1, B- B2), đường cố định (02 đoạn: A-A1, A-A2. Thời gian tồn tại các đoạn đường tạm thời, cố định tùy thuộc vào kế hoạch khai thác mở rộng khai trường mỏ than Cao Sơn các năm tới.

- Giải pháp thiết kế

+ Hướng tuyến:

Tuyến 1: Điểm đầu tuyến bắt đầu từ điểm A1, tuyến đi về phía Đông đi qua điểm B và kết thúc tại điểm B1. Tổng chiều dài tuyến khoảng 0,95 km.

Tuyến 2: Điểm đầu tuyến bắt từ Km0+615.23 tuyến 1, tuyến rẽ phải đi theo hương Đông Nam qua điểm B2 và kết thúc tại điểm C. Tổng chiều dài tuyến khoảng 1,05 km.

Tuyến 3: Điểm đầu tuyến bắt đầu từ Km0+377.86 tuyến 1, tuyến rẽ phải đi theo hướng Tây qua điểm A và kết thúc tại điểm A2. Tổng chiều dài tuyến khoảng 0,32 km.

+ Thiết kế hình học, mặt cắt ngang điển hình: Cắt dọc tuyến đường được nghiên cứu căn cứ dựa vào tiêu chuẩn TCVN 5326: 2008 (kỹ thuật khai thác mỏ lộ thiên). Độ dốc dọc tối đa của tuyến là 8 % tương ứng với tốc độ thiết kế tính toán là 40 km/h.

+ Kết cấu áo đường:

Đối với đoạn tạm thời B2-C, đoạn bán cố định B-B1, B-B2: Rải CPĐD-M chiều dày 25 cm. Xây dựng rãnh thoát nước mặt đường, hướng dòng chảy về mương thoát nước của khai trường.

Đoạn đường cố định A-A1, bán cố định A-B: Rải CPĐD-M chiều dày 25

cm, tưới phụ gia chống bụi và hóa cứng mặt đường. Xây dựng rãnh thoát nước mặt đường, hướng dòng chảy về mương thoát nước của khai trường.

Đoạn đường cố định A-A2: Cải tạo lớp mặt đường bằng giải pháp gia cố sử dụng 7 % xi măng và phụ gia tăng cường độ, chiều dày lớp mặt đường 25 cm. Rải CPĐD-M chiều dày 25 cm, tưới phụ gia chống bụi và hóa cứng mặt đường.

Quy mô mặt cắt ngang:

- Bề rộng mặt đường tối thiểu: $B_{mặt}$ = 17,0 m

- Bề rộng lề đường: $B_{lề}$ = 2 × 0,5 m = 1,0 m

- Độ dốc ngang: i = 3 %;

Để theo dõi, phân tích, đánh giá, lập báo cáo kết quả thực hiện Phương án làm cơ sở triển khai áp dụng trong toàn TKV, ngày 08/02/2021 Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam đã có công văn số 575/TKV-KCM giao Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin chủ trì phối hợp cùng Công ty Cổ phần than Cao Sơn - TKV lập đề cương - dự toán nhiệm vụ Theo dõi, đánh giá Phương án cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn. Đề cương đã được TKV phê duyệt theo Quyết định số: 508/QĐ-TKV ngày 28/4/2021 với các nội cung chính như sau:

1. Tên công trình: Theo dõi, đánh giá Phương án cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn.

2. Mục tiêu: Nâng cấp chất lượng mặt đường bằng công nghệ gia cố vật liệu tại chỗ nhằm tăng năng suất vận tải, giảm chi phí nguyên, nhiên vật liệu, sửa chữa, giảm nguy cơ mất an toàn, ô nhiễm môi trường,… để giảm giá thành vận tải chung.

3. Nội dung công việc: Để thực hiện được mục tiêu đề ra, các nội dung chính phải thực hiện bao gồm:

3.1. Tổng hợp đặc điểm khu vực cải tạo, phân tích và lựa chọn phương pháp theo dõi, đánh giá quá trình thi công cải tạo;

3.2. Theo dõi, đánh giá quá trình chuẩn bị thi công;

3.3. Theo dõi, đánh giá quá trình thi công;

3.4. Theo dõi, đánh giá quá trình kiểm tra, nghiệm thu;

3.5. Theo dõi, đánh giá hiệu quả về phương diện kỹ thuật;

3.6. Đánh giá về hiệu quả kinh tế;

3.7. Đề xuất phương án triển khai áp dụng trong toàn TKV.

CHƯƠNG 1. TỔNG HỢP ĐẶC ĐIỂM CHUNG KHU VỰC, CÔNG TÁC THI CÔNG CẢI TẠO

1.1. HIỆN TRẠNG CÁC CHỈ TIÊU KỸ THUẬT KINH TẾ TUYẾN ĐƯỜNG

1.1.1. Vị trí các đoạn đường cải tạo

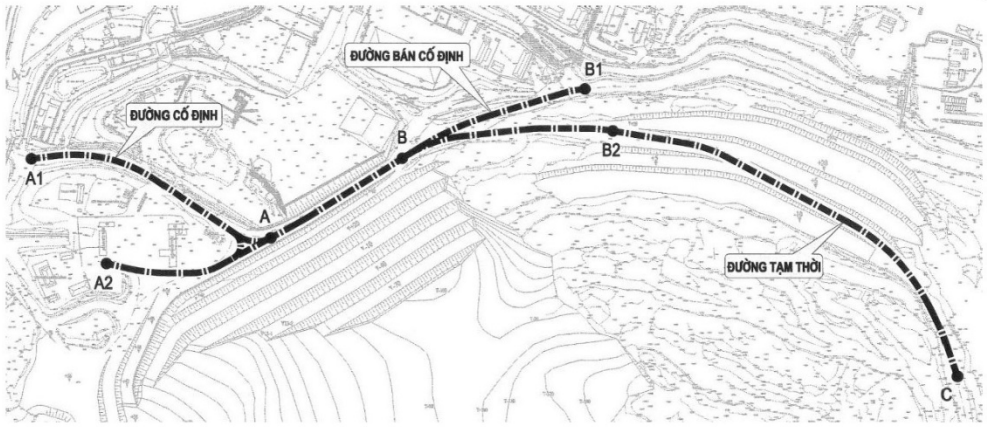
Trên cơ sở nguyên tắc lựa chọn, kế hoạch khai thác, mở rộng khai trường các năm tới của mỏ than Cao Sơn, vị trí thi công được lựa chọn là khai trường mỏ than Cao Sơn, phạm vi từ khu vực mặt bằng Bun ke băng tải dọc theo trục đường vận tải chính cánh Bắc moong Trung tâm Cao Sơn. Tổng chiều dài các đoạn tuyến 2,3 km.

Tuyến đường thi công được chia làm 3 loại: Đường tạm thời (đoạn B2-C), đường bán cố định (02 đoạn: A-B1, B-B2), đường cố định (02 đoạn: A-A1, A-A2), thông số các đoạn đường thể hiện bảng 1.1. Thời gian tồn tại các đoạn đường tạm thời, cố định tùy thuộc vào kế hoạch khai thác mở rộng khai trường mỏ than Cao Sơn các năm tới. Trên cơ sở kế hoạch khai thác 2020-2025 và lịch khai thác mỏ than Cao Sơn theo phương án đã được phê duyệt, thời gian tồn tại các đoạn đường thể hiện bảng 1.1 (tính từ 30/6/2021).

Bảng 1.1. Thông số, thời gian tồn tại các đoạn đường

TT	Tên đoạn đường	Chiều dài, km	Tọa độ VN2000 107°45' múi chiếu 3				Thời gian tồn tại
			Điểm đầu		Điểm cuối		
			X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	
1.1	Cố định (A-A1)	0,417	2.328.021,58	453.253,97	2.328.146,21	452.875,35	>5 năm
1.2	Cố định (A-A2)	0,275	2.328.021,58	453.253,97	2.327.980,39	452.993,58	>5 năm
2.1	Bán cố định (A-B1)	0,555	2.328.021,58	453.253,97	2.328.258,05	453.751,18	3 năm
2.2	Bán cố định (B-B2)	0,341	2.328.147,97	453.462,40	2.328.191,52	453.795,23	3 năm
3	Tạm thời (B2-C)	0,711	2.328.191,52	453.795,23	2.327.803,31	454.339,40	0,5 năm

Vị trí tuyến đường gồm các đoạn đường thi công xem hình 1.1.



Hình 1.1. Vị trí tuyến đường thi công

1.1.2. Chức năng, nhiệm vụ, năng lực thông qua các đoạn đường cải tạo

Theo Dự án được duyệt, khai trường Cao Sơn tiếp tục khai thác xuống sâu, khối lượng vận tải đất đá hàng năm từ 30,0÷48,0 triệu m^3 và 3,4÷4,5 triệu tấn than, chiều cao nâng tải 450÷600 m. Hiện tại, phần lớn khối lượng đất đá thải được đổ tại bãi thải Bàng Nâu bằng công nghệ vận tải ô tô đơn thuần và băng tải, phần nỏ còn lại tại các tầng trên khu vực phía Nam đổ tại bãi thải Nam Khe Tam. Công tác vận tải đất đá và than nguyên khai do các loại ô tô có tải trọng từ 36÷96 tấn đảm nhận, bao gồm các loại: CAT 777D (q = 96 tấn); HD785-7 (q = 91 tấn); CAT 773E; F, HD465-7R (q = 55÷58 tấn); HM400; Volvo (q = 32÷42 tấn). Số lượng thiết bị hiện có tại mỏ Cao Sơn xem bảng 1.2.

Bảng 1.2. Tổng hợp hiện trạng số lượng thiết bị vận tải tại chính tại khai trường Cao Sơn

TT	Tên thiết bị	Số lượng, chiếc
1	Ô tô CAT 777D, E (96-98 tấn)	59
2	Ô tô HD 785-5; 7 (91 tấn)	18
3	Ô tô CAT 773E & F, HD465 (58 tấn)	64
4	Ô tô khung động HM-400-2R,3R Volvo A40D (36÷40 tấn)	16
	Tổng	**157**

Chức năng, nhiệm vụ, năng lực thông qua cụ thể tại các đoạn đường cải tạo như sau:

1. Đoạn cố định A-A1: Đây là đoạn nằm trên tuyến đường cố định chính của mỏ, nối khai tường Cao Sơn với bãi thải Bàng Nâu. Hiện tại, một nửa khối lượng đất đá thải mỏ Cao Sơn (20 triệu m^3/năm) đổ vào bunke trạm nghiền để

vận tải băng tải, phần khối lượng còn lại (15÷25 triệu m^3/năm) được vận chuyển ra bãi thải Bàng Nâu thông qua đoạn đường này.

2. Đoạn cố định A-A2: Đây là đoạn nằm trên tuyến đường cố định chính của mỏ. Đoạn đường có nhiệm vụ lưu thông các phương tiện vận tải đất đá, than từ các tầng khai thác +20 trở lên khu vực Tây, Tây Nam khai trường và toàn bộ đất đá đổ vào bunke trạm nghiền.

3. Đoạn bán cố định A-B: là đoạn nối giữa khai trường và đường ra bãi thải. Đoạn này có nhiệm vụ kết nối các khu vực khai trường, toàn bộ đất đá và than khai thác từ khu vực bờ Đông và đáy mỏ được vận tải qua tuyến đường này về trậm đập, bãi thải Bàng Nâu và các kho than. Ngoài ra, đoạn đường cũng là nơi di chuyển của các thiết bị không tải từ các phân xưởng vận tải ra các tầng bóc đất khu vực bờ Tây Nam.

4. Đoạn bán cố định B-B1: Đoạn này chủ yếu là các thiết bị vận tải từ các phân xưởng vận tải ra khai trường và đất đá từ các tầng trên mức +50 bờ Đông, Đông Nam về trạm đập và bãi thải.

5. Đoạn bán cố định B-B2 và tạm thời B2-C: Các đoạn này là đường chính dẫn xuống đáy moong khai thác và các tầng bờ Đông, Đông Nam, có nhiệm vụ lưu thông các thiết bị vận tải than và đất đá từ các khu vực này về các kho than, trạm nghiền và bãi thải.

Lưu lượng, vận tốc và năng lực thông qua của các đoạn tuyến xem bảng 1.3.

Bảng 1.3. Tổng hợp thông số vận tải các đoạn tuyến

TT	Đoạn tuyến	Lưu lượng, chuyến/ngày	Vận tốc trung bình, km/h	Tải lượng qua đường trung bình ngày, t/ngày
1	A-A1	1.800-2.200	27,0	410.000
2	A-A2	2.500-2.800	21,5	500.000
3	A-B	1.600-1.800	26,2	335.000
4	B-B1			40.000
5	B-B2	1.100-1.300	23,8	235.000
6	B2-C	1.100-1.300	22,1	235.000

1.2. ĐẶC ĐIỂM VÀ THÔNG SỐ ĐOẠN ĐƯỜNG CẢI TẠO

1.2.1. Thông số hiện trạng tuyến đường trước khi thi công cải tạo

Qua khảo sát thực tế tại các đoạn đường cải tạo thuộc Phương án trên khai

trường mỏ than Cao Sơn như hình 1.2, hiện trạng các thông số của các đoạn đường thi công có các thông số hình học được thể hiện chi tiết qua bảng 1.4.



Hình 1.2. Hiện trạng các tuyến đường cải tạo

a, b- đường tạm thời và bán cố định B-C; c- đường cố định A-A1; d- đường cố định trên A-A2

Bảng 1.4. Hiện trạng các thông số tuyến đường trước khi thi công cải tạo

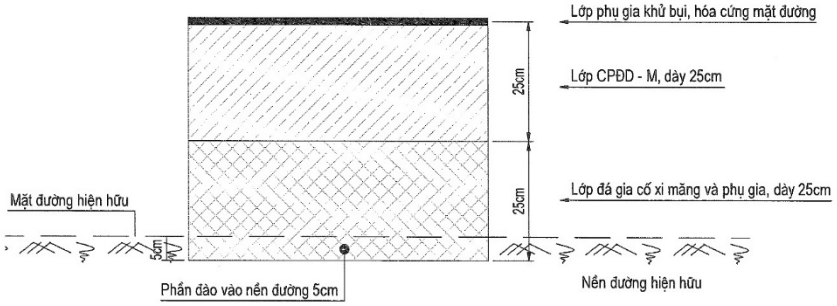
TT	Thông số	Đơn vị	Loại đường		
			Đường cố định (A-A1, A-A2)	Bán cố định (A-B1, B-B2)	Tạm thời (B2-C)
1	Tổng chiều dài	km	0,69	0,91	0,71
2	Chiều rộng	m	17÷22	17÷20	17÷20
3	Bán kính cong	m	17÷30	60÷250	175÷500
4	Độ dốc dọc	%	4÷6	6÷8	6÷12

1.2.2. Kết cấu các tuyến đường cải tạo

1.2.2.1. Đường cố định

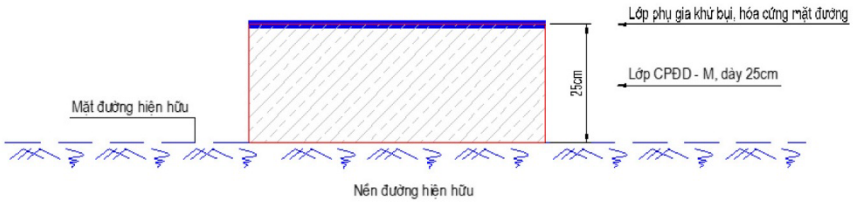
- Kết cấu đoạn đường cố định A-A2 gồm các lớp: đá gia cố 7 % xi măng dày 25 cm (bao gồm 5 cm cào bóc mặt đường hiện trạng), rải CPĐD-M chiều

dày 25 cm, tưới phụ gia chống bụi và hóa cứng mặt đường (kết cấu KC-1). Xây dựng rãnh thoát nước mặt đường, hướng dòng chảy về mương thoát nước của khai trường. Kết cầu áo đường A-A2 xem hình 1.3.



Hình 1.3. Kết cấu mặt đường KC-1

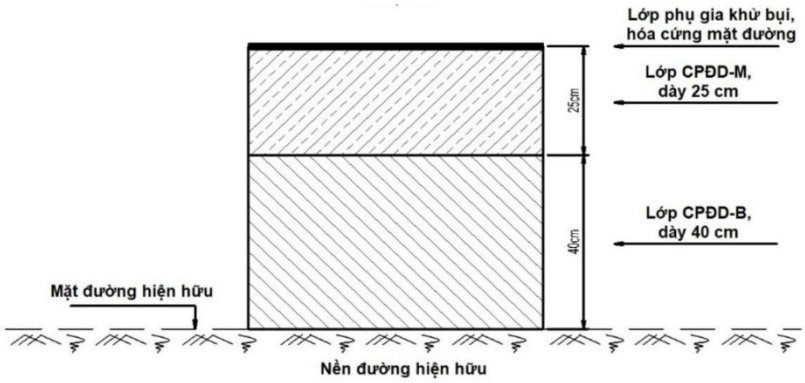
- Đoạn đường cố định A-A1 rải CPĐD-M chiều dày 25 cm, tưới phụ gia chống bụi và hóa cứng mặt đường (kết cấu KC-2A). Xây dựng rãnh thoát nước mặt đường, hướng dòng chảy về mương thoát nước của khai trường. Kết cầu áo đường A-A1 xem hình 1.4.



Hình 1.4. Kết cấu mặt đường KC-2A

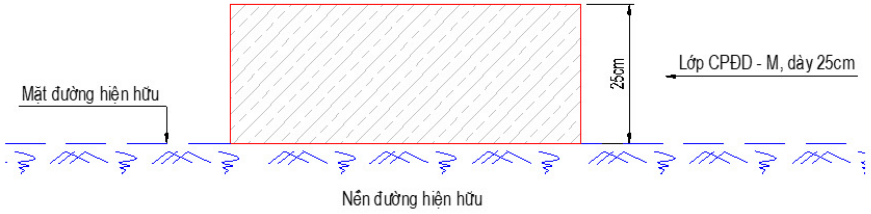
1.2.2.2. Đường bán cố định

- Đoạn bán cố định A-B (thuộc đoạn A-B-B1) sau khi điều chỉnh có kết cấu lớp móng CPĐD-B dày 40 cm sau đó rải CPĐD-M chiều dày 25 cm, tưới phụ gia chống bụi và hóa cứng mặt đường (kết cấu KC-2A-DC) như hình 1.5.

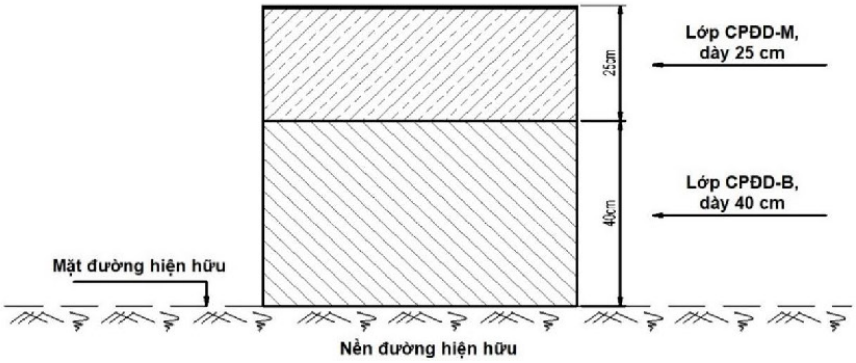


Hình 1.5. Kết cấu mặt đường KC-2A-ĐC

- Đoạn bán cố định B-B1 (thuộc đoạn A-B-B1) rải CPĐD-M chiều dày 25 cm (kết cấu KC-2B - hình 1.6), đoạn B-B2 sau ki điều chỉnh bổ sung lớp móng CPĐD-B dày 40 cm sau đó rải CPĐD-M chiều dày 25 (kết cấu KC-2B-ĐC - hình 1.7). Xây dựng rãnh thoát nước mặt đường, hướng dòng chảy về mương thoát nước của khai trường.



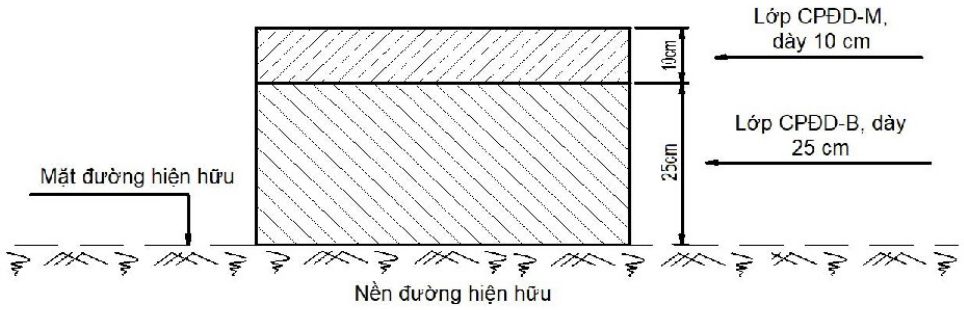
Hình 1.6. Kết cấu mặt đường KC-2B



Hình 1.7. Kết cấu mặt đường KC-2B-ĐC

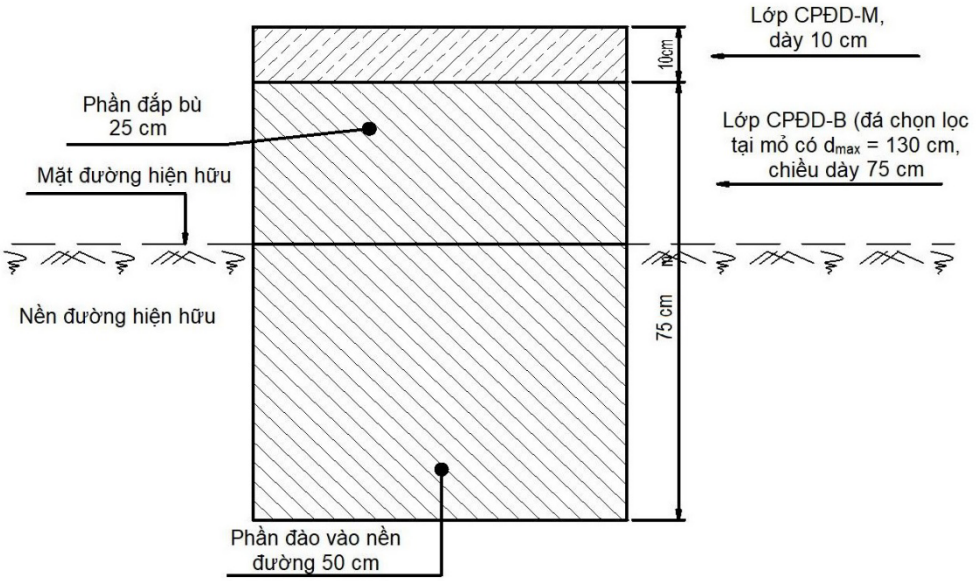
1.2.2.3. Đường tạm thời

- Đối với đoạn tạm thời B2-C sau ki điều chỉnh có kết cấu móng là CPĐD-B chiều dày 25 cm áo đường là CPĐD-M có chiều dày 10 cm (kết cấu KC-2B - ĐC1 hình 1.8). Xây dựng rãnh thoát nước mặt đường, hướng dòng chảy về mương thoát nước của khai trường.



Hình 1.8. Kết cấu mặt đường KC-2B-ĐC1

- Trên đoạn đường tạm thời B2-C, một số đoạn có nền không ổn định cần phải đào xử lý cục bộ nền đường trước khi tăng cường mặt đường, giải pháp cụ thể như sau: Từ mặt đường hiện trạng đào xuống 50 cm và đắp trả bằng CPĐD-B dày 75 cm sau đó mới rải CPĐD-M chiều dày 10 cm làm mặt đường (KC-3-ĐC - hình 1.9).



Hình 1.9. Kết cấu đường KC-3-ĐC trên một số đoạn có nền không ổn định

1.2.3. Nguồn vật liệu

Theo Báo cáo "Thành lập bổ sung bản đồ cơ lý đá (lộ thiên) năm 2019 mỏ than Cao Sơn - Công ty Cổ phần than Cao Sơn - Vinacomin". Đặc tính cơ lý của các loại nham thạch trong khu mỏ than Cao Sơn thể hiện Bảng 1.5.

Bảng 1.5. Bảng tổng hợp các chỉ tiêu cơ lý đá

Tên đá	Độ ẩm (W), %	Khối lượng riêng (Δ)' g/cm^3	Khối lượng thể tích (γ), g/cm^3	Cường độ kháng kéo (σ_k), kG/cm^2	Cường độ kháng nén (σn), kG/cm^2	Hệ số kiên cố Protodia-conov (f)	Lực dính kết (C), kG/cm^2	Góc ma sát (φ), độ
Sạn kết	0,245	2,622	2,595	182,30	1298,05	12,98	331,28	35,47
Cát kết	0,376	2,673	2,648	167,13	1195,54	11,96	306,54	35,20
Bột kết	0,621	2,697	2,656	113,22	913,86	9,14	213,99	34,60

Kết quả thí nghiệm trong phòng cho thấy, hỗn hợp đất đá tại mỏ than Cao Sơn phù hợp với công nghệ gia cố đất với một số chỉ tiêu cơ bản như sau:

- Thành phần hạt của nằm trong đường bao tiêu chuẩn của phương án;

- Khối lượng thể tích > 2,4 g/cm^3; khối lượng riêng > 2,6 g/cm^3;

- CBR tại K98 > 80 %;

- Cường độ chịu nén của đá gốc Rn ≥ 100 MPa.

(Kết quả thí nghiệm thiết kế đất gia cố xi măng và phụ gia tăng độ bền cho thấy, cường độ chịu nén ở tuổi 7 ngày của hỗn hợp đất gia cố với 7 % xi măng đạt > 4 MPa và cường độ ép chẻ Rec = 0,55 MPa).

1.3. PHÂN TÍCH VÀ LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP THEO DÕI, ĐÁNH GIÁ QUÁ TRÌNH THI CÔNG CẢI TẠO

Theo Đề cương được duyệt, các nội dung chính cần theo dõi đánh giá bao gồm: Theo dõi đánh giá về chất lượng, các thông số tuyến đường trước khi thi công cải tạo; Theo dõi, đánh giá quá trình chuẩn bị và thi công Phương án; Theo dõi, đánh giá hiệu quả về phương diện kỹ thuật trong thời gian sáu tháng sau khi hoàn thiện thi công Phương án.

Đối với các thông số hình học, lưu lượng, tốc độ thì phương pháp theo dõi, đánh giá phù hợp là đo đạc thống kê từ thực tế, so sánh với hồ sơ thiết kế, văn bản quy phạm hiện hành. Các thông số kỹ thuật nhu mô đun đàn hồi, sức chịu tải CBR được tổng hợp, phân tích từ kết các quả khảo sát phục vụ lập và nghiệm thu Phương án. Các hư hỏng chức năng DS (Defect Score), sức cản lăn theo điểm hư hỏng độ nhám RDS (Roughness Defect Score) được đo đạc, quan sát, chấm điểm, định lượng theo khuyến nghị của chuyên gia.

Các phương pháp theo dõi đánh giá lựa chọn được tổng hợp trong bảng 1.6.

Bảng 1.6. Tổng hợp các phương pháp theo dõi đánh giá lựa chọn

TT	Nội dung theo dõi, đánh giá	Phương pháp theo dõi, đánh giá
1	Hiện trạng các chỉ tiêu kỹ thuật kinh tế tuyến đường	Tổng hợp phân tích từ số liệu thống kê của mỏ
2	Đánh giá chất lượng mặt đường cải tạo theo các hư hỏng chức năng DS (Defect Score), sức cản lăn theo điểm hư hỏng độ nhám RDS (Roughness Defect Score)	Đo đạc, quan sát, chấm điểm, định lượng theo hướng dẫn Roger J. Thompson
3	Mô đun đàn hồi, sức chịu tải CBR	Tổng hợp, phân tích từ kết các quả khảo sát phục vụ lập và nghiệm thu Phương án

TT	Nội dung theo dõi, đánh giá	Phương pháp theo dõi, đánh giá
4	Theo dõi lưu lượng, chủng loại, tốc độ chuyển động trên đoạn đường cải tạo	Tổng hợp phân tích từ số liệu thống kê, đo đạc, thống kê, bấm giờ trực tiếp
5	Theo dõi, đánh giá quá trình chuẩn bị và thi công Phương án	Khảo sát, đo đạc, bấm giờ, tổng hợp kết quat thí nghiệm, so sánh
6	Theo dõi, đánh giá hiệu quả về mức tiêu hao nhiên liệu	Tính toán bằng phương pháp chuyên gia theo sức cản lăn RR, so sánh với kết quả tổng hợp phân tích từ số liệu thống kê của mỏ
7	Theo dõi, đánh giá hiệu quả về hao mòn lốp xe	
8	Theo dõi, đánh giá hiệu quả về phụ tùng thay thế	Tổng hợp phân tích từ số liệu thống kê của mỏ
9	Theo dõi, đánh giá hiệu quả về năng suất xe	Thống kê, phân tích, so sánh

1.4. ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG MẶT ĐƯỜNG TRƯỚC KHI CẢI TẠO THEO CÁC HƯ HỎNG CHỨC NĂNG DS (DEFECT SCORE)

1.4.1. Hiện trạng chất lượng mặt đường mỏ

Hiện trạng chất lượng mặt đường mỏ (***lớp mặt trên cùng***) gắn liền với các tính chất cơ lý của vật liệu làm mặt đường. Đối với mặt đường mỏ thì vật liệu chủ yếu được sử dụng chính là đất, đá thải được bóc tách từ các vỉa tầng (cắt tầng) tại các gương khai thác.

Thực tế nếu lấy đất đá nổ thải mà không lựa chọn và kiểm soát kỹ chất lượng đầu vào theo các chỉ tiêu kỹ thuật quy định như cách làm hiện nay ở các mỏ than sẽ dẫn đến hình thành mặt đường bi hư hỏng nặng nề, ảnh hưởng nghiệm trọng đến quá trình khai thác, vận chuyển, môi trường và an toàn trong các mỏ lộ thiên. Hình 1.10 dưới đây trình bày một số hư hỏng điển hình của mặt đường mỏ Cao Sơn trước khi cải tạo, nâng cấp mà các hư hỏng này liên quan trực tiếp đến các tính chất cơ lý của đất đá nổ thải, cụ thể:

- Hư hỏng 1.10a và 1.10b là kết quả của việc lựa chọn cấp phối thành phần hạt cốt liệu không tuân theo quy luật cấp phối kết hợp lu lèn không đủ chặt dẫn đến bị lượn sóng mấp mô và lún vệt bánh

- Hư hỏng 1.10c và 1.10d là kết quả do trong hỗn hợp đất đá có qua nhiều hạt mịn, thành phần bột dẫn đến mặt đường khi trời mưa rất dễ sinh sình lầy và trơn trượt, mất an toàn khi di chuyển cho người và xe cộ.

- Hình 1.10e và 1.10 cho thấy mặt đường xuất hiện nhiều đá to trên bề mặt. Đây là nguyên nhân chính dẫn đến hao mòn lốp xe cũng như gây hư hỏng cho bộ lốp làm tăng chi phí vận chuyển do tuổi thọ của lốp xe xuống thấp.

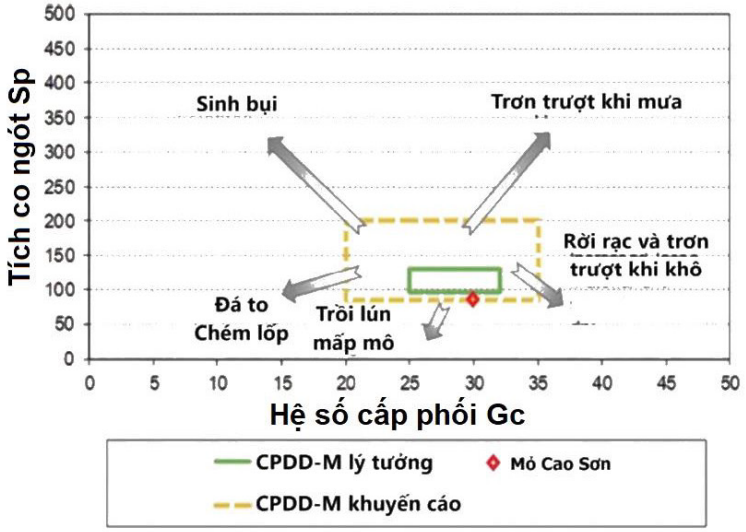
- Hình 1.10g và 1.10h là minh chứng cho việc lựa chọn vật liệu làm lớp mặt không đảm bảo yêu cầu, không có thành phần hạt dính để dính kết các hạt đá to khi được lèn chặt dẫn đến vật liệu bị rời rạc rất dễ bị bong bật do lực nhổ của lốp xe cũng như dẫn đến hiện tượng bụi, mất vệ sinh môi trường do bánh xe tốc độ cao kéo các hạt bụi trong hỗn hợp đất đá rời rạc, không dính kết.



Hình 1.10. Hư hỏng điển hình của mặt đường mỏ Cao Sơn

1.4.2. Lựa chọn vật liệu làm lớp mặt đường mỏ

Các hư hỏng nêu tại mục 1.4.1 và hình 1.10 một khi xuất hiện sẽ làm giảm chất lượng mặt đường xuống mức trầm trọng, là tác nhân chủ yếu không những làm giảm hiệu quả vận chuyển mà còn dẫn đến chi phí sửa chữa và bảo trì trở nên tốn kém. Để khắc phục điều này thì việc lựa chọn vật liệu làm lớp mặt có các đặc tính cơ lý phù hợp là hết sức quan trọng. Vật liệu làm lớp mặt đường chính là tận dụng đất đá nổ thải từ hoạt động khai thác trong các mỏ lộ thiên. Hình 1.11 trình bày biểu đồ lựa chọn vật liệu làm lớp mặt đường dựa trên 02 đặc tính cơ lý: Gc (hệ số cấp phối) và Sp (Tích co ngót). Theo đó, vật liệu nằm trong hình chữ nhật nhỏ là tốt nhất và khuyến cáo nằm trong hình chữ nhật lớn để tránh mặt đường bị các hư hỏng như minh họa tại hình 1.10.



Hình 1.11. CPĐD-M tại mỏ Cao Sơn

Ngoài 02 đặc tính Gc và Sp, vật liệu làm lớp mặt cũng phải có các tính chất khác đáp ứng yêu cầu kỹ thuật như trình bày tại Bảng 1.7 dưới đây:

Bảng 1.7. Lựa chọn vật liệu làm lớp mặt đường

TT	Hư hỏng có thể khi thông số vật liệu < giá trị Min	Thông số vật liệu	YCKT Min ÷Max	Hư hỏng có thể khi thông số vật liệu > giá trị Max
1	Dễ bảo trì, thân thiện với xe và không bị hỏng lốp	Kích thước hạt tối đa (D_{max}) (mm)	40	Bề mặt kém bằng phẳng, nhiều ổ gà và có thể xảy ra hiện tượng chém lốp

TT	Hư hỏng có thể khi thông số vật liệu < giá trị Min	Thông số vật liệu	YCKT Min ÷Max	Hư hỏng có thể khi thông số vật liệu > giá trị Max
2	Tăng đá rời, nếp gấp và khả năng chém lốp	Hệ số cấp phối (Gc)	20÷35	Tăng khả năng xáo trộn, khả năng kháng trượt khô kém
3	Giảm độ trơn trượt nhưng dễ bị rạn và hỏng	Tích co ngót (Sp)	85÷200	Tăng độ bẩn và khả năng chống trượt ướt kém
4	Tăng độ rời rạc	Giới hạn chảy (LL), %	17÷24	Dễ bị bụi bẩn, giảm xáo trộn
5	Tăng độ rời rạc	Giới hạn dẻo (PL), %	12÷17	Dễ bị bụi bẩn, giảm xáo trộn
6	Gia tăng xu hướng bong tróc, lồng lẻo	Chỉ số dẻo (PI)	4÷8	Dễ bị bám bụi và khả năng chống trượt ướt kém
7	Giảm độ bẩn nhưng vật liệu rời sẽ bị bong tróc	Tỷ lệ bụi* (DR)	0,4÷0,6	Tăng phát sinh bụi
8	Dễ lầy lún khi mưa, biến dạng quá mức và xói mòn	CBR ngâm bão hòa ở độ chặt 98 % Proctor cải tiến	80	Tăng khả năng chống xói mòn, hằn lún và cải thiện khả năng giao thông

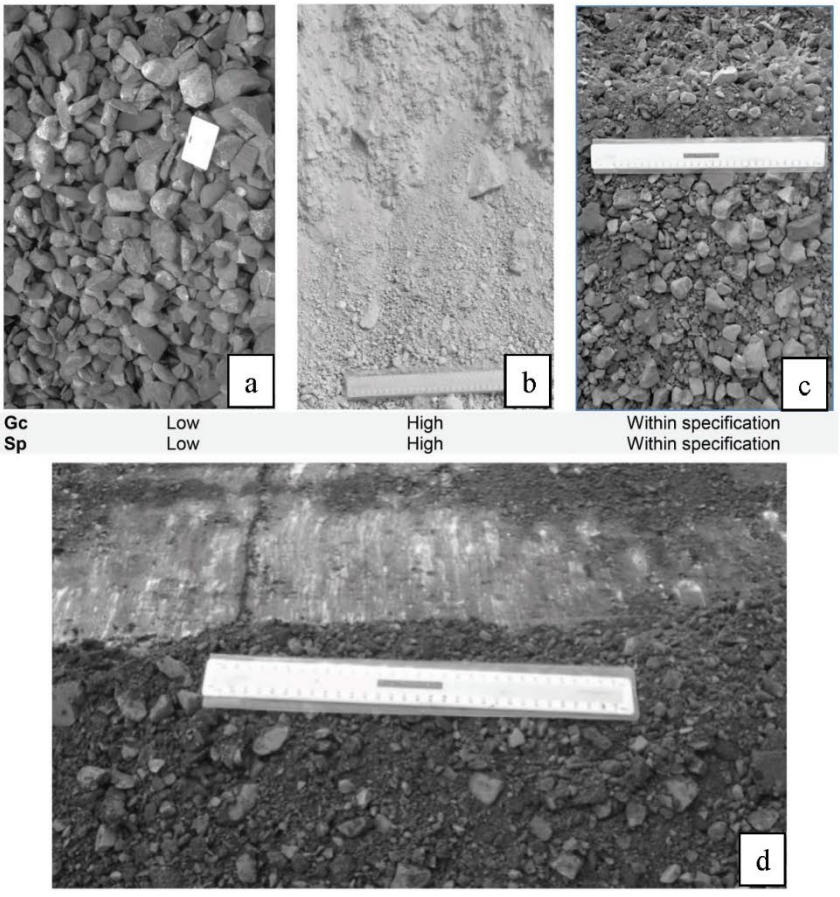
Các thông số vật liệu nêu trên đều có thể xác định bằng các thí nghiệm thông dụng có trong các phòng thí nghiệm LAS-XD (Bảng 1.8)

Bảng 1.8. Các phương pháp thí nghiệm xác định các thông số vật liệu làm lớp mặt đường

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Phương pháp thí nghiệm
1	D_{max}, mm	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
2	Hệ số cấp phối Gc	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
3	Tích co ngót Sp	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
4	Giới hạn chảy (LL), %	AASHTO T89-T90
5	Giới hạn dẻo (PL), %	AASHTO T89-T90
6	Chỉ số dẻo (PI), %	AASHTO T89-T90
7	Tỷ lệ bụi, DR	AASHTO T27 /TCVN 7572-2: 2006
8	CBR ngâm bão hòa nước ở độ chặt 98% của Proctor cải tiến , %	AASHTO T193/TCVN 12790: 2020

Hình 1.12 dưới đây minh họa một số loại vật liệu làm lớp mặt đường mỏ. Hình 1.12a cho thấy vật liệu này có đặc tính Gc và Sp quá thấp, mặt đường rất rời rạc và dễ bị bong bật, không kín nước do thiếu thành phần hạt mịn làm chất dính kết. Trong khi đó, vật liệu tại hình 1.12b lại có Gc và Sp quá cao, mặt đường sẽ trở nên trơn trượt, trồi lún, mấp mô, sống trâu, ổ gà, lún vệt bánh khi thời tiết ẩm, mưa và sẽ trở nên rất bụi khi thời tiết hanh khô, nắng to. Vật liệu minh họa tại hình 1.12c là vật liệu khắc phục được nhược điểm của 2 vật liệu trước đó, về bản chất vật liệu này là sự phối hợp của 2 vật liệu theo một tỷ lệ nhất định, nhờ đó, có đầy đủ cỡ hạt và có các đặc tính kỹ thuật đáp ứng được các yêu cầu quy định tại Bảng 1.7 và tối thiểu nằm trong phạm vi hình chữ nhật to quy định tại Hình 1.11.

Hình 1.12 d chính là mặt đường mỏ sử dụng vật liệu Hình 1.12c sau khi đã được lu lèn chặt bằng thiết bị lu chuyên dụng. Mặt đường đanh cứng đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, phòng tránh các hư hỏng đã nêu.



Hình 1.12. CPĐD-M tại mỏ Cao Sơn

1.4.3. Đánh giá hiện trạng chất lượng mặt đường theo các hư hỏng chức năng DS (Defect Score)

Lớp mặt đường trong mỏ, như trình bày ở trên, được tạo ra từ cấp phối cấp phối hỗn hợp đất đá. Với loại mặt đường này cho thấy có rất nhiều dạng hư hỏng như trình bày tại mục 1.4.1. Tuy nhiên, qua kinh nghiệm khai thác thực tế và để thuận tiện cho quá trình theo dõi, đánh giá sự làm việc của một đoạn đường mỏ nào đó theo thời gian, các loại hư hỏng thường được phân thành 11 loại như sau:

- Trơn trượt khi ướt
- Trượt khi khô
- Bụi
- Mặt đường rời rạc, bong bật vật liệu
- Trồi lún, lượn song, mấp mô
- Ổ gà
- Lún vệt bánh xe
- Mặt đường đá to
- Nứt dọc
- Nứt ngang
- Nứt da cá sấu.

11 hư hỏng này được đặc trưng thông qua 02 tiêu chí là: "***mức độ***" và "***quy mô***". Mỗi tiêu chí này lại được định lượng thông qua việc cho điểm với thang điểm từ 1 đến 5. Cách cho điểm được trình bày trong bảng 1.9 hoặc/và bằng trực quan như minh họa tại bảng 1.10.

Sử dụng cách phân loại và cho điểm từng loại hư hỏng xuất hiện trên mặt đường sẽ cho chất lượng mặt đường hiện hữu được lượng hóa thông qua thông số kỹ thuật DS (defect score) hay còn gọi là "Tổng điểm hư hỏng chức năng". Theo đó, nếu mặt đường có DS_{min} ***=11*** ("Tổng điểm hư hỏng chức năng tối thiểu"= 11 hư hỏng x 11 "mức độ" x 11 "quy mô") là ***mặt đường ở tình trạng rất tốt***. Ngược lại, nếu mặt đường có DS_{max} ***= 275*** ("Tổng điểm hư hỏng chức năng tối đa"= 11 hư hỏng x 5 "mức độ" x 5 "quy mô") là ***mặt đường hư hỏng nghiêm trọng***.

Như vậy, việc theo dõi, đánh giá chất lượng mặt đường theo thời gian hoàn toàn có thể thực hiện thông qua việc theo dõi sự biến đổi của thông số DS. Ngoài ra, giữa 02 giá trị DS_{min} (=11) và DS_{max} (=275), luôn tồn tại một giá trị $\mathbf{DS_{trung\ gian}}$ để nếu DS của mặt đường nào đó vượt qua ngưỡng $DS_{trung\ gian}$ thì cần

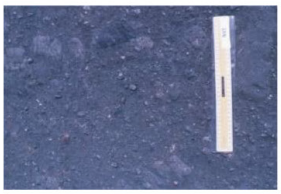
thiết phải thực hiện các hoạt động bảo trì nhằm duy trì chất lượng cho mặt đường mỏ. Ngưỡng $DS_{trung\ gian}$ này thông thường được lập riêng dựa trên kinh nghiệm hoạt động của mỗi mỏ. Kinh nghiệm thế giới cho thấy $\boldsymbol{DS_{trung\ gian} > 130}$.

Bảng 1.9. Đánh giá hư hỏng theo "mức độ" và " quy mô" và quy định cách cho điểm

Mô tả mức độ hoặc quy mô hư hỏng					
Điểm "quy mô"	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Quy mô	Sự xuất hiện cục bộ, ít hơn 5 % đường bị ảnh hưởng.	Xảy ra không liên tục, từ 5÷15 % đoạn đường bị ảnh hưởng.	Thường xuyên xảy ra, từ 16÷30 % đường bị ảnh hưởng.	Thường xuyên xảy ra, từ 31÷60 % đường bị ảnh hưởng.	Xảy ra diện rộng, hơn 60 % tuyến đường bị ảnh hưởng.
Điểm "mức độ"/hư hỏng	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Ổ gà	Bề mặt có dấu vết rỗ, các vết có đường kính < 50 mm.	Ổ gà đường kính 50÷100 mm.	Ổ gà có đường kính 100÷400 mm và Ảnh hưởng đến chất lượng lưu thông.	Ổ gà đường kính 400÷800 mm. Ảnh hưởng đến chất lượng lái xe và rõ ràng là tránh được bởi hầu hết các phương tiện.	Ổ gà có đường kính > 800 mm. Ảnh hưởng đến chất lượng lái xe và yêu cầu giảm tốc độ hoặc tránh hoàn toàn.
Lượn sóng	Độ gợn sóng nhẹ, khó cảm nhận Ở xe nhẹ.	Có gợn sóng và cảm nhận được ở xe hạng nhẹ	Lượn sóng rất rõ ràng và làm giảm chất lượng vận hành xe một cách rõ rệt.	Lượn sóng cảm nhận được trong xe tải mỏ và lái xe phải giảm tốc độ.	Lượn sóng cảm nhận rõ trong xe tải và khiến người lái xe phải giảm tốc độ đáng kể.
Lún vệt bánh xe	Khó phân biệt khi không có thước đo, < 20 mm.	Chỉ cần nhìn bằng mắt là có thể nhận biết được, 20÷50 mm.	Dễ dàng phân biệt được, 50÷80 mm.	Rõ ràng so với phương tiện đang di chuyển, > 80 mm.	Nghiêm trọng, ảnh hưởng đến sự ổn định hướng của xe
Bong bật vật liệu	Rất ít vật liệu rời trên đường, độ sâu < 5 mm.	Một lượng nhỏ vật liệu rời trên đường đến độ sâu 5÷10 mm.	Vật liệu rời có mặt trên đường đến độ sâu 10÷20 mm.	Vật liệu bong tróc đáng kể trên đường đến độ sâu 20÷40mm.	Vật liệu rời, độ sâu > 40 mm.

Mô tả mức độ hoặc quy mô hư hỏng					
Mặt đường đá dăm to	Một số viên đá nhô ra, nhưng hầu như không cảm thấy hoặc nghe thấy khi đi trong xe hạng nhẹ.	Đá nhô ra cảm thấy và nghe thấy trong xe nhẹ.	Đá nhô ra ảnh hưởng đến chất lượng lái của xe hạng nhẹ nhưng vẫn có thể chấp nhận được.	Đá nhô ra đôi khi cần phải có hành động né tránh của xe hạng nhẹ.	Đá nhô ra đòi hỏi phải có hành động né tránh của xe tải mỏ.

Bảng 1.10. Đánh giá hư hỏng theo "mức độ" và "quy mô" và quy định cách cho điểm bằng phương pháp quan sát trực quan

Hư hỏng	Mô tả trực quan		
	Cấp độ 1	**Cấp độ 2**	**Cấp độ 3**
Ổ gà			
Lượn sóng			
Lún vệt bánh xe			
Bong bật vật liệu			
Mặt đường đá dăm to			

Hư hỏng	Mô tả trực quan		
	Cấp độ 1	**Cấp độ 2**	**Cấp độ 3**
Bụi bẩn			
Nứt dọc			
Nứt trượt			
Nứt cá sấu			
Sức kháng trượt ướt			
Sức kháng trượt khô			

Ngoài giá trị $DS_{trung\ gian}$ thiết lập như trên, thực tế hoạt động cho thấy nếu một mặt đường nào đó có 1 trong 6 hư hỏng dưới đây đạt giá trị DS_{max} tương ứng, ký hiệu $\boldsymbol{DS^c_{max}}$ thì mặt đường đó cần thiết phải được thực hiện ngày hoạt động bảo trì do liên quan đến vấn đề hiệu quả vận chuyển và an toàn khi lái xe.

- Trơn trượt khi ướt, $DS^c_{max} = 9$

- Trượt khi khô, $DS^c_{max} = 9$
- Bụi, $DS^c_{max} = 4$
- Mặt đường rời rạc, bong bật vật liệu, $DS^c_{max} = 4$
- Trồi lún, lượn song, mấp mô, $DS^c_{max} = 4$
- Mặt đường đá to, $DS^c_{max} = 5$

Như vậy, để kích hoạt động bảo trì, mặt đường mỏ phải đáp ứng 1 trong 2 điều kiện sau:

1- DS ≥ [DS^c_{max}]

2- DS > 130:

- 60 ≤ DS ≤130: Nên thực hiện bảo trì ngay mặc dù chất lượng mặt đường vẫn cho phép xe lưu thông được
- 59 ≤ DS: Đường trong tình trạng tốt, không cần thực hiện bảo trì.

Sử dụng mẫu bảng điều tra (bảng 1.11) dưới đây để tính tổng số điểm hư hỏng của mặt đường theo chức năng DS trên cơ sở 11 loại hư hỏng. Lưu ý rằng trong phiếu mẫu điều tra cũng yêu cầu cung cấp thông tin về khả năng thoát nước cũng như xói mòn của mặt đường. Thông tin này cũng cần phải nêu rõ trong phiếu mẫu điều tra để phục vụ đánh giá chính xác chất lượng mặt đường mỏ.

Bảng 1.11. Chấm điểm, đánh giá chất lượng mặt đường theo chức năng

Ngày		Người đánh giá	
Đoạn tuyến		Tốc độ xe km/h	
Lý trình		Lưu lượng 10^3 t/ngày	

Các hư hỏng	Điểm chức năng				Điểm hư hỏng		
	Mức độ (1)	Quy mô (2)	DS (=1×2)	DS^c_{Max}	Mức độ (1÷5)	Quy mô (1÷5)	RDS
Ổ gà							
Gợn sóng				9			
Vệt lún bánh xe							
Vật liệu rời				4			
Lộ đá to mặt đường				5			
Bụi bẩn				4			
Vết nứt - dọc							
Vết nứt - trượt							
Nứt cá sấu							

Kháng trượt - ướt				9
Kháng trượt - khô				9
Tổng điểm chức năng (DS)				

Tổng điểm RDS	
Tham khảo biểu đồ để đọc phần trăm sức cản lăn	
Định lượng sức cản lăn (%)	

Phải tiến hành bảo trì • Bất kỳ khiếm khuyết chức năng quan trọng nào vượt quá giới hạn chấp nhận được (*) • DS > 130	Nên bảo trì, nhưng đường có thể lưu thông được khi có tổng điểm chức năng: 60 < DS < 130	Đường trong tình trạng tốt, không cần bảo trì ngay khi có tổng điểm chức năng: DS < 60

Nhận xét		
Thoát nước	Mặt đường	
	Mương dọc	
Xói mòn	Theo chiều dọc	
	Chữ thập	

1.4.4. Mô hình đánh giá hiện trạng chất lượng mặt đường theo các hư hỏng chức năng DS (Defect Score)

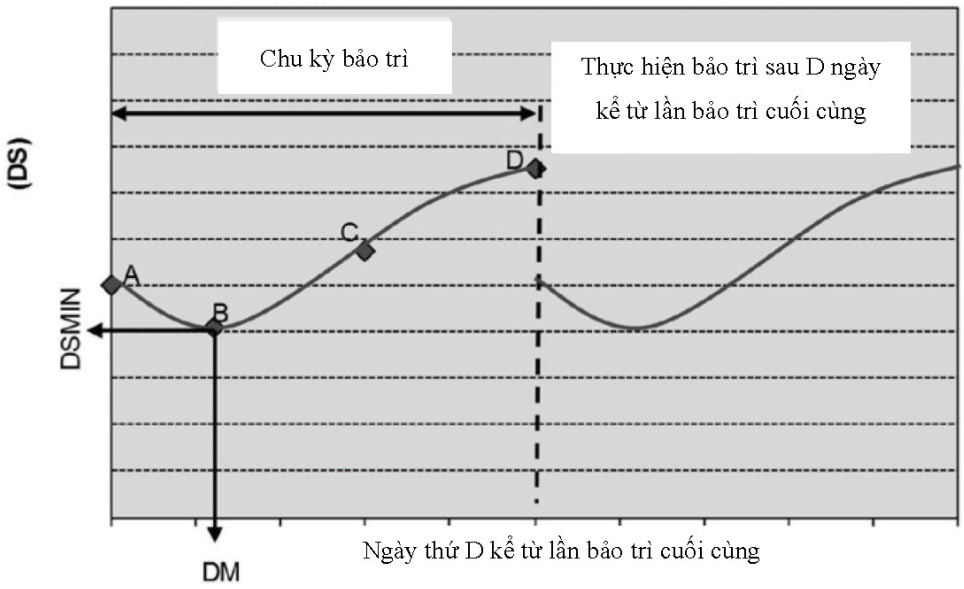
Chất lượng mặt đường đánh giá thông qua thông số DS nêu tại mục 1.4.3 chỉ cho chúng ta biết chất lượng mặt đường tại một thời điểm cụ thể. Muốn quan sát được sự biến đổi của chất lượng mặt đường theo thời gian cần thiết phải tiến hành đo đạc, xác định DS trong nhiều ngày. Điều đó dẫn đến không chỉ bất tiện trong quản lý chất lượng mặt đường mà còn không dự đoán cho chúng ta biết khi nào thì cần thiết thực hiện việc bảo trì để duy trì chất lượng mặt đường.

Khắc phục nhược điểm này, Roger J.Thomson đã đề xuất ***mô hình phỏng đoán chất lượng mặt đường*** theo các hư hỏng chức năng dựa trên *thông số vật liệu lớp mặt đường, lưu lượng xe và tần suất bảo trì* hay còn là **đường cong DS**. Hình 1.13 dưới đây minh họa mô hình này. Theo đó, đường cong mô phỏng của mô hình là sự kết hợp của 4 đoạn mô phỏng sự tương tác của các thông số: *lưu lượng xe, hoạt động bảo trì và tính chất vật liệu lớp mặt đường*, cụ thể như sau:

- Đoạn A-B: Ngay sau khi mặt đường được bảo trì, các hư hỏng liên quan đến vật liệu rời rạc, bong bật và bụi bẩn do xe lưu thông gây ra sẽ giảm xuống dẫn đến tổng điểm DS của mặt đường giảm theo.
- Đoạn B-C: Đường cong DS sẽ có điểm cực trị tại điểm B khi giá trị DS biến đổi từ giảm sang tăng.
- Đoạn C-D: Dưới tác dụng của tải trọng xe chạy ngày càng tăng kết

hợp với sự mài mòn của lốp xe khiến cho giá trị DS ngày càng tăng cho đến khi tốc độ xe chậm lại và vệt bánh xe đổi sang vị trí khác để tránh những chỗ hư hỏng.

- Đoạn D trở đi: DS gần như không đổi nếu không thực hiện bảo trì.



Hình 1.13. Biểu đồ minh họa sự thay đổi chất lượng mặt đường thông qua diễn tiến phát triển của Tổng điểm chức năng DS

Chu kỳ bảo trì bắt đầu từ điểm A và điểm kết thúc nằm ở giữa điểm C và điểm D. Thời gian của chu kỳ dài hay ngắn phụ thuộc vào loại vật liệu làm lớp mặt (CBR, Gc, Sp, PI,…) và lưu lượng xe vận chuyển, thông thường nằm trong khoảng từ [3-21] ngày.

Công thức giải tích cho đường cong DS mô phỏng sự biến đổi DS từ điểm A cho đến điểm D như sau, tính theo công thức (1.5)

$$\begin{aligned} LDDD &= 1.261 + DM(0.000121\ CBR\ KT - 0.0295\ GC + 0.00982\ SP\ DR) \\ LDDI &= 1.793 + D(0.00228\ KT + GC(0.0103\ DR - 0.01089)) \\ DSMAX &= 35.025 + 26.783\ M - 0.567\ KT + 1.651\ GC \\ &\quad + 0.446\ SP - 10.939\ PI \end{aligned} \qquad (1.1)$$

$$DSMIN = 37.915 - 0.158\ KT + 12.709\ M + 1.384\ GC - 0.0875\ SP$$

Trong đó:

- D: Ngày thứ D kể từ lần bảo trì cuối cùng
- LDDD: Tốc độ giảm hư hỏng ngay sau khi mặt đường được bảo trì
- LDDI: Tốc độ tăng hư hỏng
- DSMIN: Hư hỏng tối thiểu trong chu trình bảo trì
- DSMAX: Hư hỏng tối đa trong chu trình bảo trì
- DM: Ngày trong chu trình bảo trì mà có điểm hư hỏng DS tối thiểu.
- KT: Tấn vận chuyển trung bình hàng ngày (nghìn tấn)
- M: loại vật liệu lớp mặt
    - Vật liệu có cốt thép: M= 0
    - Hỗn hợp vật liệu rời: M= 1
- PI: chỉ số dẻo
- DR: Tỉ lệ bụi
- CBR: sức chịu tải của vật liệu lớp mặt ở độ chặt 100% của cối Proctor cải tiến
- Gc: Hệ số cấp phối
- SP: Tích co ngót
- PL: giới hạn dẻo

1.4.5. Kết quả đánh giá hiện trạng các hư hỏng chức năng mặt đường khu vực cải tạo

1.4.5.1. Tổng điểm chức năng DS

Thực hiện ý kiến chỉ đạo của Tổng giám đốc Tập đoàn tại Công điện ngày 03/7/2018 Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin đã phối hợp cùng Công ty TNHH INFRASOL và các công ty than Đèo Nai, Cao Sơn, Cọc Sáu đã tiến hành khảo sát, thu thập số liệu, phân tích mẫu vật liệu tại các tuyến đường trong mỏ. Để có cơ sở lập Phương án đơn vị tư vấn là Liên danh Công ty Tư vấn Công trình Châu Á Thái Bình Dương (APECO) và Viện khoa học công nghệ mỏ - Vinacomin (IMSAT) khảo sát hiện trạng mặt đường và vật liệu tại mỏ than Cao Sơn. Trước khi thi công phương án, nhóm thực hiện đã tổ chức khảo sát, đánh giá hiện trạng các hư hỏng chức năng mặt đường khu vực cải tạo. Các kết quả khảo sát cho thấy khi trời tạnh ráo điểm hư hỏng chức năng ***DS = 81÷126*** (chi tiết xem phần Phụ lục). Với mức độ hư hỏng này theo khuyến nghị của J. Thompson các đoạn đường vẫn có thể sử dụng nhưng cần thiết phải bảo trì, đặc biệt là sau những trận mưa.

1.4.5.2. Mô phỏng chất lượng mặt đường hiện trạng thông qua tổng điểm chức năng DS.

Áp dụng lý thuyết mô phỏng chất lượng mặt đường theo tổng điểm DS theo công thức (1.1) và Hình 1.13 vào thực tế đường mỏ Cao sơn. Theo đó, Bảng 1.12 trình bày các thông số cần thiết để tính toán tổng điểm DS tại mỗi một thời điểm nhất định cho tất cả các đoạn đường thử nghiệm: AA1; AA2, AB, BB1, BB2 và B2Cvà Bảng 1.13 trình bày kết quả tính toán tổng điểm DS theo thời gian của từng đoạn đường thử nghiệm nói trên. Hình 1.14 là kết quả mô phỏng diễn tiến sự thay đổi về mặt chất lượng của các đoạn đường thử nghiệm theo thời gian và theo tổng điểm DS.

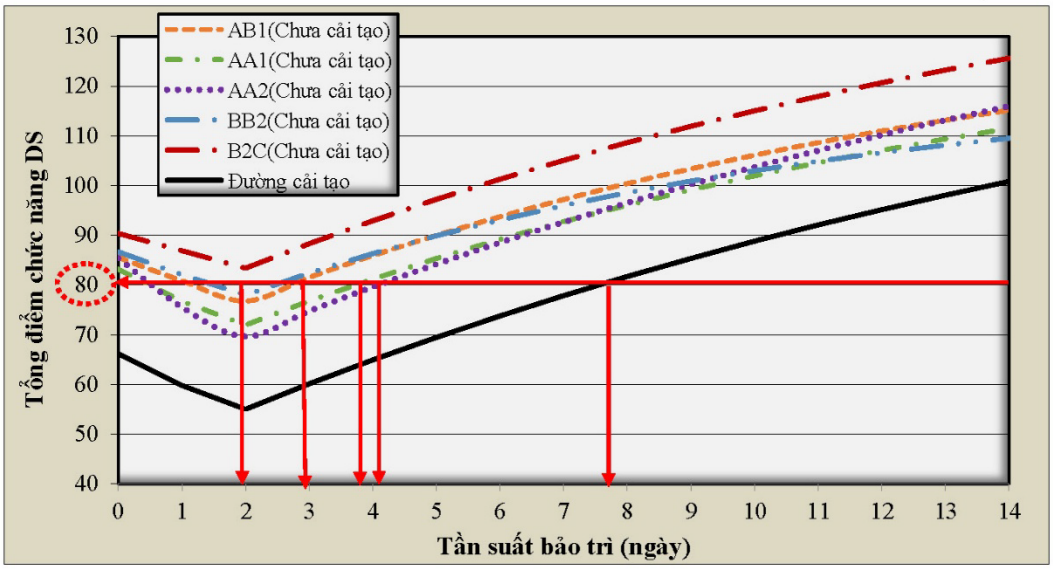
Bảng 1.12. Thông số tính toán tổng điểm chức năng DS theo thời gian

Thông số / Đoạn đường	AA1	AA2	AB1	BB2	B2C	Đường cải tạo
Tích co ngót - SP	140	170	160	180	150	110
Hệ số cấp phối- GC	40	40	42	43	45	25
Sức chịu tải CBR (%)	50	80	25	25	21	100
Loại vật liệu (hỗn hợp =1)	0	0	0	0	0	0
Tỉ lệ Bụi-DR	0.65	0.65	0.7	0.7	0.8	0.4
Tải lượng vận chuyển trung bình ngày (chục nghìn tấn/ngày)	41.0	50.0	33.5	23.5	23.5	50.0

Bảng 1.13. Kết quả tổng điểm DS theo thời gian

Đoạn đường	Tổng điểm chức năng DS														
	Ngày thứ														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
AA1(Chưa cải tạo)	81	76	72	77	**81**	85	89	93	96	99	102	105	107	109	111
AA2(Chưa cải tạo)	83	76	71	76	**80**	85	89	93	97	101	105	108	111	114	117
AB1(Chưa cải tạo)	83	80	77	**81**	86	90	94	97	100	103	106	108	111	113	115
BB2(Chưa cải tạo)	85	82	78	**82**	86	90	93	96	99	101	103	105	107	108	109
B2C(Chưa cải tạo)	90	87	**83**	88	93	97	101	105	109	112	115	118	121	123	126
Đường cải tạo	66	60	55	60	65	69	74	78	**82**	85	89	92	95	98	101

Kết quả tổng điểm chức năng DS đánh giá chất lượng mặt đường được trình bay trong biểu đồ dưới đây (Hình 1.14)



Hình 1.14. Đánh giá chất lượng mặt đường thông qua sự phát triển tổng điểm chức năng theo DS theo thời gian

Nhận xét:

- Tất cả các đoạn đường (tạm thời, bán cố định và cố định) đều có giá trị tổng điểm chức năng **DS nhỏ nhất** ở thời điểm **02 ngày** kể từ lần bảo cuối cùng.

- Nếu lấy giá trị **DS = 80** là **giá trị tới hạn** mà nếu DS vượt qua nó thì cần **kích hoạt các biện pháp bảo trì** mặt đường để đưa mặt đường về mức chất lượng chấp nhận được thì:

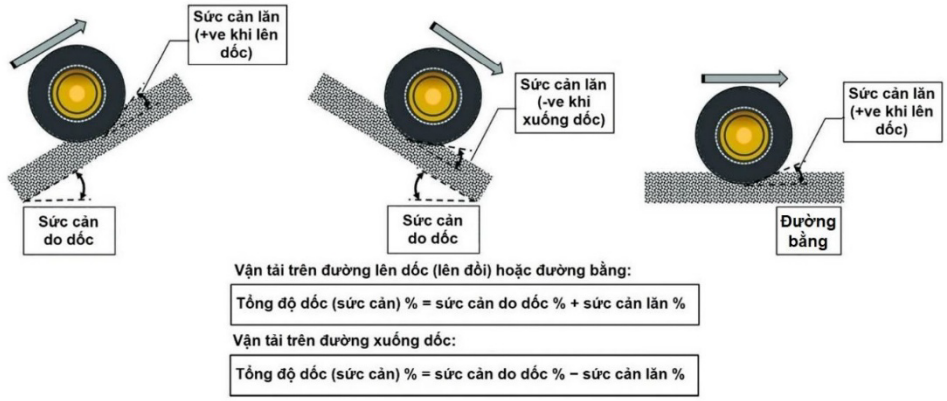
- Đối với đoạn đường tạm thời B2C: Tần suất bảo trì là khoảng 02 ngày.
- Đối với đoạn đường bán cố định AB1 và BB2: Tần suất bảo trì là khoảng [2,5 -3] ngày.
- Đối với đoạn đường cố định AA1 và AA2: Tần suất bảo trì là khoảng [3,5-4] ngày.
- Đối với đường cải tạo (Áp dụng biện pháp cải tạo bố trí lớp CPDD-M lên trên mặt đường các đoạn thử nghiệm): Tần suất bảo trì là khoảng [7,5-8] ngày.

Như vậy, nếu áp dụng CPDD-M lên trên các mặt đường thử nghiệm thì ta có thể kéo dài được chu trình bảo trì nghĩa là số lần thực hiện công tác bảo trì sẽ ít hơn. Nhờ đó tiết kiệm được chi phí bảo trì.

1.5. ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG MẶT ĐƯỜNG TRƯỚC KHI CẢI TẠO THEO SỨC CẢN LĂN RDS (ROUGNESS DEFECT SCORE)

1.5.1. Khái niệm sức cản lăn (Rolling Resistance)

Về bản chất, sức cản lăn là lực cân bằng với công suất của xe cần thiết để duy trì xe chạy với vận tốc xác định trên mặt đường có độ dốc đã cho (hình 1.15). Sức cản lăn không chỉ phụ thuộc vào tải trọng gộp GWV, các chỉ tiêu kỹ thuật về hệ thống động cơ, phanh hãm của xe mà còn phụ vào tình trạng lốp xe (áp lực hơi, tải trọng lốp, đường kính lốp, loại lốp,…) và chất lượng mặt đường.



Hình 1.15. Minh họa về sức kháng lăn

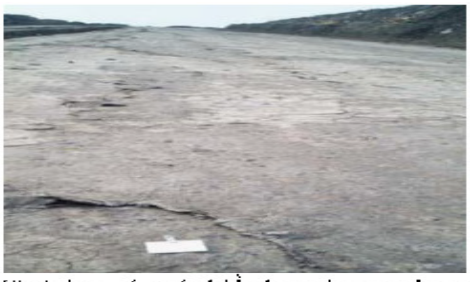
Trong đó, chất lượng mặt đường là yếu tố có ảnh hưởng rất lớn đến giá trị sức kháng lăn. Mặt đường sụt lún, sình lầy, ổ gà, không bằng phẳng, bong bật vật liệu, không được đầm chặt, ghồ ghề là những nguyên nhân làm tăng sức cản lăn, ảnh hưởng nghiêm trọng đến quá trình di chuyển của xe. Hình 1.16 minh họa một số hư hỏng mặt đường thường gặp trong hệ thống đường trong mỏ.



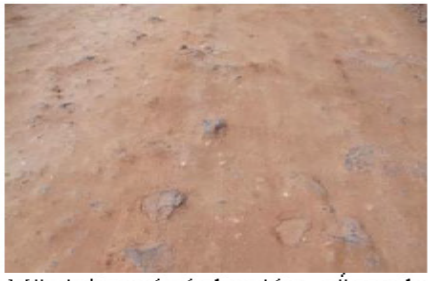
Mặt đường sình lầy



Mặt đường ghồ ghề, không bằng phẳng



Mặt đường có quá nhiều hạt mịn tạo nên một lớp vật liệu mềm, mùn dễ gây trơn trượt khi có nước



Mặt đường có các hạt đá to, sắc cạnh, khó đầm chặt, dễ tạo ổ gà và cắt làm hỏng, mài mòn lốp xe



Mặt đường sụt lún ảnh hưởng đến tốc độ khai thác và chi phí khấu hao xe



Mặt đường quá nhiều bụi hạn chế tốc độ di chuyển của xe

Hình 1.16. Chất lượng mặt đường kém là nguyên nhân tăng sức cản lăn, làm giảm nghiêm trọng hiệu quả vận chuyển của xe

1.5.2. Đánh giá định tính sức cản lăn (RR) của mặt đường

Việc đánh giá định tính sức cản lăn RR của mặt đường được thực hiện bằng mắt, quan sát trực tiếp các hư hỏng chức năng như đã liệt kê tại mục 1.4.3 và Bảng 1.10, sau đó đánh giá các hư hỏng này theo 02 tiêu chí "Mức độ" và "quy mô". Tuy nhiên, khác với đánh giá hiện trạng mặt đường nêu tại mục 1.4.3 cần đánh giá 11 loại hư hỏng thì để đánh giá sức cản lăn RR chỉ cần đánh giá 05 loại hư hỏng sau đây:

- Mặt đường rời rạc, bong bật vật liệu
- Trồi lún, lượn song, mấp mô
- Ổ gà
- Lún vệt bánh xe
- Mặt đường đá to

Với việc đánh giá theo 02 tiêu chí "Mức độ" và "Quy mô" của 05 hư hỏng này chúng ta sẽ xác định được ***Tổng điểm hư hỏng độ nhám RDS*** (Roughness Defect Score). Gọi tắt là tổng điểm nhám RDS (có điểm nhỏ nhất là 5 và điểm lớn nhất là 125).

Sau khi xác định được RDS thông qua việc đánh giá 05 hư hỏng nêu trên thì cần thiết phải chuyển đổi chỉ số này sang giá trị sức cản lăn RR (đơn vị là %) bằng cách sử dụng các phương trình dưới đây:

$$RRMIN = \exp^{(-1.8166 + 0.0028\ V)} \quad (1.2)$$

$$RRI = -6.068 - 0.00385 RDS + 0.0061\ V \quad (1.3)$$

$$RR = 10\left(RRMIN + RDS\ \exp^{(RRI)}\right) \quad (1.4)$$

Trong đó:

- RRMIN: Sức cản lăn tối thiểu khi RDS =5
- V: tốc độ của xe vận chuyển
- RRI: tốc độ thay đổi của sức cản lăn

1.5.3. Đánh giá định lượng sức cản lăn RR của mặt đường

Theo hãng Caterpillar Sức cản lăn với các xe tải mỏ có thể được xác định theo công thức (1.5) [1]:

$$RR = 2\ \% + 0{,}6m\ \% \quad (1.5)$$

Với: m- chiều sâu lún của lốp xe vào trong mặt đường, cm

Hoặc có thể lấy giá trị gần đúng theo bảng 1.14.

Bảng 1.14. Sức cản lăn với các loại mặt đường

Loại mặt đường	Sức cản lăn theo loại lốp, %	
	Bias	Radial
Mặt đường rất cứng, nhẵn, bê tông, láng nhựa hoặc mặt đường đất, không bị thấm nước hoặc lượn sóng...	1,5%	1,2%
Mặt đường cứng, mịn, ổn định và không bị lún do tải trọng, được tưới nước, bảo dưỡng...	2,0%	1,7%
Đường chắc chắn, nhẵn, có bùn đất hoặc vật liệu rơi vãi nhẹ, hằn lún hoặc lượn sóng nhẹ khi chịu tải trọng, được san rải khá đều đặn, được tưới nước...	3,0%	2,5%
Đường đất, hằn lún hoặc lượn sóng do tải, ít bảo trì, không nước, vệt lún bánh xe hoặc lượn sóng 25 mm (1")...	4,0%	4,0%
Đường đất, hằn lún hoặc lượn sóng do tải, ít bảo trì, không nước, vệt lún bánh xe hoặc lượn sóng 50 mm (2")	5,0%	5,0%

Tuy nhiên, về bản chất, sức cản lăn không phải là thông số bất biến mà trái lại, thay đổi theo thời gian, theo sự thay đổi các thông số kỹ thuật của vật liệu làm lớp mặt và theo lưu lượng, tải trọng của xe vận chuyển. Mỗi giá trị sức cản lăn, ví dụ RR = 3% chỉ biểu thị chất lượng mặt đường liên quan đến việc lưu

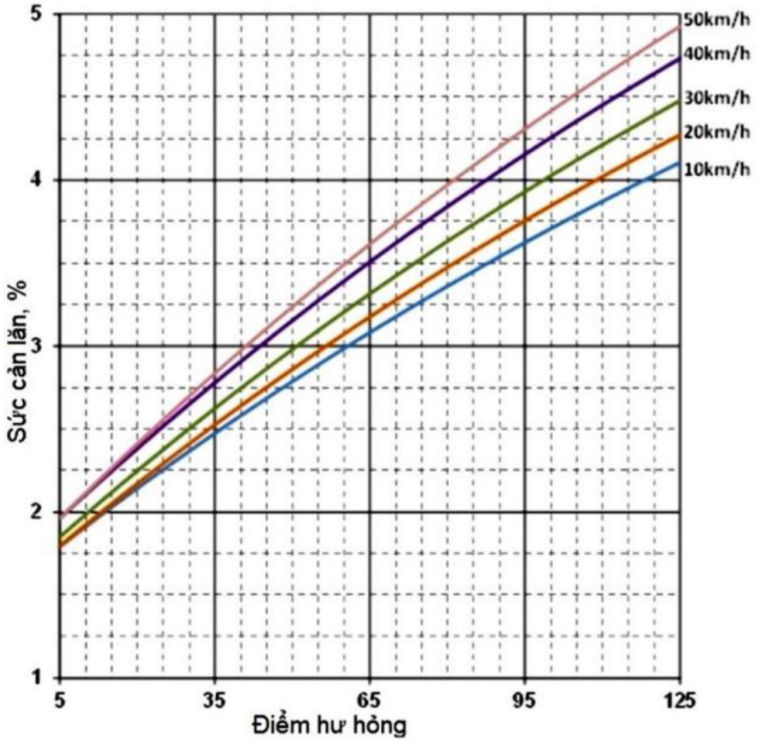
thông của xe vận chuyển tại một thời điểm hay một khoảng thời gian nhất định. Sau thời điểm hay khoảng thời gian đó, sức cản lăn sẽ biến đổi tùy theo sự biến đổi của 05 hư hỏng đã nêu trên (mục 1.5.2) được định lượng thông qua RDS. Sự biến đổi của RDS, theo [2] sẽ biến đổi từ RDSMIN (ứng với thời điểm D kể từ lần bảo trì cuối cùng) tới RDSMAX (thời điểm bắt đầu chu kỳ bảo trì mới) thông qua tốc độ biến đổi của RDS là RDSI. Công thức tính giá RDS như sau:

$$RDS = RDSMIN + \left[\frac{RDSMAX - RDSMIN}{1+\exp^{(RDSI)}}\right] \quad (1.6)$$

Trong đó: RDSMAX, RDSMIN và RDSI được tính theo các thông số kỹ thuật của vật liệu làm lớp mặt, trình bày trong công thức (1.7):

$$RDSMIN = 31.1919\ \ 0.05354.SP - 0.0152\ CBR \quad (1.7)$$
$$RDSMAX = 7.6415 + 0.4214\,KT + 0.3133\ GC + 0.4952\,RDSMIN$$
$$RDSI = 1.768 + 0.001\ D(2.69\ KT - 72\ 71\ PI - 2.59\ CBR$$
$$- 9.35\ GC + 1.67\ SP)$$

Kết hợp các công thức (1.6) với các công thức (1.3), (1.4) và (1.5) ở trên ta có thể dự đoán và xác định được sức cản lăn RR chuyển đổi từ RDS (Hình 1.17)



Hình 1.17. Biểu đồ xác định sức cản lăn của Thompson từ RDS [2]

1.5.4. Kết quả đánh giá chất lượng mặt đường khu vực cải tạo theo sức cản lăn RR tại thời điểm trước khi cải tạo.

Bảng 1.15 trình bày các thông số để tính toán sức cản lăn RR theo ngày. Giả sử xem xét sự phát triển của sức cản lăn RR trong 01 tháng (30 ngày).

Bảng 1.15. Thông số tính toán sức cản lăn RR theo thời gian

Thông số / Đoạn đường	AA1	AA2	AB1	BB2	B2C	Đường cải tạo
Chiều dài (m)	417	275	555	341	711	2299
Chiều rộng (m)	20	22	18	17	17	19
Độ dốc dọc (%)	6.0%	0.0%	4.0%	6.0%	8.0%	5.0%
Tốc độ dự kiến (km/h)	27	21.5	26.2	23.8	22.1	24.1
Tải lượng vận chuyển trung bình ngày (nghìn tấn/ngày)	410	500	335	235	235	500
Shrinkage product	170	180	160	180	150	110
Grading coefficent	40	40	42	43	45	25
Chỉ số dẻo PI	12	15	11	9	13	0
Sức chịu tải CBR (100% Mod)	80	90	70	60	50	100

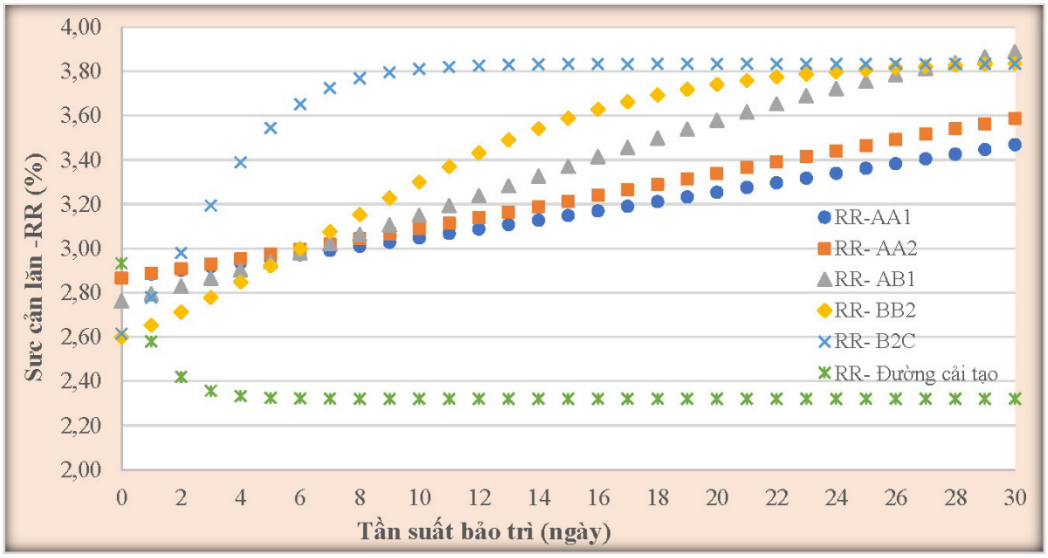
Áp dụng công thức từ (1.3) đến (1.7), ta tính được sức cản lăn RR theo thời gian cho tất cả các đoạn đường thử nghiệm như trình bày tại Bảng 1.15 ở trên. Lưu ý, đường cải tạo là đoạn đường giả tưởng có chiều dài bằng tổng chiều dài các đoạn thử nghiệm; có tốc độ dự kiến là tốc độ trung bình trên tất cả các đoạn đường thử nghiệm; chịu tải trọng vận chuyển 500.000 tấn/ngày và được áp dụng lớp CPDD-M ở phía trên mặt.

Bảng 1.16. Kết quả tính toán sức cản lăn RR theo thời gian của các đoạn đường

Đoạn/Ngày	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RR-AA1	2.83	2.86	2.89	2.92	2.95	2.99	3.02	3.05	3.09	3.13	3.16	3.20	3.23	3.27	3.31	3.35
RR- AA2	2.86	2.88	2.91	2.93	2.96	2.99	3.02	3.05	3.07	3.10	3.13	3.16	3.19	3.22	3.26	3.29
RR- AB1	2.75	2.83	2.92	3.01	3.11	3.21	3.31	3.41	3.51	3.60	3.69	3.76	3.83	3.88	3.93	3.97
RR- BB2	2.59	2.67	2.77	2.87	2.98	3.10	3.21	3.32	3.42	3.50	3.58	3.64	3.68	3.72	3.75	3.78
RR- B2C	2.61	2.80	3.03	3.28	3.48	3.62	3.71	3.77	3.80	3.81	3.82	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
RR-cải tạo	2.93	2.58	2.42	2.36	2.33	2.33	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32

Đoạn/Ngày	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
RR-AA1	3.35	3.38	3.42	3.46	3.49	3.53	3.57	3.60	3.64	3.67	3.70	3.73	3.76	3.79	3.82	3.85
RR- AA2	3.29	3.32	3.35	3.38	3.41	3.44	3.47	3.50	3.53	3.56	3.59	3.62	3.65	3.67	3.70	3.73
RR- AB1	3.97	4.01	4.04	4.06	4.08	4.09	4.11	4.12	4.13	4.13	4.14	4.14	4.15	4.15	4.15	4.15
RR- BB2	3.78	3.79	3.81	3.82	3.83	3.83	3.84	3.84	3.84	3.84	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85
RR- B2C	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
RR-cải tạo	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32

Kết quả sức cản lăn RR theo thời gian còn được trình dưới dạng biểu đồ như Hình 1.18 dưới đây:



Hình 1.18. Sự thay đổi của sức cản lăn (RR) theo thời gian

Nhận xét:

- Giá trị sức cản lăn RR ở ngày đầu tiên khi vừa thực hiện bảo trì nằm trong khoảng [2,6- 2,93] %. Sau một tháng khai thác, sức cản lăn tăng lên, dao động trong khoảng [3,47-3,89] %.

- Đối với đường cố định: AA1 và AA2, sức cản lăn tăng đều và từ từ cho đến tận ngày thứ 30. Tuy tăng đều và liên tục nhưng giá trị sức cản lăn của đoạn cố định đều nhỏ hơn hoặc bằng sức cản lăn của đường bán cố định và đường tạm thời tại thời điểm ngày thứ 30 kể từ lần bảo trì cuối cùng ($\leq 3,6\%$)

- Đối với đoạn đường bán cố định: AB1 và BB2 cho thấy sức cản lăn tăng nhanh ở những ngày đầu và bắt đầu không tăng, đi ngang tại thời điểm ngày thứ 24 (đoạn BB2) và 28 (đoạn AB1). Điều này có thể giải thích là do vật liệu làm các đoạn đường này chưa ổn định, đầm nén khi thi công chưa đảm bảo độ chặt, đầm nén thứ cấp (do xe chạy) còn đang tiếp tục. Khi chất lượng vật liệu đã ổn định và sau nhiều chu kỳ đầm nén thứ cấp, vật liệu trở nên chặt hơn và do đó đường cong biểu đồ đi ngang. Giá trị sức cản lăn của đoạn bán cố định lần lượt là 3,83% đối với đoạn BB2 và 3,89% đối với đoạn AB ở thời điểm 30 ngày.

- Đối với đường tạm thời: Tốc độ tăng sức cản lăn của loại đường này là nhanh nhất ở giai đoạn đầu sau bảo trì. Đó là do vật liệu chưa được đầm nén đầy đủ, khi đã có đủ độ chặt thì mặt đường nhanh chóng đi vào ổn định, không tiếp tục tăng sức cản lăn. Giá trị sức cản lăn này ở thời điểm 30 ngày $\leq 3,83\%$.

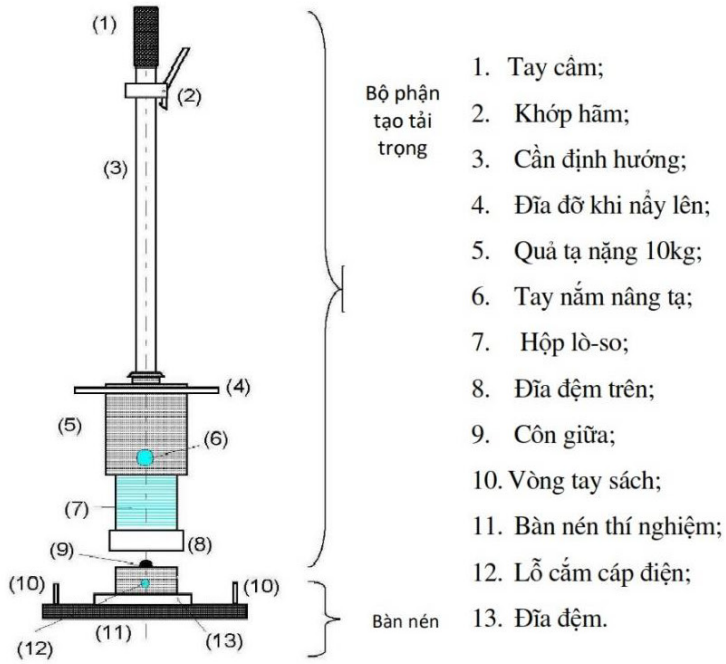
- Giá trị sức cản lăn của các đoạn đường thử nghiệm dao động xung quanh giá trị 4%, gấp đôi giá trị sức cản lăn của mặt đường tiêu chuẩn 2%, ảnh hưởng lớn đến chi phí vận tải cũng như chi phí khai thác vận hành mỏ. Do vậy, để cải thiện và nâng cao hiệu quả vận chuyển, cần thực hiện các biện pháp để đưa sức cản lăn của mặt đường về gần giá trị 2%.

- Sử dụng CPDD-M để bảo trì mặt đường được coi như là một giải pháp. Quan sát hình 1.18 chúng ta thấy, mặt đường được phủ CPDD-M có sức cản lăn giảm dần theo thời gian, từ 2,93% về 2,32%. Như vậy, dùng CPDD-M là một biện pháp làm giảm sức cản lăn là khả thi và hiệu quả..

1.6. ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG TRƯỚC KHI CẢI TẠO BẰNG THIẾT BỊ ĐO MÔ ĐUN ĐÀN HỒI LWD VÀ THIẾT BỊ DCP

1.6.1. Phương pháp đo mô đun đàn hồi bằng thiết bị đo động LWD

Phương pháp thí nghiệm đo mô đun đàn hồi bằng thiết bị LWD (hình 1.19) thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM E2583-07 (2015*) Standard Test Method for Measuring Deflections with a Light Weight Deflectometer (LWD)*. Thiết bị áp dụng nguyên tắc của xuyên động, bàn nén tĩnh và lý thuyết truyền sóng. Dưới tác dụng của một nhát đập, chuyển vị và vận tốc dịch chuyển của bàn nén thay đối với thời gian được tự động đo và ghi chép bằng các đầu đo và thiết bị điện tử



Hình 1.19. Thiết bị đo động LWD

Đặc điểm của thiết bị LWD: trọng lượng tạ là 10 kg; tổng trọng lượng thiết bị là 15 kg; lực lớn nhất có thể tạo được 20 kN; độ võng lớn nhất đo được 2,5 mm; độ chính xác 0,1 μm; lực tối thiểu khi đo 700N (nếu lực ko đủ lớn tạo ra chuyển vị bàn nén thì máy sẽ không tính toán kết quả, hoặc ko chính xác). đường kính bàn nén d = 300 mm, dày 20 mm, được lắp đặt sensor tích hợp gia tốc.

Bố trí điểm đo: Theo điều kiện hiện trạng, mặt cắt ngang dọc theo tuyến. Các điểm đo LWD trên 2 làn theo hướng trái tuyến và phải tuyến, đo tại giữa mỗi làn.

Trình tự đo:

Bước 1: Xác định vị trí cần đo.

Bước 2: Tạo phẳng bề mặt lớp cần đo mô-đun đàn hồi.

Bước 3: Lắp đặt, cài đặt các thông số chính cho thiết bị LWD, sau đó tiến hành thí nghiệm trước để kiểm tra máy. Sau khi kiểm tra máy hoạt động tốt, thì tiến hành đo thực tế.

Bước 4: Đo thực tế, tiến hành nâng tải lên và thả tải xuống sao cho bàn nén võng xuống, thông qua giá trị độ võng đo được, thiết bị sẽ tính toán ra giá trị mô đun đàn hồi.

Tính toán kết quả

Mô đun đàn hồi được tính toán theo công thức dưới đây:

$$E = \frac{\pi(1-\nu^2)}{4} B \frac{p}{S} \qquad (1.8)$$

$$K = \frac{4.E}{\pi.(1-\nu^2)B} \qquad (1.9)$$

Trong đó:

K: Hệ số quy đổi.

p: Áp lực nén quy ước (Mpa);

B: Bán kính của bàn nén (m);

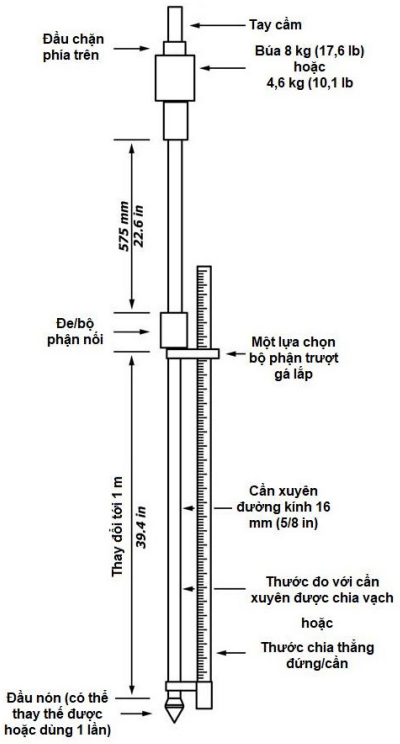
S: Chuyển vị bàn nén (mm);

E: Mô đun biến dạng đàn hồi tĩnh (Mpa);

υ : Hệ số Poisson

1.6.2. Phương pháp đo CBR bằng thiết bị chùy xuyên động DCP

Phương pháp thí nghiệm đo CBR bằng thiết bị chùy xuyên động DCP (hình 1.20) được thực hiện theo Tiêu chuẩn ASTM D6951/D6951M (2015) Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications. Phương pháp thí nghiệm này được sử dụng để đánh giá cường độ tại chỗ của đất nguyên thổ và vật liệu nén chặt (hoặc cả hai). Mức độ lún của đầu nón với búa 8 kg có thể quy đổi ra chỉ số CBR (Tỷ lệ chịu lực California) tại chỗ, để xác định độ dày của địa tầng, độ bền cắt của địa tầng và các đặc điểm vật liệu khác.



Hình 1.20. Thiết bị đo xuyên động DCP

Bố trí điểm đo: Theo điều kiện hiện trạng, mặt cắt ngang, dọc theo tuyến. Các điểm đo DCP thực hiện trên các điểm nằm trái tuyến, giữa và phải tuyến.

Trình tự đo võng

Bước 1: Xác định vị trí cần đo.

Bước 2: Lắp đặt, cài đặt các thông số chính cho thiết bị DCP, sau đó tiến hành thí nghiệm trước để kiểm tra máy. Sau khi kiểm tra máy hoạt động tốt, thì tiến hành đo thực tế.

Bước 3: Đo thực tế, tiến hành nâng búa lên và thả búa xuống sao cho đầu xuyên nhọn xuyên vào các lớp vật liệu mặt đường.

Tính toán

Sức chịu tải của mặt đường CBR được tính toán thông qua chỉ số DCP bằng mối tương quan trình bày tại công thức 1. Chỉ số DCP được xác định thông qua độ xuyên sâu của mũi xuyên sau một lần búa rơi, đơn vị là mm/búa.

$$CBR = 292/DCP^{1.12}. \quad (1.10)$$

Trong đó:

CBR: Sức chịu tải của mặt đường (%);

DCP: độ lún 1 lần thả búa, mm hay còn gọi là chỉ số DCP (mm/búa).

1.6.3. Kết quả thí nhiệm

1.6.3.1. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi đo bằng thiết bị LWD

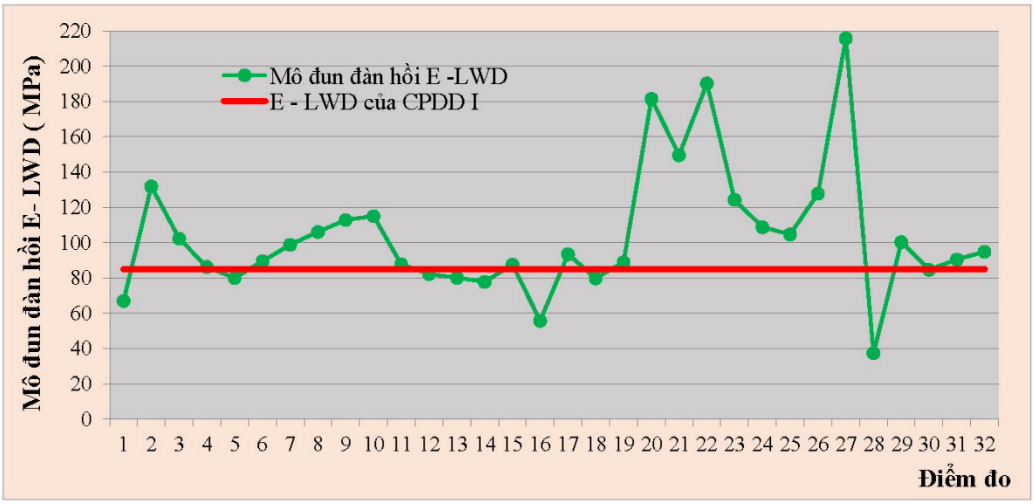
Theo Báo cáo kết quả khảo sát hiện trạng nền mặt đường và vật liệu tại mỏ than Cao Sơn và Báo cáo kết quả khảo sát bổ sung - Phương án cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn. Mô đun đàn hồi mặt đường mỏ đo bằng thiết bị LWD tại các đoạn tuyến cải tạo có kết quả E = 37,5÷216 MPa, phần lớn các điểm đo có giá trị E = 70÷90 MPa. Kết quả các điểm đo được trình bày trong bảng 1.17 và hình 1.21, chi tiết xem phần Phụ lục.

Trị số mô đun đàn hồi trên toàn bộ mặt đường thử nghiệm được mã hóa bởi số thứ tự từ 1 đến 32 (32 điểm đo mô đun đàn hồi bằng thiết bị LWD). Tương ứng từ điểm 1 đến 10 là đoạn AA1

Bảng 1.17. Kết quả khảo sát mặt đường mỏ bằng thí nghiệm LWD

TT	Điểm đo	Tuyến	Tọa độ		E, MPa
			X	Y	
1	1	C-B	2.328.157,13	452.926,93	67
2	2		2.328.142,87	452.927,77	132
3	3		2.328.136,79	453.023,98	102
4	4		2.328.149,15	453.029,24	86,4
5	5		2.328.078,98	453.135,34	80,1
6	6		2.328.069,40	453.127,30	89,5
7	7		2.328.030,41	453.188,45	98,9
8	8		2.328.043,00	453.196,78	106,3
9	9		2.328.004,20	453.283,28	112,9
10	10		2.327.996,45	453.284,83	115,1
11	11		2.327.989,29	453.289,10	87,8
12	12	B-A	2.327.930,74	453.232,68	82,3
13	13		2.327.945,30	453.227,10	80,2
14	14		2.327.970,70	453.049,77	77,8

TT	Điểm đo	Tuyến	Tọa độ		E, MPa
			X	Y	
15	15		2.327.956,76	453.046,36	87,6
16	16		2.328.250,57	453.689,40	55,7
17	17		2.328.235,95	453.694,38	93,5
18	18		2.328.076,44	453.396,17	79,9
19	19		2.328.068,60	453.408,52	89
20	20	A-A1	2.328.204,58	453.534,84	181,5
21	21		2.328.177,83	453.539,25	149,7
22	22		2.328.171,54	453.781,16	190,3
23	23		2.328.185,38	453.786,51	124,4
24	24		2.328.142,65	453.922,41	108,8
25	25		2.328.130,03	453.915,11	104,8
26	26		2.328.028,45	454.077,51	127,9
27	27		2.328.039,71	454.086,41	215,9
28	28		2.327.966,01	454.204,41	37,5
29	29		2.327.953,11	454.198,25	100,4
30	30		2.327.874,98	454.324,62	84,7
31	31		2.327.871,41	454.318,66	90,6
32	32		2.327.868,04	454.312,10	95



Hình 1.21. Kết quả đo mô đun đàn hồi E bằng thiết bị LWD trên các đoạn tuyến thử nghiệm tại Mỏ than Cao Sơn.

Trong hình trên, đường màu đỏ là mô đun đàn hồi đo bằng thiết bị LWD của cấp phối đá dăm loại 1(CPĐD1) theo TCVN 8858:2012, có giá trị là E-LWD – CPDD1= 85 MPa. Đối chiếu với đường màu đỏ, các nhận xét sau được rút ra như sau:

- Đối với đường tạm thời L1 = 1.3 km:

+ Trong đoạn từ Km 0+.00 - Km 0+ 500 m, có 02 điểm số 1 và số 5 tương ứng với lý trình km 0+0.0 và km 0+250, có trị số mô đun đàn hồi E-LWD nhỏ hơn mô đun đàn hồi E-LWD của CPĐD1.

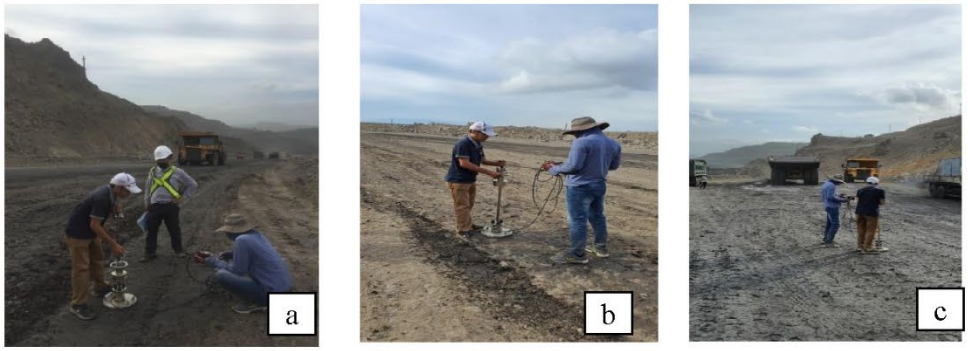
+ Trong đoạn từ Km 0+500 -Km 1+300, có 04 điểm: 12, 13, 14 và 16 tương ứng với lý trình Km 0+ 600, Km 0+ 750, Km 0+ 950, Km 1+ 150 và Km 1+200 có giá trị mô đun đàn hồi E-LWD nhỏ hơn E-LWD của CPĐD1

- Đối với đường cố định và bán cố định L2 = 4km, tại lý trình Km 3+0.00, E- LWD tại đây nhỏ hơn E-LWD của CPDD loại 1.

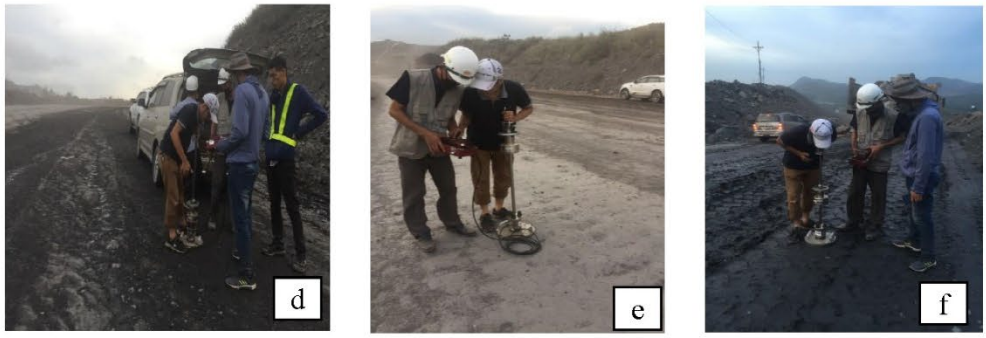
- Qua kết quả thí nghiệm hiện trường đo E ở trên cho thấy cường độ mặt đường có những chỗ rất cứng (>200 MPa, hình 1.22e), đó là đối với những đoạn tuyến đường cố định trên đường ra bãi thải. Tuy nhiên, nhìn vào biểu đồ hình 2.21 cho thấy, có những điểm yếu cục bộ trên các đoạn tuyến tạm thời và bán cố định. Thậm chí cả những đoạn cố định, có những ổ điểm sình lún, cao su như điểm 28 (E = 37 MPa) và được khẳng định bằng khảo sát thực tế bằng mặt (hình 1.22f).

- Quan sát hình thí nghiệm tại hình 1.22 và kết quả trình bày ở hình 1.21 cho ta thấy xét trên mặt cắt ngang và dọc tuyến của đường mỏ Cao Sơn, mô đun đàn hồi đặc trưng cho khả năng chịu lực của mặt đường là không đồng nhất, có sự dao động rất lớn giữa các giá trị đo.

Vì vậy, khi lên phương án sửa chữa, nâng cấp, điều đầu tiên là phải khắc phục tất cả các điểm yếu cục bộ bằng cách đào bỏ và thay thế bằng những vật liệu cấp phối có độ chặt và mô đun đàn hồi đo bằng thiết bị LWD > 130 MPa. Sau đó, phủ một lớp CPDD-M có các yêu cầu kỹ thuật đáp ứng được các yêu cầu chức năng của mặt đường (tổng điểm chức năng DS = [60-130- mục 1.52 và RR = 2% nhất có thể- mục 1.53).



Đo mô đun đàn hồi mặt đường tạm thời (trong mỏ) của đoạn đường thử nghiệm



Đo mô đun đàn hồi mặt đường cố định/bán cố định (ngoài mỏ) của đoạn đường thử nghiệm

Hình 1.22. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi bằng thiết bị LWD tại đường mỏ Cao Sơn

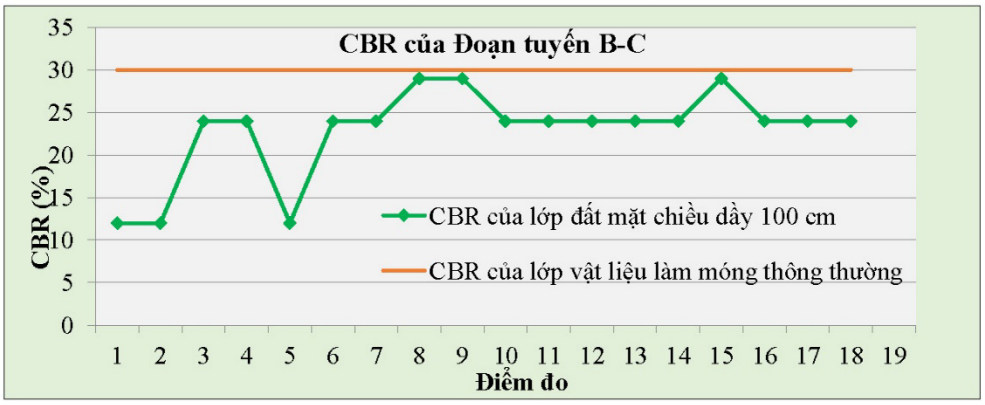
1.6.3.2. Kết quả thí nghiệm xác định sức chịu tải của nền đất CBR bằng thiết bị DCP.

Kết quả thí nghiệm CBR được trình bày trong bảng 1.18 và các hình 1.23, 1.24 và hình 1.25 dưới đây. Hình ảnh thí nghiệm DCP trình bày ở Hình 1.26

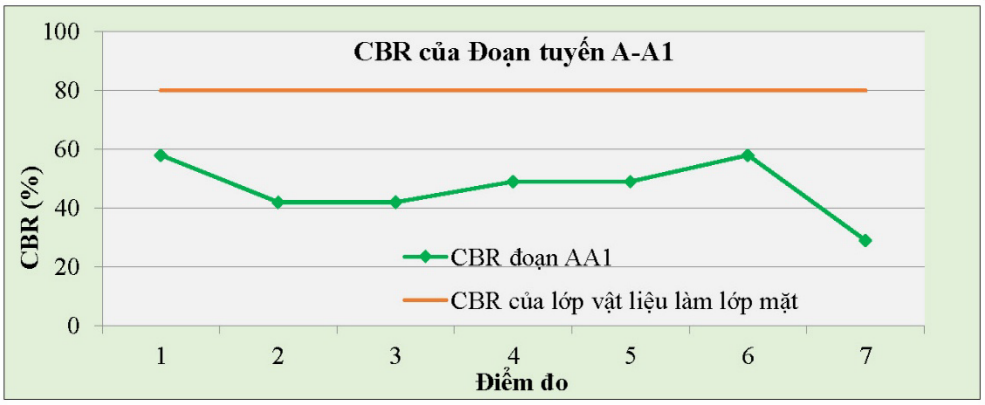
Bảng 1.18. Kết quả khảo sát mặt đường mỏ bằng thí nghiệm LWD

TT	Điểm đo	Tuyến	Tọa độ		CBR, (%)
			X	Y	
1	1	C-B	2.328.157,13	452.926,93	12
2	2		2.328.142,87	452.927,77	12
3	3		2.328.136,79	453.023,98	24
4	4		2.328.149,15	453.029,24	24
5	5		2.328.078,98	453.135,34	12
6	6		2.328.069,40	453.127,30	24
7	7		2.328.030,41	453.188,45	24

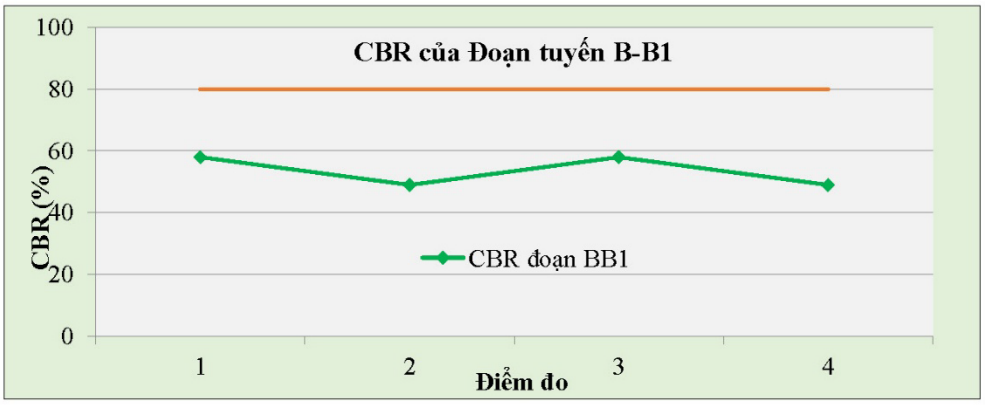
TT	Điểm đo	Tuyến	Tọa độ		CBR, (%)
			X	Y	
8	8		2.328.043,00	453.196,78	29
9	9		2.328.004,20	453.283,28	29
10	10		2.327.996,45	453.284,83	24
11	11		2.327.989,29	453.289,10	24
12	12	B-A	2.327.930,74	453.232,68	24
13	13		2.327.945,30	453.227,10	24
14	14		2.327.970,70	453.049,77	24
15	15		2.327.956,76	453.046,36	29
16	16		2.328.250,57	453.689,40	24
17	17		2.328.235,95	453.694,38	24
18	18		2.328.076,44	453.396,17	24
19	19		2.328.068,60	453.408,52	24
20	20	A-A1	2.328.204,58	453.534,84	58
21	21		2.328.177,83	453.539,25	42
22	22		2.328.171,54	453.781,16	42
23	23		2.328.185,38	453.786,51	49
24	24		2.328.142,65	453.922,41	49
25	25		2.328.130,03	453.915,11	58
26	26		2.328.028,45	454.077,51	29
27	27	B-B1	2.328.039,71	454.086,41	58
28	28		2.327.966,01	454.204,41	49
29	29		2.327.953,11	454.198,25	58
30	30		2.327.874,98	454.324,62	49



Hình 1.23. Kết quả thí nghiệm CBR của đoạn tuyến B-C



Hình 1.24. Kết quả thí nghiệm CBR của đoạn tuyến A-A1



Hình 1.25. Kết quả thí nghiệm CBR của đoạn tuyến B-B1

Nhận xét:

- Đối với tuyến đường tạm thời B-C: lớp đất có chiều sâu từ 100 cm trở xuống tính từ mặt đường có CBR rất yếu, < 30 % do không được lu lèn chặt và vật liệu chủ yếu là từ đất đá bốc dỡ lấy từ gương đào không tuân theo quy luật cấp phối. Lớp đất này chủ yếu được đầm nén bởi chính các xe vận chuyển. Do vậy, lớp đất này không có độ chặt và cường độ. Chỉ cần tác động của nước (mưa hoặc phun khử bụi) cũng dễ dàng tạo ra các sống trâu, ổ gà, trồi lún, các ổ sình lầy cao su. Giá trị CBR < 30%, có nghĩa lớp đất này không đáp ứng được lớp vật liệu làm móng đường trong kết cấu áo đường thông thường. Thấm chí có những vị trí CBR chỉ đạt 10%, bằng với yêu cầu kỹ thuật của lớp vật liệu nền đường thông thường.

- Đối với tuyến đường cố định A-A1 và bán cố định B-B1: lớp đất chiều sâu tính từ mặt đường 20 cm có CBR có giá trị cao hơn so với tuyến đường tạm thời B-C do các tuyến đường này đã được lu lèn thường xuyên bởi chính các xe

vận chuyển trong mỏ. Tuy nhiên, do vật liệu không tuân theo quy luật cấp phối nên mặt đường không đảm bảo được độ chặt và cường độ (CBR <80%) và là nguyên nhân trực tiếp tạo ra các điểm yếu cục bộ sinh lún cao su, đặc biệt khi nước (do mưa hoặc khử bụi) thấm xuống dưới lòng đường.

- Xét tổng thể toàn bộ các tuyến đường, giá trì CBR = [24-60] %

- Quan sát kết quả thí nghiệm CBR chúng ta để có thể thấy các lớp đất trên cùng của mặt đường của tất cả các tuyến đều không đủ khả năng chịu lực. Đặc biệt khi chịu tác động của nước sẽ dẫn đến hình thành các hư hỏng chức năng như đã nêu ở mục 1.5.2 và 1.5.3. Để sửa chữa, cải tạo đường mỏ thì lớp đất đất trên cùng này (<1m đối với tuyến đường B-C) và (khoảng 20 cm đối với A-A1 và B-B1) cần được cào bóc, loại bỏ do không đáp ứng được yêu cầu chịu lực, hoặc cần áp dụng phương pháp thiết kế hiện đại mới dựa trên ứng xử cơ học để thiết kế ra lớp móng sử dụng chính đất đá nổ thải có chiều dày hợp lý, đủ dầy để chống lại tải trọng của các xe vận chuyển.



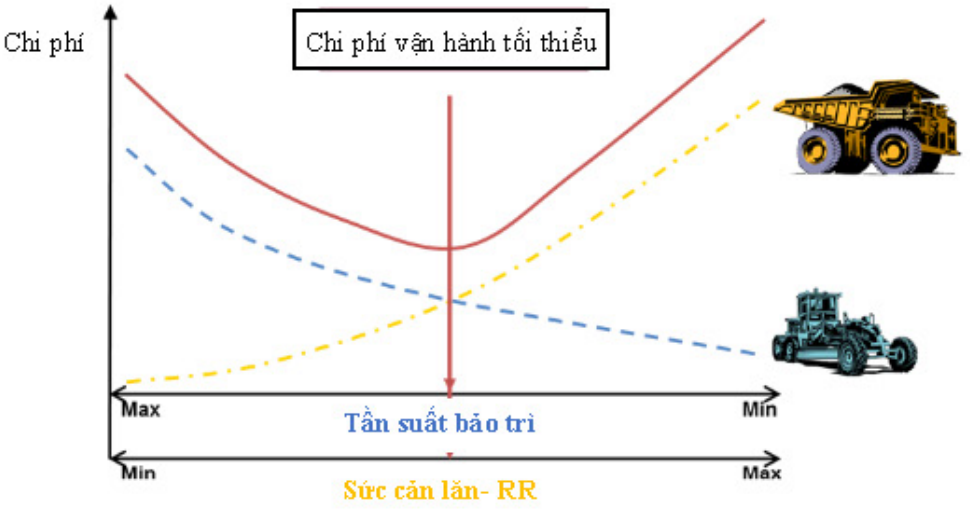
Hình 1.26. Một số hình ảnh thực nghiệm DCP để xác định CBR

1.7. THIẾT KẾ BẢO TRÌ

1.7.1. Ý nghĩa thiết kế bảo trì và mô hình tối thiểu chi phí người sử dụng đường.

Với đặc điểm của tải trọng xe trong mỏ là rất lớn, do vậy rất khó có thể xây dựng được hệ thống đường trong mỏ có tuổi thọ lâu mà không cần đến bảo trì. Nếu có thì chi phí xây dựng cũng rất đắt. Ngoài ra, với đặc điểm đường trong mỏ có lớp bề mặt thông thường được làm từ vật liệu đất đá rời rạc (cụ thể là đá nổ mìn), dưới tác dụng của tải trọng nặng của xe vận chuyển và các điều kiện thời tiết bất lợi như nắng và mưa, trong quá trình khai thác không thể tránh khỏi những hư hỏng (mục 1.4.3 và Bảng 1.10) xảy ra.

Tuy nhiên, để tránh những hư hỏng này xuất hiện thì con đường cần phải được bảo trì, đi kèm theo đó là chi phí bảo trì. Để tạo ra hiệu quả kinh tế trong vận chuyển thì chi phí này cần phải được cân đối với những lợi ích thu được từ chi phí vận hành xe do mặt đường luôn được duy trì ở mức chất lượng tốt. Đây chính là nguyên lý chính của *mô hình tối thiểu hóa chi phí người sử dụng đường* (Minimum total road-users cost) được minh họa khái quát trong hình 1.27 dưới đây làm cơ sở cho việc **lập kế hoạch bảo trì** hay **thiết kế bảo trì**.



Hình 1.27. Mô hình tối thiểu hóa chi phí người sử dụng đường

1.7.2. Nguyên lý thiết kế bảo trì.

Nguyên lý của thiết kế bảo trì là xác định ra được ***Tần suất bảo trì hợp lý*** sao cho số lần thực hiện bảo trì là ít nhất mà chất lượng mặt đường vẫn đảm bảo. Chất lượng mặt đường ở đây được định lượng thông qua sức cản lăn - RR, nghĩa

là chỉ có 05 hư hỏng: ổ gà, trồi lún lượn sóng, vật liệu rời rạc &bong bật, lún vệt bánh xe, mặt đường lộ đá to. Các hư hỏng này cũng chính là các yếu tố chính ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí vận hành xe (bao gồm nhiên liệu, phụ tùng thay thế, tiêu hao lốp). Chi phí bảo trì mặt đường được tính trên năng suất làm việc của loại xe san gạt và phu tưới nước. Khi 02 chi phí vận hành xe và chi phí bảo trì giao cắt nhau tại một điểm mà tại đó việc vận hành của người chủ sở hữu mỏ hay ở đây chính là người sử dụng đường đạt được hiệu quả kinh tế kỹ thuật hay chi phí vận hành của người sử dụng đường là nhỏ nhất ở thời điểm bảo trì hợp lý nhất. Đơn vị của thời điểm này là ngày nghĩa là số ngày tính từ khi bảo trì lần cuối cùng đến lần bảo trì tiếp theo.

Nguyên tắc tổng quát để xác định chi phí vận hành nhỏ nhất như sau:

Bước 1: Xác định các loại chi phí:

- **Chi phí vận hành xe** = Chi phí nhiên liệu + Chi phí lốp + Chi phí phụ tùng thay thế bao gồm cả chi phí nhân công thực hiện việc thay thế.
- **Chi phí bảo trì mặt đường**= Chi phí xe san gạt + Chi phí xe phun nước
- **Chi phí vận hành sử dụng đường** = Chi phí vận hành + Chi phí phí bảo trì mặt đường.

Lưu ý: Tất cả các loại chi phí trên đều xác định dựa trên mô hình tính toán chi phí sử dụng sức cản lăn RR mà kết quả đã được trình bày tại mục 1.5.4, hình 1.18 và số ngày kể từ lần bảo trì cuối cùng (tần suất bảo trì), đề xuất bởi Roger Thompson [2].

Bước 2: Xác định chi phí sử dụng đường tối thiểu

- Xác định chi phí sử dụng đường theo số ngày kể tử lần bảo trì cuối cùng
- Xác định giá trị nhỏ nhất của chi phí này .

Bước 3: Xác định thời điểm hợp lý nhất để thực hiện bảo trì (tần suất bảo trì hợp lý)

- Tính sự chênh lệch giữa các giá trị chi phí sử dụng đường với giá trị nhỏ nhất của chi phí này.
- Vẽ biểu đồ sự biến đổi của sự chênh lệch trên: trục tung là sự chênh lệch (triệu VNĐ), trục hoành là tần suất bảo trì (ngày).
- Căn cứ biểu đồ trên xác định được tần suất bảo trì hợp lý (ngày kể từ khi bảo trì lần cuối cùng.

1.7.3. Thiết kế bảo trì cho các đoạn đường thử nghiệm ở mỏ Cao Sơn.

1.7.3.1. Dữ liệu thiết kế bảo trì

Các dữ liệu cần thiết phục vụ thiết kế bảo trì được trình bày trong các bảng

1.19 và 1.20 dưới đây:

Bảng 1.19. Thông số về đoạn đường và vật liệu làm lớp mặt

Thông số /Đoạn đường	AA1	AA2	AB	BB2	B2C	Cải tạo
Chiều dài (m)	417	275	555	341	711	555
Chiều rộng (m)	20	22	18	17	17	18
Độ dốc dọc (%)	5	0	3.5	8	10	3.5
Tốc độ dự kiến (km/h)	27	21.5	26.2	23.8	22.1	26.2
Tải lượng vận chuyển trung bình ngày (nghìn tấn/ngày)	410	500	335	235	235	500
Tích co ngót	140	170	160	180	150	110
Hệ số cấp phối	40	40	42	43	45	25
PI	12	15	11	9	13	0
CBR (100% Mod)	50	80	25	25	21	100

Lưu ý: Đường cải tạo chính là đoạn AB sau khi đã cải tạo vật liệu lớp mặt đường đưa về vật liệu tiêu chuẩn

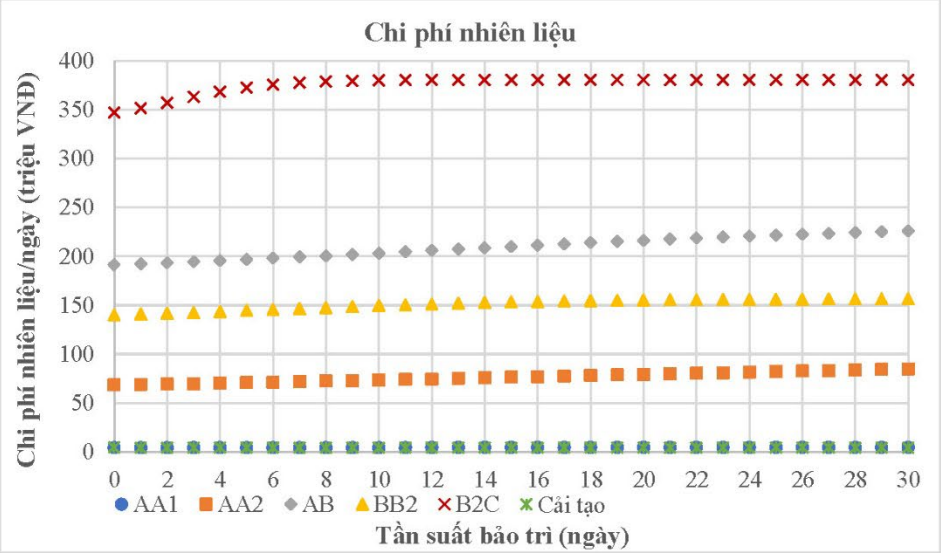
Bảng 1.20. Thông số về các phương tiện xe sử dụng trong tính toán thiết kế

Thông số	CAT 777D
Công suất động cơ (kw)	746
Hiệu suất truyền động (%)	80%
Hiệu suất phanh (%)	115%
Tự trọng xe- EVM (t)	90.4
Tải trọng gộp- GVM (t)	163.4
Tốc độ giới hạn (có tải/không tải) (km/h)	35
Chi phí phụ tùng thay thế (x10^6), VNĐ	125,000
Số giờ làm việc của động cơ (x10^3)	10
Tỉ lệ sử dụng xe trong ngày (%)	70%
Chi phí một quả lốp (VNĐ)	400,000,000
Chi phí 1 lít nhiên liệu (VNĐ)	25,000
Chi phí nhân công 1 h (VNĐ)	90,000
Hệ số nhân công beta	0.45
Thông số	**Xe san gạt**
Chiều dài lưỡi san hiệu dụng (Le-Lo) (m)	3
Số xe san	6
Diện tích mặt đường được bảo trì trong 1h trên 1 m chiều rỗng lưỡi san hiệu dụng (m2/h/m)	6000
Tỉ lệ sử dụng xe san trong ngày (%)	70%
Chi phí vận hành máy san trong 1h (VNĐ)	5,500,000
Thông số	**Xe phun nước**
Chiều rộng phun nước hiệu dụng (m)	10
Số xe phun nước	6
Diện tích mặt đường được phun nước trong 1h trên 1 m chiều rộng mặt đường (m2/h/m)	10500
Tỉ lệ sử dụng xe phun nước trong ngày (%)	70.00%
Chi phí vận hành xe phu nước 1h (VND)	3,500,000

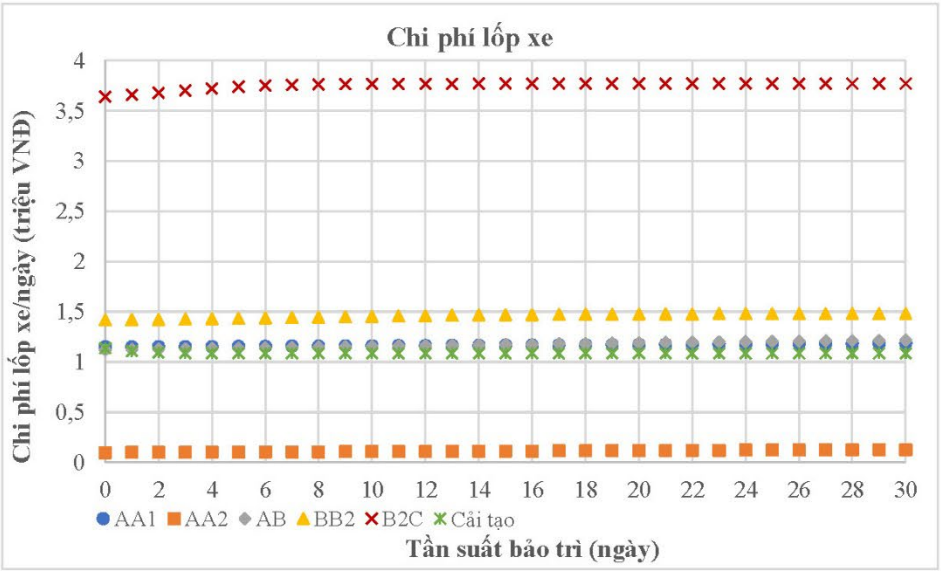
1.7.3.2. Kết quả tính toán các chi phí

Kết quả tính toán chi tiết các loại chi phí cho các đoạn đường khác nhau được trình bày trong phụ lục đính kèm. Dưới đây chỉ trình bày kết quả dưới dạng các biểu đồ.

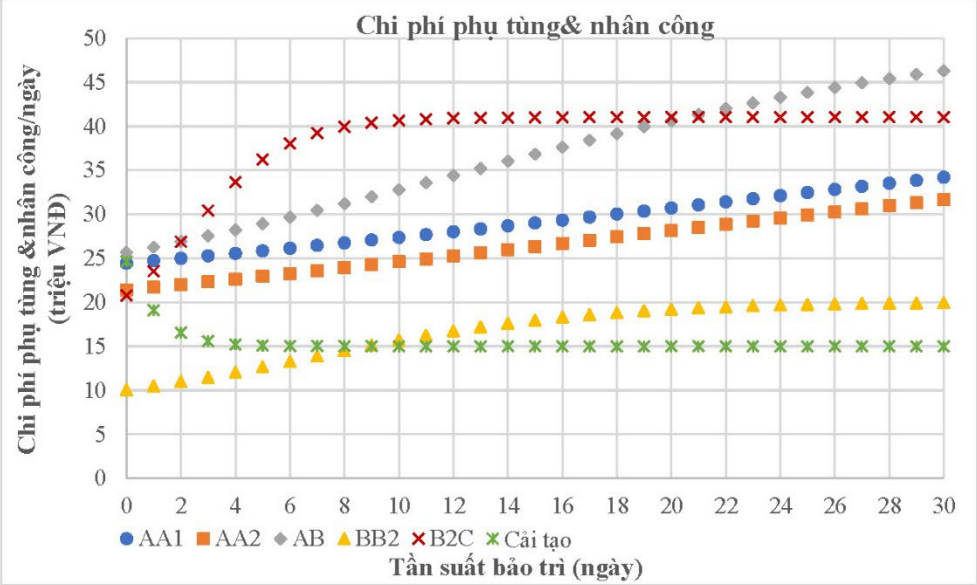
a. Chi phí vận hành xe (CAT777D): bao gồm chi phí nhiên liệu, chi phí lốp và chi phí phụ tùng &nhân công thay thế.(hình 1.28, 1.29 và hình 1.30)



Hình 1.28.Chi phí nhiên liệu trong một ngày của các đoạn thử nghiệm



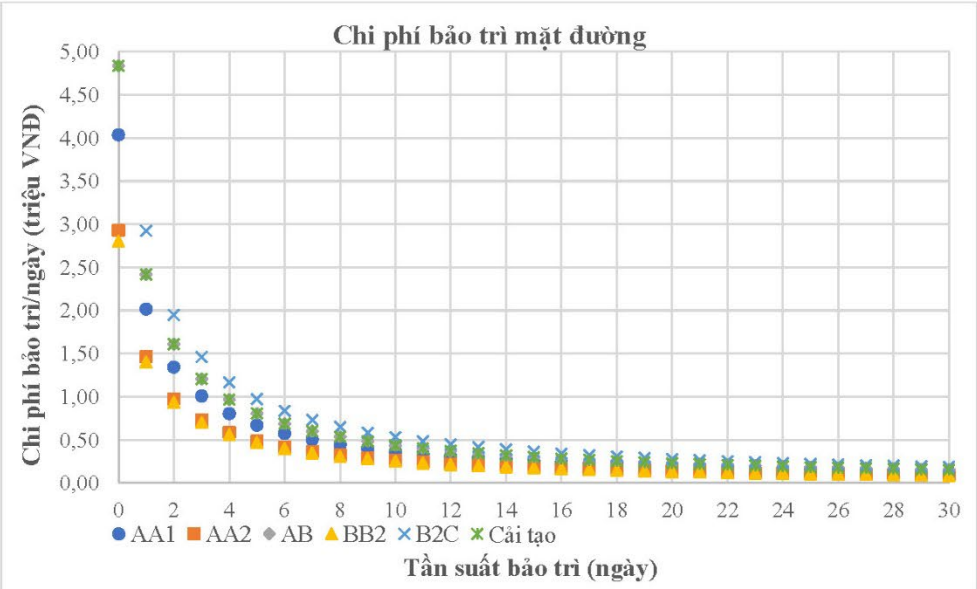
Hình 1.29. Chi phí lốp xe trong một ngày của các đoạn thử nghiệm



Hình 1.30. Chi phí phụ tùng&nhân công trong một ngày của các đoạn thử nghiệm

b. Chi phí bảo trì mặt đường:

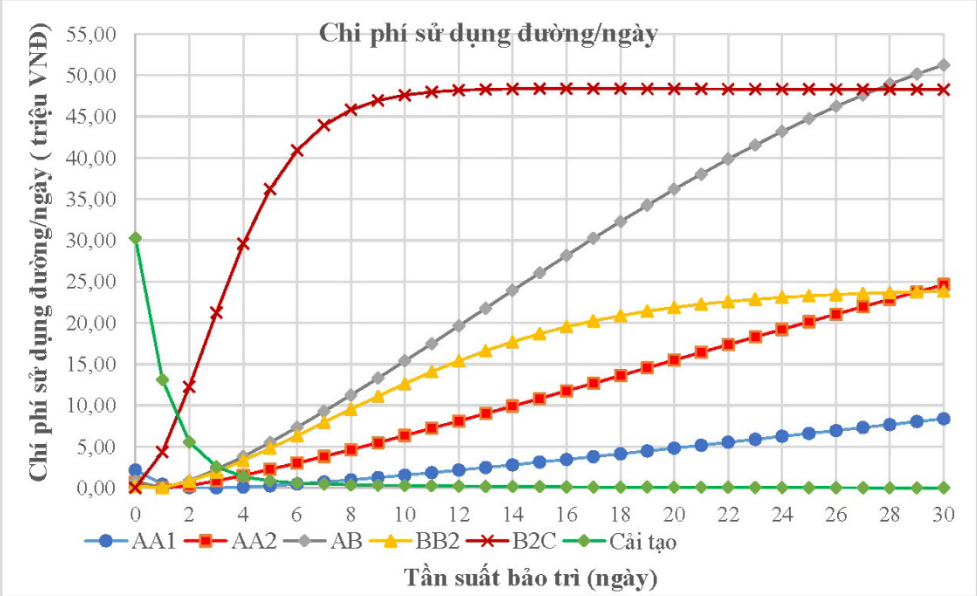
Kết quả được trình bày trong hình 1.31



Hình 1.31. Chi phí bảo trì mặt đường trong một ngày của các đoạn thử nghiệm

c. Chi phí sử dụng đường

Kết quả được trình bày trong hình 1.32.



Hình 1.32. Chi phí sử dụng đường trong một ngày của các đoạn thử nghiệm

Xem xét hình 1.32 ta thấy (xác định ***tần suất bảo trì theo sức cản lăn RR***)

- Tần suất bảo trì hợp lý cho đoạn AA1 là: 03 ngày.
- Tần suất bảo trì hợp lý của các đạn AA2, AB, BB2: 01 ngày.
- Tần suất bảo trì hợp lý của đoạn B2C là: 0 ngày nghĩa là hàng ngày.
- Tần suất bảo trì hợp lý của đoạn AB được cải tạo là: 08 ngày:

So sánh với hình 1.14 xác định ***tần suất bảo trì theo tổng điểm chức năng DS*** thì:

- Đoạn AA1: tần suất bảo trì (theo sức cản lăn RR) sớm hơn [0,5-1] ngày
- Đoạn AA2: tần suất bảo trì (theo sức cản lăn RR) sớm hơn [2,5-3] ngày
- Đoạn AB&BB2: tần suất bảo trì (theo sức cản lăn RR) sớm hơn [1,5-2] ngày
- Đoạn B2C: tần suất bảo trì (theo sức cản lăn RR) sớm hơn 2,0 ngày.
- Đoạn AB cải tạo: tần suất bảo trì theo sức cản lăn RR bằng vời tần suất bảo trì theo tổng điểm chức năng DS: 08 ngày

Như vậy, để vận hành sử dụng đường vận chuyển trong mỏ một cách hiệu quả kinh tế-kỹ thuật, cần thiết phải xác định tần suất bảo trì theo sức cản lăn RR- là nhân tố ảnh hưởng trực tiếp đến các chi phí vận hành xe và chất lượng khai

thác mặt đường. Tần suất bảo trì hợp lý là số ngày kể từ lần bảo trì cuối cùng đến thời điểm thực hiện bảo trì tiếp theo sao cho chi phí vận hành xe và chi phí bảo trì mặt đường là nhỏ nhất.

1.8. THEO DÕI LƯU LƯỢNG, CHỦNG LOẠI, TỐC ĐỘ CHUYỂN ĐỘNG TRÊN ĐOẠN ĐƯỜNG CHUẨN BỊ THI CÔNG CẢI TẠO

Lưu lượng, chủng loại, tốc độ chuyển động trên đoạn đường chuẩn bị thi công cải tạo được thực hiện bằng phương pháp chụp ảnh bấm giờ. Tại các điểm đầu và cuối tuyến đặt các camera chụp các xe qua điểm, bầm giờ (hình 1.33).

Nhóm thực hiện tổ chức theo dõi, thống kê lưu lượng, chủng loại, tốc độ các loại xe trên đoạn A-A1, A-B-B2-C trước khi thi công vào ca 1 các ngày 25-28/5/2021. Tại thời điểm theo dõi ngày 25/5 thời tiết khô ráo, mặt đường được tưới nước dập bụi sau mỗi 2÷3 giờ hoạt động, ngày 26/5 trước ca 1 có mưa rào nhẹ, mặt đường ẩm ướt, đầu ca 1 tương đối trơn trượt.

Kết quả theo dõi lưu lượng, chủng loại, tốc độ xe như sau:

- Đoạn A-A1: lưu lượng 1 chiều 100÷120 chuyến/giờ trong đó bao gồm cả ô tô tải trọng lớn (55-96) tấn của mỏ và xe 36÷40 tấn của các đơn vị thuê ngoài. Phần lớn đất đá đổ thải bằng ô tô từ khai trường Cao Sơn đều chạy qua đoạn này ra bãi thải Bàng Nâu. Tốc độ trung bình ô tô chiều xuống dốc có tải từ 25÷27 km/h, chiều lên dốc không tải từ 20÷33 km/h, bình quân 22,9÷30,6 km/h. Chi tiết xem bảng 1.21.

- Đoạn A-B-B2-C: lưu lượng không nhiều - từ 50÷75 chuyến/giờ chủ yếu là các loại xe 55÷96 tấn của mỏ vận tải than và đất đá từ các tầng -20 đến đáy khai trường về bãi chứa than, trạm nghiền đá và bãi thải Bàng Nâu. Tốc độ trung bình ô tô chiều lên dốc có tải từ 17÷20 km/h, chiều xuống dốc không tải từ 32÷40 km/h, bình quân 26,2÷28,6 km/h. Chi tiết xem bảng 1.21.



Xe vào điểm A



Xe ra điểm A1

Hình 1.33. Bấm giờ xe vào và ra trên đoan A-A1 ngày 25/5/2021

Bảng 1.21. Lưu lượng, tốc độ xe theo chủng loại lưu thông trên các tuyến đường hiện trạng

TT	Chủng loại	Tải trọng xe, tấn	Tốc độ xe, km/h					
			Đoạn A-A1			Đoạn A-B-B2-C		
			Lưu lượng TB, chuyến/h	Chiều xuống dốc có tải A→A1	Chiều lên dốc không tải A1→A	Lưu lượng TB, chuyến/h	Chiều lên dốc có tải C→A	Chiều xuống dốc không tải A→C
1	CAT777	96	12	25,4	20,4	28	18,6	34,9
2	HD785	91	5	25,6	23,8	9	19,2	35,0
3	CAT773	58	4	27,8	32,3	5	17,1	40,1
4	HD465	55	7	27,7	33,5	28	20,2	32,1

- Đoạn A-A2 có lưu lượng xe lớn nhất (120÷160 chuyến/h) bao gồm đầy đủ các loại xe chạy trên mỏ. Các xe chạy qua đoạn này bao gồm ô tô vận tải đất đá từ tầng -20 trở lên khu vực bờ Tây, Tây Nam về trạm nghiền đá, bãi thải Bàng Nâu và đất đá khu vực đáy moong nề đổ vào trạm nghiền. Do đặc điểm của đoạn đường là chiều dài ngắn, các xe chỉ chạy trên 1 phần của đoạn đường và đây là khu vực ra vào trạm nghiền nên nhóm thực hiện không tổ chức khảo sát tốc độ trên đoạn này.

- Đoạn B-B1 nằm trên tuyến nối các phân xưởng vận tải đến khai trường, xe chạy trên đoạn này phần lớn là xe không tải từ các phân xưởng vận tải ra khai trường và ngược lại.

Từ kết quả theo dõi tốc độ xe trên các đoạn trước khi cải tạo cho thấy: trong điều kiện khô ráo, tốc độ trung bình ô tô đạt và vượt so với tốc độ kỹ thuật trung bình tính toán trong Định mức lao động và năng suất một số thiết bị chủ yếu khai thác than lộ thiên ban hành kèm theo Quyết định số 2411/QĐ-TKV ngày 31/12/2019 của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (Định mức 2411). Tuy nhiên, khi trời mưa lớn, mặt đường lầy lội tốc độ ô tô chỉ đạt 60÷70 % so với Định mức.

1.9. KẾT LUẬN CHƯƠNG 1

Khu vực lựa chon cải tạo đường là khu trung gian nối khai trường với trạm nghiền đá và bãi thải Bàng Nâu. Về vị trí, các đoạn tuyến bao gồm cả đường trong mỏ và đường ngoài mỏ, về chủng loại bao gồm cả đường cố định, bán cố

định và tạm thời.

Mặt đường hiện hữu trước khi cải tảo được xây dựng và bảo trì bằng công nghệ rải lớp đất đá chọn lọc từ đá nổ mìn tại mỏ. Quá trình sử dụng thường xảy ra các **hư hỏng** như ổ gà, sống trâu, trồi lún, mấp mô, cao su, sình lấy khi mưa và bụi khi nắng khô, lộ đá to gây giảm năng suất và tăng tiêu hao lốp.

Các hư hỏng kể trên liên hệ mật thiết đến **chất lượng vật liệu làm lớp mặt đường**. Vật liệu làm lớp mặt không chỉ được lựa chọn định tính từ đá nổ mìn mà cần phải kiểm soát chất lượng thông qua các chỉ tiêu kỹ thuật như: ***Gc, Sp, PI, DR, CBR, Dmax***… để ngăn ngừa các hư hỏng nêu trên xảy ra và để đảm bảo các chức năng của đường vận chuyển là an toàn khi lưu thông, thân thiện với lốp xe và hiệu quả trong khai thác, vận hành.

Việc đánh giá chất lượng mặt đường vận chuyển được tiến hành thông qua tính ***tổng điểm chức năng DS***. Một cách gần đúng, tổng điểm DS là một số nguyên định lượng chất lượng mặt đường theo nguyên tắc: Số nguyên này càng nhỏ thì chất lượng mặt đường càng tốt, chức năng của con đường được đảm bảo. Trái lại, số nguyên này càng cao thì chất lượng mặt đường càng xấu, chức năng của con đường xuống cấp nhanh và không đảm bảo. Giá trị DS nhỏ nhất là 5 và lớn nhất là 275. Các giá trị DS được xác định thông qua đánh giá điểm số của 11 hư hỏng (mục 1.5.1) theo 02 tiêu chí "mức độ" và "quy mô". Thang điểm của 02 tiêu chí này được cho từ 1 đến 5. Thông qua quy tắc tính trên, nếu giá trị DS<60 thì mặt đường chất lượng tốt không cần phải bảo trì. Nếu giá trị 60≤DS≤130 thì mặt đường vẫn cho phép xe lưu thông nhưng nếu có thể thì thực hiện công tác bảo trì (đối với các giá trị gần 130) để đảm bảo chức năng của con đường. Và nếu DS>130 thì bắt buộc phải bảo trì. ***Áp dụng vào đường mỏ Cao Sơn*** cho thấy: Đối với đường tạm thời, giá trị DS là khoảng [81-117]. Đường bán cố định là [83-115]. Đường cố định là khoảng [90-126]. Trường hợp áp dụng CPDD-M là vật liệu thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của vật liệu làm lớp mặt thì giá trị DS là [66-101].

Tổng điểm chức năng DS ngoài chức năng định lượng chất lượng mặt đường còn được sử dụng để xác định ***tần suất bảo trì*** hay số ngày cần phải tiến hành các hoạt động bảo trì mặt đường để chất lượng và chức năng của mặt đường được đảm bảo. Áp dụng vào đường mỏ Cao Sơn, cho thấy: Đối với đường tạm thời, tần suất bảo trì là khoảng 2 ngày. Đường bán cố định là [2,5-3,0] ngày. Đường cố định là khoảng [3,5 – 4,0] ngày. Nếu áp dụng CPDD-M là vật liệu thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của vật liệu làm lớp mặt thì tần suất bảo

trì có thể kéo dài lên khoảng [7,5-8,0] ngày.

Sức cản lăn -RR là chỉ tiêu kỹ thuật được sử dụng để đánh giá ***chi phí vận tải*** bao gồm các yếu tố như năng suất vận chuyển (m^3đất đá bóc dỡ/ca), chi phí nhiên liệu (xăng, dầu,…), chi phí bảo dưỡng, phụ tùng thay thế, tiêu hao lốp,… Sức cản lăn càng lớn, chi phí vận tải càng cao, ngược lại sức cản lăn càng nhỏ thì chi phí vận tải được giảm thiểu và mang lại hiệu quả trong vận chuyển. Sức cản lăn tiêu chuẩn có giá trị RR = 2%, khi mặt đường ở sức cản lăn này, thì hiệu quả vận chuyển được cho là tốt nhất.

Để định lượng sức cản lăn RR, cần phải xác định ***Tổng điểm độ nhám RDS*** có giá trị là một số nguyên. Số nguyên này được xác trên cơ sở đánh giá điểm số của 05 hư hỏng (muc 1.5.2) theo 02 tiêu chí "mức độ" và "quy mô". Thang điểm của 02 tiêu chí này được cho từ 1 đến 5. Giá trị RDS nhỏ nhất là 5 và lớn nhất là 125. Sau khi xác định được RDS, sức cản lăn RR được tính toán thông qua mô hình của Roger Thompson đề xuất. ***Áp dụng mô hình này vào đường mỏ Cao Sơn*** cho thấy sức cản lăn RR thay đổi theo thời gian (kể từ lần cuối cùng bảo trì mặt đường) và tải lượng tác dụng lên mặt đường: Sau 30 ngày khai thác và mặt đường *không được bảo trì* thì: đối với đường tạm thời, giá trị RR tăng từ 2,6% lên 3,83%. Đường bán cố định tăng từ 2,59% lên 3,89%. Đường cố định tăng từ 2,86% lên 3,59%. Trường hợp áp dụng CPDD-M là vật liệu thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của vật liệu làm lớp mặt thì giá trị RR không tăng mà giảm từ 2,93% xuống 2,32%.

Mặc dù cả 02 chỉ tiêu kỹ thuật: tổng điểm chức năng DS và tổng điểm độ nhám RDS đều cho phép đánh giá chất lượng khai thác của mặt đường vận chuyển. Tuy nhiên, để đánh giá ***hiệu quả vận chuyển***, chỉ tiêu RDS được sử dụng vì từ tổng điểm RDS có thể chuyển đổi thành sức cản lăn RR là yếu tố liên hệ mật thiết đến các chi phí vận hành xe, chi phí bảo trì mặt đường và chi phí sử dụng đường. Đây chính là các chi phí cấu thành việc ***thiết kế bảo trì***. Theo đó, thiết kế bảo trì là xác định được ra ***tần suất bảo trì*** (đơn vị là ngày) hợp lý, tức là số ngày cần thiết kể từ lần bảo trì cuối cùng cho đến lần bảo trì tiếp theo mà tại đó chi phí sử dụng đường là nhỏ nhất. ***Áp dụng mô hình thiết kế bảo trì vào đường mỏ Cao Sơn*** cho thấy: tần suất bảo trì của đoạn AA1 là 03 ngày. Đoạn AA2, AB, BB2 là 01 ngày. Đoạn B2C là hàng ngày (0 ngày) và đoạn AB sau khi được cải tạo nâng cấp, it nhất là 8 ngày.

Ngay cả khi chất lượng vật liệu làm lớp mặt đường được đảm bảo mà khả năng chịu lực của các lớp vật liệu phía dưới không đảm bảo thì mặt đường vận

chuyển vẫn khiến việc lưu thông của các xe thiếu an toàn, không đảm bảo hiệu suất vận chuyển. Vì vậy, để đánh giá khả năng chịu lực của mặt đường, 02 chỉ tiêu kỹ thuật được sử dụng là ***mô đun đàn hồi E*** và ***sức chịu tải CBR*** đo từ các thiết bị thí nghiệm tương ứng là LWD và DCP. Kết quả thí nghiệm của cả 02 chỉ tiêu này cho thấy: Đối với đường tạm thời giá trị CBR <25 % không đạt yêu cầu làm lớp móng trong kết cấu áo đường, thậm chí có những điểm CBR =12% bằng với sức chịu tải của nền đất của kết cấu áo nền đường thông thường. Giá trị mô đun đàn hồi E dao động trong khoảng rất lớn là [67-132] MPa (loại trừ điểm đo bất thường]. Điều này chứng tỏ chất lượng chịu tải trọng của mặt đường phân tán rất lớn, không đồng nhất. Giá trị trung bình là 98 MPa <130 MPa là giá trị tối thiểu cần thiết để thiết kế lớp móng đặt phía trên có chiều dầy hợp lý để chịu lực. Tương tự, đối với đường bán cố định, E dao động trong khoảng [56-88] MPa và giá trị đặc trưng là 80 MPa; giá trị CBR <30% % không đạt yêu cầu làm lớp móng trong kết cấu áo đường. Đối với đường cố định, E dao động trong khoảng [37-216] MPa và giá trị đặc trưng là 131 MPa; giá trị CBR <60% không đạt yêu cầu làm lớp mặt trên của đường mỏ.

Kết quả theo dõi ***lưu lượng, chủng loại, tốc độ xe*** cho thấy: Đoạn A-A1 có lưu lượng 01 chiều 100÷120 chuyến/giờ. Tốc độ trung bình ô tô chiều xuống dốc có tải từ 25÷27 km/h, chiều lên dốc không tải từ 20÷33 km/h, bình quân 22,9÷30,6 km/h. Đối với đoạn A-B-B2-C: lưu lượng không nhiều, từ 50÷75 chuyến/giờ chủ yếu là các loại xe 55÷96 tấn. Tốc độ trung bình ô tô chiều lên dốc có tải từ 17÷20 km/h, chiều xuống dốc không tải từ 32÷40 km/h, bình quân 26,2÷28,6 km/h. Trong điều kiện khô ráo, tốc độ trung bình ô tô đạt và vượt so với Định mức. Tuy nhiên, khi trời mưa lớn, mặt đường lầy lội tốc độ ô tô chỉ đạt 60÷70 % so với Định mức.

CHƯƠNG 2. THEO DÕI, ĐÁNH GIÁ QUÁ TRÌNH CHUẨN BỊ VÀ THI CÔNG PHƯƠNG ÁN

Sau khi hợp đồng giữa Công ty Công ty cổ phần than Cao Sơn - TKV và Công ty TNHH INFRASOL được ký kết, ngày 7/5/2021 Nhà thầu bắt đầu tập kết thiết bị để thi công Phương án. Tóm lược quá trình chuẩn bị và thi công Phương án như sau:

- Ngày 7/5/2021 Nhà thầu bắt đầu tập kết thiết bị bao gồm hệ thống trạm nghiền đập và các thiết bị phụ trợ;

- Công tác nghiền CPĐD-M thực hiện từ ngày 12/5/2021 đến ngày 30/5/2021;

- Từ ngày 03/6/2021 đến ngày 08/8/2021 Nhà thầu tiến hành thi công thí điểm tại 125 m nửa bên trái đoạn A-A1, hoàn thiện đoạn A-A1, B-B1, một phần đoạn B-B2 và thi công rải CPĐD-M lớp móng đoạn A-A2. Quá trình thi công gặp nhiều yếu tố bất lợi như dịch bệnh Covid 19, mưa mùa với vũ lượng lớn nên tiến độ và chất lượng thi công chưa đạt như thiết kế. ngày 16/8/2021 nhà thầu có công văn số 168/IFS-CS đề nghị Công ty than Cao Sơn cho dừng thi công Phương án.

- Ngày 29/9/2021, Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam có Công văn số 608/TTĐHSX-KCM về việc tạm dừng thực hiện Phương án cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn.

- Ngày 13/10/2021, Tổng giám đốc Đặng Thanh Hải đã chủ trì cuộc họp về việc thực hiện Phương án cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn. Theo kết luận cuộc họp của Tổng giám đốc tại Công văn số 175/TB-TKV ngày 29/10/2021. Liên danh tư vấn thiết kế: Công ty Tư vấn công trình Châu Á Thái Bình Dương và Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin đã tổ chức khảo sát bổ sung các đoạn tuyến chưa thi công. Trên cơ sơ đó Liên danh tư vấn thiết kế đề xuất một số nội dung cần chỉnh sửa, bổ sung Phương án để đảm bảo chất lượng theo yêu cầu.

- Trong thời gian chờ phê duyệt thiết kế Phương án điều chỉnh, từ ngày 05/12/2021 đến 12/01/2022 Nhà thầu tiến hành sửa chữa, hoàn thiện các đoạn đã thi công dở dang. Đến ngày 28/01/2022 các bên thống nhất nghiệm thu đưa vào sử dụng các đoạn A-A1, A-A2, B-B1.

- Sau khi thiết kế Phương án điều chỉnh được duyệt, từ ngày 05/3/2022 đến ngày 19/5/2022 Nhà thầu tổ chức thi công cá đoạn còn lại bao gồm: đoạn bán cố định A-B, B-B2 và tạm thời B2-C. Các bên thống nhất nghiệm thu đưa vào sử dụng các đoạn này từ ngày 25/5/2022.

2.1. THEO DÕI, ĐÁNH GIÁ QUÁ TRÌNH CHUẨN BỊ THI CÔNG

2.1.1. Theo dõi, đánh giá công tác chuẩn bị mặt bằng thi công (nhận bàn giao mốc cao độ, xác định tim đường…)

Ngày 05/5/2021, Công ty Công ty cổ phần than Cao Sơn - TKV và Công ty TNHH INFRASOL đã ký hợp đồng số 3691/HĐ-TCS-KH về Thi công cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn. Thời gian thực hiện hợp đồng là 60 ngày kể từ ngày hợp đồng có hiệu lực và chủ đầu tư bàn giao mặt bằng đủ điều kiện thi công cho nhà thầu thi công.

2.1.1.1. Quá trình chuẩn bị mặt bằng thi công

Mặt bằng các đoạn đường cải tạo được Công ty Cổ phần than Cao Sơn - TKV đã phối hợp cùng Tư vấn thiết kế - Liên danh Công ty Tư vấn công trình Châu Á Thái Bình Dương và Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin cùng Tư vấn giám sát - Viện quy hoạch và thiết kế xây dựng Quảng Ninh tổ chức bàn giao cho Nhà thầu vào 03 đợt.

Lần 1 bàn giao mặt bằng tuyến A-A1 và B-B2 vào ngày 18/5/2021. Theo Biên bản làm việc ngày 18/5/2021 về việc bàn giao mặt bằng thi công đoạn đường A-A1 và B-B2 thuộc Phương án Cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn mặt bằng, mốc giới các đoạn này giao cho Nhà thầu như sau:

- Đoạn từ A đến A1 có chiều dài 0,417 km, rộng 17 m, tổng số mốc bàn giao là 12 mốc, tọa độ các mốc như bảng 2.1.

Bảng 2.1. Tọa độ mốc giới mặt bằng tuyến A-A1

TT	Tên mốc	Tọa độ các mốc		TT	Tên mốc	Tọa độ các mốc	
		X(m)	Y(m)			X(m)	Y(m)
1	A	2.328.025,973	453.241,159	7	6	2.328.109,526	453.077,624
2	1	2.328.031,574	453.217,526	8	7	2.328.129,139	453.042,868
3	2	2.328.036,554	453.193,117	9	8	2.328.143,914	453.005,697
4	3	2.328.046,720	453.170,277	10	9	2.328.152,102	453.966,544
5	4	2.328.064,271	453.143,592	11	10	2.328.152,845	453.926,690

6	5	2.328.086,756	453.110,510	12	A1	2.328.147,655	453.887,028

- Đoạn từ B đến B2 có chiều dài 0,341 km, rộng 17 m, tổng số mốc bàn giao là 08 mốc, tọa độ các mốc như bảng 2.2.

Bảng 2.2. Tọa độ mốc giới mặt bằng tuyến B-B2

TT	Tên mốc	Tọa độ các mốc		TT	Tên mốc	Tọa độ các mốc	
		X(m)	Y(m)			X(m)	Y(m)
1	B	2.328.169,477	453.486,209	5	4	2.328.193,520	453.644,210
2	1	2.328.177,118	453.525,430	6	5	2.328.195,550	453.684,127
3	2	2.328.183,758	453.564,812	7	6	2.328.195,774	453.724,126
4	3	2.328.188,201	453.604,565	8	B2	2.328.194,508	453.769,513

Lần 2 bàn giao mặt bằng tuyến A-A2, A-B, B-B1 vào ngày 30/6/2021. Theo Biên bản làm việc ngày 30/6/2021 về việc bàn giao mặt bằng thi công đoạn đường A-A2, A-B, B-B1 thuộc Phương án Cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn mặt bằng, mốc giới các đoạn này giao cho Nhà thầu như sau:

Đoạn A-A2 chiều dài 0,275 km, A-B-B1 có chiều dài 0,555 km, chiều rộng các đoạn 17 m, tổng số mốc bàn giao là 4 mốc, tọa độ các mốc như bảng 2.3.

Bảng 2.3. Tọa độ mốc giới mặt bằng các tuyến A-A2, A-B-B1

TT	Tên mốc	Tọa độ các mốc	
		X(m)	Y(m)
1	A	2.328.026,0	453.241,2
2	A2	2.32.7965,4	452.984,0
3	B	2.328.169,5	453.486,2
4	B1	2.328.129,1	453.042,9

Lần 3 - sau khi thiết kế điều chỉnh được duyệt, bàn giao mặt bằng tuyến A-B; B-B2; B2-C vào ngày 01/4/2022. Theo Biên bản làm việc ngày 01/4/2022 về việc bàn giao mặt bằng thi công đoạn đường A-B; B-B2; B2-C thuộc Phương án Cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn mặt bằng, mốc giới các đoạn này giao cho Nhà thầu như sau:

- Đoạn từ A-B có chiều dài 0,244 km, chiều rộng các tuyến 17 m, tổng số mốc bàn giao là 03 mốc, tọa độ các mốc như bảng 2.4.

Bảng 2.4. Tọa độ mốc giới mặt bằng tuyến A-B

TT	Tên mốc	Tọa độ các mốc	
		X(m)	Y(m)

TT	Tên mốc	Tọa độ các mốc	
		X(m)	Y(m)
1	A	2.328.026,0	453.241,2
2	1	2.328.089,2	453.368,6
3	B	2.328.169,5	453.486,2

- Đoạn từ B-B2 có chiều dài 0,341 km, chiều rộng các tuyến 17 m, tổng số mốc bàn giao là 03 mốc, tọa độ các mốc như bảng 2.6.

Bảng 2.5. Tọa độ mốc giới mặt bằng tuyến B-B2

TT	Tên mốc	Tọa độ các mốc	
		X(m)	Y(m)
1	B	2.328.169,5	453.486,2
2	2	2.328.190,3	453.628,6
3	B2	2.328.194,5	453.769,5

- Đoạn từ B2-C có chiều dài 0,711 km, chiều rộng các tuyến 15÷17 m, tổng số mốc bàn giao là 05 mốc, tọa độ các mốc như bảng 2.6.

Bảng 2.6. Tọa độ mốc giới mặt bằng tuyến B-B2

TT	Tên mốc	Tọa độ các mốc	
		X(m)	Y(m)
1	B2	2.328.194,5	453.769,5
2	3	2.328.165,5	453.944,6
3	4	2.328.095,3	454.087,8
4	5	2.327.989,0	454.255,8
5	C	2.327.833,4	454.329,6

2.1.1.2. Đánh giá công tác chuẩn bị mặt bằng thi công

- Về thời gian bàn giao: Công ty Cổ phần than Cao Sơn - TKV đã thực hiện phù hợp với tiến độ và điều kiện thực tế khu vực thi công;

- Về mặt bằng các đoạn tuyến: Mặt bằng thi công là đường hiện đang sử dụng của mỏ, được thi công bằng công nghệ truyền thống. Qua quá trình sử dụng mặt đường đã xuống cấp, một số khu vực chưa san phẳng như thiết kế Phương án;

- Về các thông số tuyến đường trước khi thi công: Phần lớn các thông số như chiều dài, độ dốc dọc đảm bảo như thiết kế. Tuy nhiên, kích thước mương

dọc tại một số vị trí chưa được khơi thông, độ dốc ngang đường nhỏ. Cá biệt có khu vực từ điểm B2 đến km0+600 trên đoạn B2-C chiều rộng nền đường chỉ đạt 15÷16 m, khi thi công phải vừa thi công mặt vừa mở rộng đường.

2.1.2. Theo dõi, đánh giá quá trình chuẩn bị bãi tập kết nguyên, vật liệu, phương tiện và nhân lực thi công, cung cấp điện nước

Ngày 06/5/2021, Công ty cổ phần than Cao Sơn - TKV đã bàn giao mặt bằng để Công ty TNHH INFRASOL lắp đặt trạm nghiền đá và các bãi tập kết vật liệu, phục vụ công tác thi công theo hợp đồng.

Bãi tập kết thiết bị máy móc, phụ gia được đặt tại, một phần khối lượng CPĐD-M và Trạm nghiền được bố trí tại khu vực chân bãi thải Khe Chàm III, gần điểm A1 (tọa độ X: 2.328.167÷2.328.244; Y: 452790÷452.885 - Hệ toạ độ VN2000, kinh tuyến trục 107°45", múi chiếu 3°). Toàn cảnh mặt bằng xem hình 2.1.



Hình 2.1. Nhà thầu tổ chức xúc dọn mặt bằng trạm nghiền CPĐD-M và bãi tập kết

Phần khối lượng CPĐD-M còn lai được tập kết ở hai bãi chứa tại tầng +20 trong khai trường mỏ (hình 2.2).



Hình 2.2. Hai bãi tập kết CPĐD-M trong khai trường mỏ

Nhìn chung các khu vực tập kết và trạm nghiền được bố trí gần tuyến đường thi công cải tạo, lưu thông thuận lợi và không gian đủ tập kết thiết bị và chứa hết khối lượng 20.172,0 m^3 CPĐD-M.

Các thiết bị thi công đều sử dụng nhiên liệu là dầu diesel, Nhà thầu tự cung cấp bằng xe tải 3 tấn. Nước phục vụ công tác nghiền được trích từ đường ống cấp nước của mỏ tại vị trí gần khu vực mặt bằng đặt trạm nghiền, nước phục vụ thi công mặt đường được Nhà thầu phối hợp với Công ty than Cao Sơn lấy tại chính nguồn nước thải của mỏ bằng xe bồn 16 m^3.

2.1.3. Theo dõi, đánh giá quá trình tập kết phương tiện, máy móc, thiết bị và nhân lực thi công tại hiện trường

Công tác tập kết thiết bị thực hiện theo từng đợt phụ thuộc tiến độ thi công phương án. Từ ngày 30/5/2021 Công ty TNHH INFRASOL đã tập kết thiết bị để triển khai thi công. Một số thiết bị tập kết tại bãi xem hình 2.3, số lượng thiết bị tập kết trong toàn bộ quá trình thi công xem bảng 2.7.





Hình 2.3. Tập kết trạm nghiền CPĐD-M và các thiết bị thi công

Bảng 2.7. Thiết bị phục vụ thi công Phương án

TT	Loại thiết bị và đặc điểm thiết bị	Đơn vị tính	Số lượng	
			Theo HĐ	Thực tế
1	Máy rải cấp phối đá dăm 50÷60 m^3/h	cái	1	1
2	Ô tô tự đổ > 10 tấn	cái	3	2
3	Máy lu bánh thép > 10 tấn	cái	1	1
4	Ô tô chở nước > 16 m^3	cái	1	1
5	Máy đầm rung tự hành > 20 tấn	cái	1	1
6	Máy lu bánh hơi > 18 tấn	cái	1	1
7	Ô tô tưới phụ gia > 10 m^3	cái	1	2
8	Máy thổi bụi 20 m^3/h	cái	1	0
9	Máy đầm đất cầm tay	cái	2	0
10	Trạm nghiền đá > 75 tấn/giờ	cái	1	1
11	Máy cào bóc tái sinh công suất > 560 HP	cái	1	1
12	Máy rải xi măng > 16 m^3	cái	1	1
13	Xe bồn chở phụ gia > 12 m^3	cái	1	1
14	Máy san > 108 CV	cái	1	1
15	Lu rung chân cừu, lực rung 25÷35 tấn	cái	1	1
16	Lu rung 1 bánh thép, lực rung 25÷35 tấn	cái	1	1
17	Lu rung 2 bánh thép 12 tấn	cái	1	0
18	Máy thủy bình	cái	1	1

Nhân lực Nhà thầu bố trí quản lý và thi công Phương án xem bảng 2.8.

Bảng 2.8. Nhân lực quản lý, thi công Phương án

TT	Vị trí công việc	Số lượng, người	
		Theo HĐ	Thực tế
1	Chỉ huy trưởng	1	1
2	Đội trưởng thi công	1	1

3	Giám sát, kỹ thuật, chất lượng KCS	1	1
4	Kỹ thuật thi công	1	1
5	Cán bộ phụ trách đảm bảo an toàn giao thông, môi trường	1	1
6	Cán bộ phụ trách thanh toán	1	1
7	Công nhân kỹ thuật	20	20
	Tổng	**26**	**26**

Từ bảng 2.7 và bảng 2.8 cho thấy Nhà thầu đã bố trí tương đối đầy đủ phương tiện, máy móc, thiết bị đảm bảo chất lượng và nhân lực đáp ứng yêu cầu để thi công Phương án.

2.1.4. Theo dõi, đánh giá quá trình đặt các bảng hiệu biển báo, báo hiệu phạm vi thi công

Trước khi tiến hành thi công Phương án Nhà thầu bố trí cắm cọc tiêu biển báo nhằm đảm bảo an toàn giao thông khu vực thi công. Số lượng bảng hiệu, biển báo đúng và đủ theo hợp đồng đã ký (bảng 2.9), một số biển báo cọc tiêu, dải phản quang trên công trường xem hình 2.4. Ngoài ra, Nhà thầu còn cắm bổ sung các biển báo hiệu vị trí khu vực thi công Phương án tại các điểm đầu và cuối tuyến đường (hình 2.5).

Bảng 2.9. Số lượng bảng hiệu, biển báo phục vị công tác đảm bảo giao thông

TT	Danh mục thiết bị, nhân lực đảm bảo an toàn giao thông	Đơn vị	Số lượng	
			Theo HĐ	Thực tế
1	Dải phản quang	m	400	400
2	Cọc thép D50 dài 1,3 m, dày 3 mm	cái	150	150
3	Bê tông M150- trụ tiêu	m^3	1,836	1,836
4	Biển tròn D = 0,9 m	cái	2	2
5	Biển tam giác D = 0,7 m	cái	6	6
6	Biển báo 440 KT (80×30) 2 cột	cái	2	2
7	Biển báo công trường 441 (KT 260×180) 2 cột	cái	2	2



Hình 2.4. Cọc tiêu biển báo, rải phản quang đặt tại vị trí thi công Phương án



Hình 2.5. Biển báo khu vực thi công Phương án

2.1.5. Theo dõi, đánh giá quá trình sản xuất, chế tạo CPDD-M

2.1.5.1. Theo dõi thi công công tác nghiền và vận chuyển CPĐD-M

1. Chức năng của vật liệu CPDD-M

Chức năng chính của CPDD-M là tạo ra lớp mặt của đường có sức kháng lăn nhỏ, thân thiện với sự di chuyển của xe. Trong kết cấu áo đường, thì CPDD-M đóng vai trò lớp bảo trì và không đưa vào tính toán kết cấu. Theo đó, vật liệu CPDD-M phải đảm bảo cho khả năng dễ thi công, khắc phục và hạn chế các hư hỏng và dễ dàng thay thế, sửa chữa, nâng cấp khi cần bảo trì mặt đường. Để làm được điều này, CPDD-M phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật quy định tại Bảng 2.10 và Hình 2.6.

2. Công tác nghiền và vận chuyển CPĐD-M

Công tác nghiền đá được nhà thầu thuê đơn vị thi công là Công ty LICOGI 16. Tổ hợp các thiết bị gồm 5 máy, theo thứ tự kết nối như sau: Một máy nghiền hàm MC110Z EVO, một máy nghiền côn MCO9 EVO, một máy sàng MS703 EVO. Thiết bị phụ trợ gồm 01 máy xúc thủy lực dung tích gàu 1,2 m^3 để xúc đá cấp liệu và 01 máy xúc lật để chất đống và xúc lên xe tải vận chuyển hình 2.7.



Hình 2.7. Hệ thống nghiền sàng CPĐD-M lắp đặt tại mỏ Cao Sơn

Thông số kỹ thuật cơ bản của các thiết bị trong hệ thống nghiền sàng như sau:

1. Máy nghiền sàng đá KLEEMANN MC 110 Z EVO - Dòng Mobicat loại hàm nhai: Công suất nghiền 330 tấn/h; Kiểu dẫn động trực tiếp từ động cơ; Cửa vào bộ phận nghiền rộng × sâu = 1.100 × 700 mm; Trọng lượng vận chuyển: 39.500 kg.

2. Máy nghiền sàng đá KLEEMANN MCO 9 EVO - Mobicone loại hàm côn: Công suất nghiền 270 tấn/h; Kiểu dẫn động trực tiếp từ động cơ; Kích thước hàm côn d = 970 mm; Trọng lượng vận chuyển: 30 000 kg.

3. Máy sàng đá KLEEMANN MS 703 EVO - Mobiscreen Loại di động: Công suất nghiền 350 tấn/h; Bộ phận sàng loại sàng rung 3 cấp; Sàng trên cùng rộng × Dài = 1.550 × 4.500 mm.

Sau khi san gạt mặt bằng, lắp đặt trạm nghiền và tập kết đá, ngày 12/5/2021 Nhà thầu bắt đầu thực hiện công tác nghiền CPĐD-M. Do dung tích bãi chứa tại khu vực nghiền sàng không đủ, từ ngày 19/5/2021 Nhà thầu tiến hành vận chuyển CPĐD-M từ bãi chứa khu vực nghiền sàng đến bãi chứa mức +20 trong khai trường mỏ. Công tác vận chuyển được thực hiện bằng ô tô tự đổ tải trọng 20 tấn hình 2.8



Hình 2.8. Thiết bị xúc bốc vận tải CPĐD-M

2.1.5.2. Đánh giá chất lượng sản phẩm nghiền

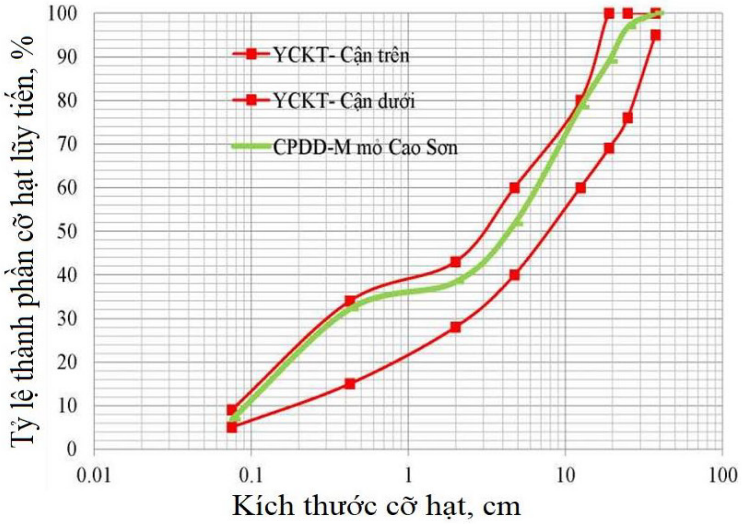
Kích thước, thành phần cỡ hạt và chiều dày cỡ hạt CPĐD-M được thiết kế theo hướng dẫn sách "Đường vận tải mỏ: lý thuyết và thực hành" của tác giả Roger Thompson biên soạn do nhà xuất bản CRC Press/Balkema xuất bản.

Với mục đích tạo ra mặt đường mỏ thân thiện với xe vận tải, CPĐD-M phải có kích thước hạt đá dăm lớn nhất D_{max} = 40 mm. Với D_{max} = 40 mm, kích thước không đủ lớn để gây hiện tượng chém lốp, ổ gà trên mặt đường. Ngoài ra, việc bảo trì sửa chữa mặt đường sau khi đưa vào khai thác với kích thước D_{max} = 40 mm cũng sẽ trở nên dễ dàng hơn.

Tỷ lệ thành phần cỡ hạt CPĐD sử dụng với đường mỏ theo hướng dẫn kỹ thuật của Roger J. Thompson và thành phần cỡ hạt CPĐD-M sản suất tại Cao Sơn xem bảng 2.11, hình 2.9.

Bảng 2.11. Thành phần hạt của CPĐD theo Roger Thompson

TT	Kích cỡ lỗ sàng vuông, mm	Tỷ lệ lọt qua sàng, %	
		Yêu cầu KT	CPĐD-M sản xuất tại Cao Sơn
1	40	95-100	100,0
2	25	76-100	88,9
3	19,0	69-100	76,6
4	12,5	60-80	66,3
5	4,75	40-60	53,4
6	2,00	28-43	37,3
7	0,425	15-34	23,4
8	0,075	5-9	9,2

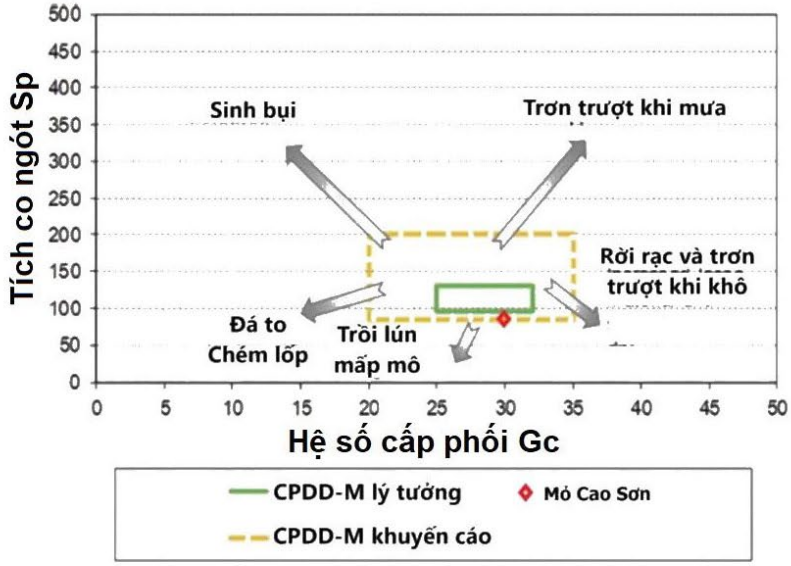


Hình 2.9. Thành phần cỡ hạt của CPĐD-M sản xuất tại Cao Sơn

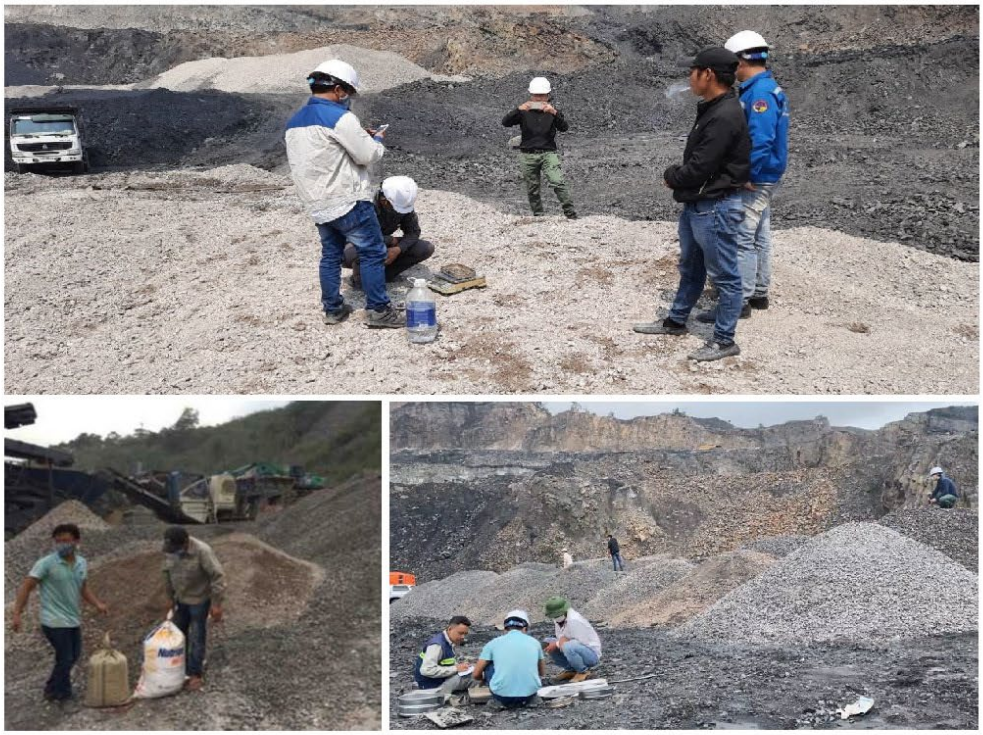
CPĐD-M tại Cao Sơn được sản xuất trên dây chuyền thiết bị hiện đại Kleemann, đá để nghiền được lấy tại nguồn tại chỗ trên các tầng của mỏ. Đá gồm chủ yếu hai loại cát kết màu vàng và đen. Sản phẩn đầu ra được lấy mẫu định kỳ (hình 2.11). Tổng hợp các chỉ tiêu kỹ thuật của CPĐD-M sản xuất thực tế được trình bày trong bảng 2.12 và hình 2.10 (chi tiết xem phần Phụ lục).

Bảng 2.12. Chỉ tiêu kỹ thuật CPĐD-M sản xuất tại Cao Sơn

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Tiêu chuẩn CPĐD-M		CPĐD-M Mỏ Cao Sơn	Phương pháp thí nghiệm
		Cận dưới	Cận trên		
1	D_{max}, mm	40		< 40 mm	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
2	Hệ số cấp phối Gc	20	35	30	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
3	Tích co ngót Sp	85	200	85	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
5	Giới hạn chảy (LL), %	17	24	21	AASHTO T89-T90/ TCVN 4197: 2012
6	Giới hạn dẻo (PL), %	12	17	16	AASHTO T89-T90/ TCVN 4197:2012
7	Chỉ số dẻo (PI), %	4	8	5	AASHTO T89-T90/ TCVN 4197: 2012
8	Tỷ lệ bụi, DR	0,4	0,6	0,4	AASHTO T27 /TCVN 7572-2: 2006
9	CBR ngâm ở độ chặt Proctor cải tiến 98% , %	> 80		85	AASHTO T193/TCVN 12790: 2020



Hình 2.10. CPĐD-M tại mỏ Cao Sơn



Hình 2.11. Lấy mẫu kiểm tra độ ẩm và phân tích thành phần cỡ hạt CPĐD-M

Từ bảng 2.12 cho thấy CPĐD-M sản xuất tại mỏ Cao Sơn đều có các chỉ tiêu từ 01 đến 09 đều đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Hhình 2.10 cho thấy CPDD-M (hình thoi màu đỏ) nằm trong hình chữ nhật nét đứt. Theo Roger Thompson, thì

đây là vùng giới hạn khuyến cáo cho các vật liệu làm lớp mặt đường vận chuyển tránh gây ra những hư hỏng làm xuống cấp mặt đường cũng như làm tăng nhanh sức cản lăn.

- Đánh giá kích thước vật liệu và chiều dày lớp CPĐD-M: Các kết quả phân tích và thực tế theo dõi thi công cho thấy:

+ Về kích thước hạt đá dăm của CPĐD-M: CPĐD-M sản xuất tại Cao Sơn phù hợp với hướng dẫn của R. Thompson và đạt tiêu chuẩn thiết kế trong Phương án. Tuy nhiên, trong điều kiện mưa nhiệt đới, vật liệu CPĐD-M dễ bị chảy nhão, trơn trượt nếu như hệ thống thoát nước không được thiết kế đồng bộ, đúng quy cách.

+ Về chiều dày lớp CPĐD-M: Mục đích của CPĐD-M trong kết cấu áo đường là sử dụng làm lớp bảo trì và không tính vào kết cấu. Do vậy, chiều dầy của lớp CPDD-M được thiết kế theo cấu tạo. Theo đó, đối với đường tạm thời, chiều dầy là 100 mm và đối với đường cố định/bán cố định, chiều dầy là 200mm. Lưu ý, chiều dầy này là chiều dầy sau khi lu lèn.

2.1.6. Theo dõi, đánh giá đoạn thi công thí điểm CPDD-M

2.1.6.1. Quá trình thi công đoạn thí điểm

Ngày 03/6/2021 Nhà thầu phối hợp với Công ty than Cao Sơn lựa chọn vị trí tại 1/2 đường phía bên trái tuyến A-A1 từ Cọc 3 km0+55 đến Cọc 8 km0+160 có chiều dài 125 m để thi công thí điểm. Các công việc thí điểm chính bao gồm:

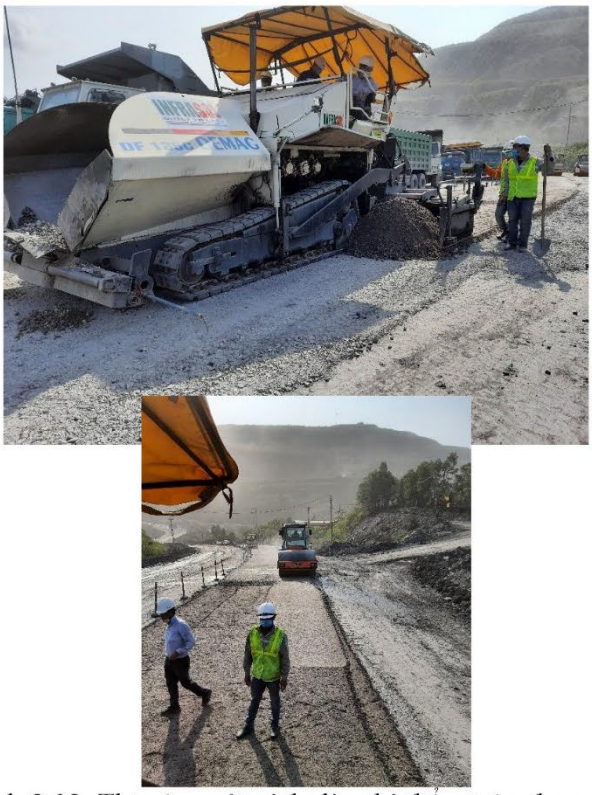
- Xúc bốc, vận chuyển CPĐD-M từ bãi tập kết đến vị trí thi công bằng máy xúc thủy lực và ô tô tự đổ;

- Bù vênh các khu vực lồi lõm đồng thời thi công lớp 1 có chiều dày 10 cm, tổng chiều dày CPĐD-M từ 10÷25 cm bằng máy rải đá (hình 2.12);

- Lu lèn lớp 1 đến độ chặt yêu cầu đồng thời lấy mẫu xác định độ chặt, độ ẩm tối ưu;

- Rải lớp 2 có chiều dày 15 cm bằng máy rải;

- Lu lèn lớp 2 với độ ẩm tối ưu đã xác định (hình 2.12);



Hình 2.12. Thi công rải và lu lèn thí điểm trên đoạn A-A1

- Chuẩn bị mặt bằng tưới phụ gia khử bụi bằng 2 phương pháp: cày xới 5-10 cm bằng máy san và rải lớp CP-M 5-7 cm bằng máy rải (hình 2.13);





Hình 2.13. Chuẩn bị mặt bằng thi công tưới phụ gia khử bụi

- Tưới phụ gia thí điểm và lu lèn sau khi tưới (hình 2.14).



Tưới phụ gia



Lấy mẫu Phụ gia khử bụi



Định lượng Phụ gia

Hình 2.14. Tưới và lấy mẫu định lượng phụ gia khử bụi

2.1.6.2. Đánh giá Báo cáo tổng kết đoạn thi công thí điểm

Quá trình thi công thí điểm rút ra một số kinh nghiệm sau:

- Để đạt được độ chặt thiết kế thì chiều dày mỗi lớp CPĐD-M từ 10÷25 cm, lu lèn 10÷15 lượt bằng máy lu rung bánh thép, lực rung 25÷35 tấn với độ

ẩm tối ưu 6÷8 %. Mặt đường có thể đưa vào sử dụng ngay sau khi lu lèn.

- Công tác san rải bằng máy rải cấp phối có ưu điểm là: số lần rải ít; chiều dày các lớp CPĐD-M chuẩn xác theo thiết kế, kiểm soát độ lệch tới cm; độ đồng đều của CPĐD-M tối ưu. Tuy nhiên, cũng nảy sinh nhiều bất cập đó là: mặt đường hiện trạng của mỏ không bằng phẳng nên quá trình rải mất nhiều thời gian cho công tác căn chỉnh độ dày lớp cấp phối; tiến độ thi công chậm.



Hình 2.15. Lu lèn sau khi tưới thí điểm phụ gia

- Phụ gia khử bụi hóa cứng mặt đường khi tưới trực tiếp lên bề mặt CPĐD-M đã lu lèn để tránh hiện tượng trôi cần tưới với mật độ < 0,3 kg/m^2. Với mật độ 1 kg/m^2 như thiết kế cần phải làm tơi lớp CPĐD-M mặt đường với chiều dày 3÷5 cm trước khi tưới. Để có bề mặt tơi vụn trước khi tưới Nhà thầu thí điểm hai phương pháp cày xới 5÷7 cm bằng máy san bánh lốp của mỏ và rải lớp CPĐD-M 5÷7 cm bằng máy rải. Công tác lu lèn hoàn thiện thực hiện sau khi tưới phụ gia một ngày để phụ gia có thời gian ngấm hết.

Các thông số thi công đoạn thì điểm được tổng hợp trong bảng 2.13.

Bảng 2.13. Thông số thi công đoạn thí điểm

TT	Tông số	Đơn vị	Giá trị		Ghi chú
			Thiết kế	Thực tế	
1	Chiều rộng đường thí điểm (1/2 chiều rộng đường)	m	8,5	8÷10	
2	Chiều dày lớp CPĐD-M	cm	25	25÷40	
3	Tưới phụ gia khử bụi bằng phương pháp: cày xới 5-7 cm bằng máy san bánh lốp của mỏ	kg/m^2	1,0	1,0	
4	Tưới phụ gia khử bụi bằng phương pháp: rải lớp CPĐD-M 5-7 cm bằng máy rải	kg/m^2	1,0	1,0	

Nhận xét: Chiều rộng 1/2 nền đường thi công thí điểm thay đổi theo điều kiện thực tế để phù hợp với công tác điều phối giao thông. Chiều dày lớp CPĐD-M thực tế lớn hơn thiết kế do mặt nền đường không bằng phẳng, phải bù vênh nhiều (trung bình 20 cm). Kết quả thi công thí điểm tưới phụ gia khử bụi cho thấy cả hai phương pháp các thông số đều đạt thiết kế. Tuy nhiên, tưới bằng phương pháp cày xới bằng máy san thi công thuận lợi hơn trong khi phương pháp rải lớp CPĐD-M 5-7 cm làm phát sinh CPĐD-M, lu lèn khó khăn do vật liệu dính bết.

2.2. THEO DÕI, ĐÁNH GIÁ QUÁ TRÌNH THI CÔNG

2.2.1. Theo dõi, đánh giá quá trình thi công cho đường tạm thời B2-C

Theo đề xuất điều chỉnh kết cấu, so với thiết kế ban đầu, kết cấu đoạn đường tạm thời B2-C có thay đổi như sau: bổ sung thêm lớp móng bằng CPĐD-B có chiều dày 25-40cm, giảm chiều dày lớp CPĐD-M xuống còn 10 cm. Các đoạn yếu cục bộ vẫn được bóc bỏ với chiều dày ≥ 50 cm tùy khu vực tương tự như thiết kế ban đầu.

2.2.1.1. Theo dõi thi công rải lớp CPĐD

1. Theo dõi, đánh giá việc san rải lớp CPĐD-B

Vật liệu CPĐD-B chọn lọc từ đất đá nổ thải của mỏ, chỉ tiêu chất lượng chính lớp CPĐD-B như sau: D_{max} = 130-150 mm với cấp phối không quá 20 % lượng hạt lọt qua sàng 2 mm, các chỉ tiêu khác trình bày trong bảng 2.19.

Bảng 2.14. Các chỉ tiêu cơ lý yêu cầu của vật liệu CPĐD-B

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Yêu cầu kỹ thuật	Phương pháp thí nghiệm
1	Lượng lọt sàng 2 mm, %	< 20 %	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
2	Khối lượng thể tích, g/cm^3	> 2	AASHTO T85/ TCVN 7572-4: 2006
3	Cường độ nén dọc trục nở hông, MPa	100	TCVN 7572-10: 2006
4	Hệ số mài mòn Los Angeles, %	< 20 %	AASHTO T96/ TCVN 7572-12: 2006
5	Hàm lượng hạt mềm yếu phong hóa	< 1 %	TCVN 7572- 17: 2006
6	Đường kính danh định lớn nhất, D_{max}	< 2/3 chiều dày lớp thi công	

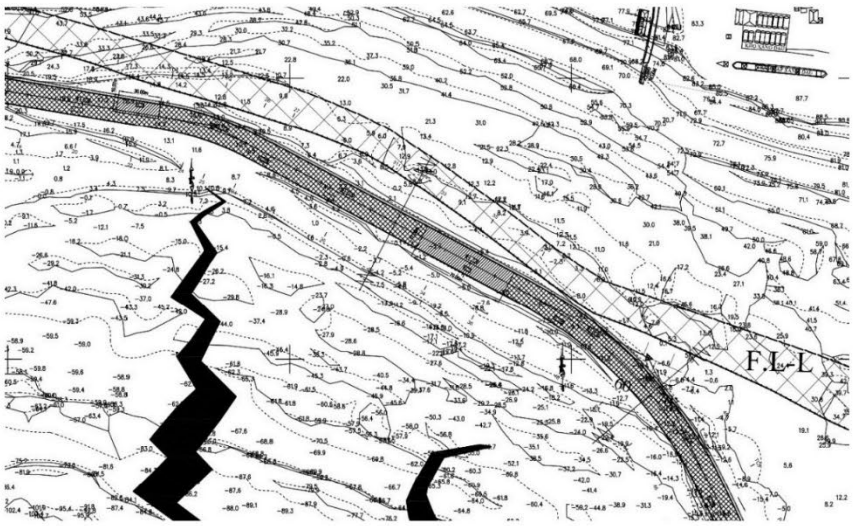
Sau khi Thiết kế điều chỉnh Phương án được duyệt, từ ngày 05/3/2022 Nhà thầu tổ chức tập kết và lọc CPĐD-B đảm bảo tiêu chuẩn thiết kế, ngày 01/4/2022 bắt đầu thi công rải và lu lèn lớp CPĐD-B.

Công tác tập kết CPĐD-B được Nhà thầu phối hợp với Công ty than Cao Sơn xúc chọn lọc tại mỏ bằng máy xúc của Cao Sơn, vận tải bằng ô tô tải tự đổ của Nhà Thầu. Công tác lọc đá được thực hiện tại bãi tập kết bằng máy xúc TLGN của Nhà thầu.

Công tác rải lớp CPĐD-B trên đoạn B2-C được thực hiện bằng công nghệ sử dụng máy gạt chia 1 lớp có chiều dày 25÷35 cm, thi công từ ngày 11/4 đến 23/4/2022 sau khi rải đoạn B-B2 (hình 2.16). Quá trình theo dõi thi công cho thấy chiều dày lớp CPĐD-B thực tế thi công nhiều khu vực lớn hơn thiết kế do phải bù vênh tạo độ phẳng mặt đường hiện hữu. Ngoài ra, trên đoạn B2-C tồn tại một khu vực có chiều dài 30 m (từ Km0+770 đến Km0+800) có nền không ổn định, nguyên nhân được nhận định do đoạn này chạy qua đới phá hủy của đứt gãy F.L-L (hình 2.17). Mặt khác, phía dưới là đầu vỉa 13-1 đã khai thác tới mức -160 có bờ mỏ cao dẫn tới sự dịch chuyển toàn bờ, co hẹp mặt tầng vận tải.



Hình 2.16. Thi công CPĐD-B trên đoạn B2-C



Hình 2.17. Khu vực xảy ra hiện tượng sạt trượt mặt tầng

2. Theo dõi, đánh giá công tác lu lèn CPĐD-B

Cấp phối sau san được lu lèn bằng máy lu rung một bánh thép trơn tải trọng 25 tấn. CPĐD-B được lu lèn khô (không tưới ẩm), số lượt lu 7÷10 lượt. Sau khi lu đưa vào sử dụng để tiếp tục lèn chặt bằng ô tô của mỏ (hình 2.16).

Khi thi công qua đoạn có nền không ổn định trên Nhà thầu đã phải sửa chữa nhiều lần bằng cách đổ bù CPĐD-B và cho lưu thông xe để lu lèn đảm bảo độ chặt, Công ty than Cao Sơn cũng đã tổ chức cho thiết bị mỏ vào xúc mở rộng mặt tầng, đảm bảo chiều rộng thiết kế.

Quá trình lu lèn với sơ đồ lu trên cho thấy lớp CPĐD-B sau khi lu lèn sơ bộ độ chặt vật liệu chưa đạt thiết kế, khi thông xe vẫn tồn tại vệt lún bánh xe 2÷3 cm, sau 2 ngày lưu thông, lớp móng ổn định, không xuất hiện thêm biên dạng.

3. Theo dõi, đánh giá việc san rải lớp CPĐD-M

Sau khi thông xe để móng CPĐD-B ổn định độ lún và đạt cường độ thiết kế (E ≥ 130 MPa) ngày 18 và 19/5/2022, Nhà thầu tổ chức rải CPĐD-M trên toàn tuyến B2-C. Công tác san rải CPĐD-M với chiều dày 10 cm như thiết kế được thực hiện bằng máy san (hình 2.18), tổ chức thi công thành một lớp.



Hình 2.18. San rải CPĐD-M trên đoạn B2-C

Công tác san rải trên đoạn này tương đối thuận lợi do mặt nền là lớp CPĐD-B có độ phẳng và độ chặt như thiết kế, không phát sinh lượng cấp phối cho công tác bù vênh. Thông số thi công trên đoạn tạm thời B2C xem bảng 2.15 dưới đây:

Bảng 2.15. Các thông số thi công đoạn tạm thời B2-C

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị		Ghi chú
			Thiết kế	Thực tế	
1	Chiều rộng đường, m	m	17,0	17	
2	Chiều dày lớp CPĐD-B	cm	25	25÷35	
3	Chiều dày lớp CPĐD-M	cm	10	10	
4	Độ phẳng		Mặt phẳng tuyệt đối	Mặt đường hiện có	
5	Độ dốc dọc	%	0,81÷ 8,00	0,80÷ 8,00	
6	Độ dốc ngang	%	3	3÷4	

Nhận xét: Sau khi Công ty than Cao Sơn tổ chức xúc dọn, mặt bằng tuyến đường được mở rộng như thiết kế; Chiều dày lớp CPĐD-B thực tế lớn hơn thiết kế do mặt nền không bằng phẳng, phải bù vênh nhiều; Chiều dày lớp CPĐD-M do được rải trên lớp móng CPĐD-B đã được lu lèn bằng phẳng nên tương đối đồng đều, ít phát sinh khối lượng bù vênh. Mặt bằng nền đường chủ đầu tư giao nhà thầu là mặt đường hiện có, biên độ lồi lõm thường từ 5÷7 cm, cá biệt có những ổ gà lõm 10÷20 cm. Sau khi thi công đạt độ phẳng theo thiết kế; Khi hoàn thiện các thống số dốc dọc, dốc ngang đạt so với thiết kế.

4. Theo dõi, đánh giá công tác lu lèn CPĐD-M

Sau ki san phẳng bằng máy san, lớp CPĐD-M được lu lèn với sơ đồ lu tương tự như khi thi công thí điểm trên đoạn A-A1 với máy lu rung một bánh thép lực rung 25÷30 tấn, lu 10÷15 lượt có tưới ẩm. Sau khi lu lèn hoàn thiện, độ chặt mặt đường được kiểm tra, đánh giá bằng thí nghiệm DCP, kết quả thí nghiệm xem bảng 2.16.

Bảng 2.16. Tổng hợp kết quả đo DCP đoạn B2-C

TT	Vị trí	CBR hiện trường - quy đổi từ kết quả thí nghiệm DCP theo ASTM D6951/D6951M, %	Ghi chú
1	Điểm 01	100	CBR yêu cầu cho đường mỏ tại một số nước có nền công nghiệp mỏ phát triển trên thế giới: > 80 %
2	Điểm 02	100	
3	Điểm 03	100	
4	Điểm 04	100	
5	Điểm 05	100	
6	Điểm 06	100	

TT	Vị trí	CBR hiện trường - quy đổi từ kết quả thí nghiệm DCP theo ASTM D6951/D6951M, %	Ghi chú
7	Điểm 07	100	
8	Điểm 08	100	

Kết quả thí nghiệm tại cho thấy chỉ số CBR hiện trường - quy đổi từ kết quả thí nghiệm DCP theo tiêu chuẩn ASTM D6951/D6951M đạt 100 % vượt yêu cầu thiết kế (> 80 %).

5. Theo dõi, đánh giá kiểm tra cao độ, độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ dốc dọc, độ ẩm, độ đồng đều của vật liệu CPĐD

Các thông số kích thước (cao độ, độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ dốc dọc...) trong quá trình san rải được căn chỉnh trực tiếp từ máy rải đá bằng các mốc cao và thước bố trí trên máy (hình 2.19). Đối với công nghệ rải CPĐD-M bằng máy san, chiều dày lớp cấp phối được định lượng sơ bộ dựa trên diện tích dự kiến thi công, sử dụng ô tô có dung tích thùng 16 m^3 đổ khối lượng cấp phối đã xác định lên toàn bộ diện tích thi công sau đó san phẳng bằng máy san. Sau khi lu lèn các thông số này được kiểm tra lại bằng thước. Trước và sau khi thi công các thông số kích thước được kiểm tra bằng máy thủy bình và thước thẳng (hình 2.20) trong suốt quá trình san rải, lu lèn các lớp CPĐD.



Hình 2.19. Mốc cao và thước trên máy rải



Hình 2.20. Kiểm tra, hiệu chỉnh các thông số kích trước trong quá trình thi công

Độ ẩm được kiểm soát từ bãi chứa bằng cách sử dụng ô tô chở nước tưới trự tiếp lên bãi đồng thời thí nghiệm độ ẩm tại hiện trường (hình 2.21) đảm bảo luôn đạt độ ẩm tối ưu 6÷8 % trước khi san rải. Sau khi san rải lu lèn sơ bộ nếu độ ẩm không đạt yêu cầu sẽ sử dụng ô tô tưới bổ sung trước khi lu lèn hoàn thiện (hình 2.22). Độ đồng đều của vật liệu CPĐD-M được kiểm soát bằng bộ phận nhào chộn của máy rải và kiểm tra bằng thí nghiệm hiện trường tương tự như khi thi công các đoạn trước, chi tiết trình bày trong Mục 2.2.4.4.



Hình 2.21. Thí nghiệm xác định đổ ẩm tại bãi chứa CPĐD-M



Hình 2.22. Tưới nước bổ sung trước khi lu lèn hoàn thiện

2.2.1.2. Thi công rãnh thoát nước

Theo hợp đồng đã ký, phần thoát nước dọc đường do Công ty Cổ phần than Cao Sơn - TKV thực hiện. Trước khi bàn giao mặt bằng các đoạn tuyến, Công ty Than Cao Sơn đã tổ chức thi công rãnh dọc hai bên đường bằng máy xúc TLGN của mỏ, đất đá đào mương được sử dụng để đắp bờ bao phía bên trong đất đá thừa xúc lên xe tải đổ bãi thải. Thời điểm hoàn thiện (tháng 5/2022) trên đoạn B2-C Công ty than Cao sơn xây dựng hai hệ thống rãnh dọc song song nhau. Rãnh chính thoát nước cho cả khu vực các tầng phía trên có chiều rộng đáy 1,0÷1,5 m bờ trong là sườn tầng khai thác, bờ ngoài là đê bao được đắp bằng vật liệu xúc từ rãnh, ngoài đê bao là rãnh biên thoát nước cho mặt đường có kích thước đáy 0,4÷0,5 m cao 0,4÷0,6 m. Cứ mỗi đoạn 50÷100 m lại để một rãnh ngang thoát nước từ rãnh biên sang mương chính. Công tác thi công và rãnh hoàn thiện xem hình 2.23. Kết quả theo dõi cho thấy, thông số rãnh tại thời điểm hoàn thiện toàn bộ tuyến đường đạt và vượt so với thiết kế.



Hình 2.23. Thi công mương dọc và mương hoàn thiện trên tuyến B2-C

2.2.2. Đoạn đường bán cố định A-B1

Đoạn đường A-B1 được chia thành hai đoạn A-B và B-B1. Đoạn B-B1 được rải lớp CPĐD-M có tổng chiều dày ≥ 25 cm chia thành 2 lớp vào ngày 25/7 đến 06/8/2021. Công nghệ thi công sử dụng máy rải cấp phối tương tự như khi thi công giai đoạn 1 đoạn thí điểm, bảo trì sửa chữa mặt đường, mương nước vào tháng 12/2021. Đoạn A-B theo thiết kế ban đầu có kết cấu áo đường là CPĐD-M với chiều dày 25 cm và tưới phụ gia khử bụi tương tự như kết cấu đoạn A-A1. Tuy nhiên quá trình sử dụng đoạn A-A1 cho thấy kết cấu này chưa đạt chất lượng như mong muốn. Vì vậy, Tập đoàn đã chỉ đạo Công ty than Cao sơn phối hợp với tư vấn thiết kế. Theo thiết kế điều chỉnh trên đoạn A-B bổ sung lớp móng CPĐD-B có chiều dày 40 cm bằng vật liệu sẵn có tại mỏ sau đó mới

rải lớp CPĐD-M và tưới phụ gia như thiết kế ban đầu.

2.2.2.1. Công tác nghiền và vận chuyển CPĐD-M

Công tác nghiền và vận chuyển CPĐD-M không tổ chức cùng với việc thi công các đoạn tuyến mà được thực hiện trong một thời điểm (12/5 đến 03/6/2021) cho toàn bộ khối lượng CPĐD-M. Cụ thể xem Mục 2.1.5.1.

2.2.2.2. Theo dõi thi công rải lớp CPĐD

1. Theo dõi, đánh giá thi công lớp CPĐD-B

Công tác san gạt CPĐD-B được thực hiện bằng máy gạt, chia thành 2÷3 lớp với chiều dày mỗi lớp ≤ 20 cm, tổng chiều dày trung bình 40 cm như thiết kế (hình 2.24). Cấp phối sau mỗi lần san được lu lèn bằng máy lu rung một bánh thép trơn tải trọng 25 tấn. CPĐD-B được lu lèn khô (không tưới ẩm), số lượt lu 7÷10 lượt. Sau khi rải và lu đủ độ dày thiết kế tổ chức cho ô tô của mỏ và lưu thông để tiếp tục lèn chặt.



Hình 2.24. San gạt lớp móng CPĐD-B

Quá trình theo dõi thi công lớp CPĐD-B trên tuyến A-B cho thấy sau khi lu lèn sơ bộ để thiết bị của mỏ lưu thông vẫn tồn tại một số khu vực vệt lún bánh xe 2÷4 cm, sau lưu thông 2 ngày lớp nền ổn định và không còn biến dạng trên mặt đường.

2. Thi công rải lớp CPĐD-M

Công tác rải CPĐD-M trên đoạn A-B1 được thực hiện trong ba giai đoạn. Giai đoạn 1 - thi công đoạn B-B1 từ 26/7/2021 đến 08/8/2021 bằng công nghệ rải bằng máy rải cấp phối thành 2 lớp có tổng chiều dày ≥ 25 cm. Giai đoạn 2 - Nhà thầu tiến hành sửa chữa các vị trí hư hỏng trên đoạn B-B1 bằng cách rải lại CPĐD-M với chiều dày 10÷25 cm trên đoạn này vào ngày 02 và 03/01/2022.

Giai đoạn 3 - sau khi thi công CPĐD-B và cho xe lưu thông để đạt cường độ thiết kế, Nhà thầu tổ chức rải CPĐD-M trên đoạn A-B từ ngày 03 đến 04/5/2022. CPĐD-M trong giai đoạn 2 và 3 được tổ chức thi công 1 lớp có chiều dày 25 cm bằng máy gạt (hình 2.25).



Hình 2.25. San rải CPĐD-M trên đoạn A-B

3. Theo dõi, đánh giá công tác lu lèn CPĐD-M

Công tác lu lèn CPĐD-M được thực hiện với sơ đồ lu tương tự như khi lu lèn đoạn thí điểm với máy lu rung bánh thép lực rung 25÷30 tấn, lu 10÷15 lượt có kiểm soát độ ẩm tối ưu 6÷8 %. Sau khi lu lèn hoàn thiện có thể cho xe lưu thông luôn, quá trình xe tải của mỏ chạy qua vệt lún bánh xe dưới 1 cm (hình 2.26).

Độ chặt của lớp áo đường cũng được thí nghiệm bằng phương pháp DCP và thiết bị LWD. Kết quả thí nghiệm độ chặt, mô đun đàn hồi trên đoạn A-B1 xem bảng 2.17 và bảng 2.18, chi tiết xem phần Phụ lục thông số kích thước xem bảng 2.19. Kết quả thí nghiệm độ chặt cho thấy, với sơ đồ lu áp dụng, độ chặt mặt đường đảm bảo như thiết kế.



Hình 2.26. Mặt đường đoạn A-B sau khi lu lèn hoàn thiện

Bảng 2.17. Tổng hợp kết quả đo DCP đoạn A-B1

TT	Vị trí	CBR hiện trường - quy đổi từ kết quả thí nghiệm DCP theo ASTM D6951/D6951M, %	Ghi chú
1	Điểm 01	100	CBR yêu cầu cho đường mỏ tại một số nước có nền công nghiệp mỏ phát triển trên thế giới: > 80 %
2	Điểm 02	100	
3	Điểm 03	100	
4	Điểm 04	100	
5	Điểm 05	100	
6	Điểm 06	100	
7	Điểm 07	100	
8	Điểm 08	100	

Bảng 2.18. Kết quả thí nghiệm đo mô đun đàn hồi bằng thiết bị LWD trên đoạn A-B1

TT		Mô đun biến dạng tĩnh (Static Modulus of Deformation), MPa	Mô-đun biến dạng động (Dynamic Modulus of Deformation), MPa	Ghi chú
1	Điểm 01	388,5	407,2	Hệ số Poisson = 0,3; Đường kính bàn nén
2	Điểm 02	377,8	392,9	
3	Điểm 03	335,0	351,5	
4	Điểm 04	333,3	359,3	
5	Điểm 05	318,0	339,8	

TT		Mô đun biến dạng tĩnh (Static Modulus of Deformation), MPa	Mô-đun biến dạng động (Dynamic Modulus of Deformation), MPa	Ghi chú
6	Điểm 06	318,3	334,6	D = 0,3 m

4. Theo dõi, đánh giá kiểm tra cao độ, độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ dốc dọc, độ ẩm, độ đồng đều của vật liệu CPĐD

Công tác kiểm tra cao độ, độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ dốc dọc, độ ẩm, độ đồng đều của vật liệu CPĐD được thực hiện trong suốt quá trình san rải, lu lèn bằng máy thủy bình và thước thẳng tương tự như khi thi công các đoạn trước. Thông số kích thước xem bảng 2.19.

Bảng 2.19. Các thông số thi công đoạn A-B1

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị		Ghi chú
			Thiết kế	Thực tế	
1	Chiều rộng đường	m	17,0	17÷18	
2	Chiều dày lớp CPĐD-B	cm	40	40÷50	
3	Chiều dày lớp CPĐD-M	cm	25	25÷40	
4	Độ phẳng trước khi thi công		Mặt phẳng tuyệt đối	Mặt đường hiện có	
5	Độ dốc dọc	%	2,96÷ 8,00	2,96÷ 8,00	
6	Độ dốc ngang	%	3	3÷4	

Thông số ở bảng 2.19 cho thấy: Chiều rộng mặt đường có khu vực rộng hơn thiết kế 1 m (ngã ba Điểm B), đoạn này phải thi công mở rộng để tăng mức độ an toàn cho xe quay vòng; Chiều dày CPĐD-B trên đoạn A-B và CPĐD-M trên đoạn B-B1 thực tế lớn hơn thiết kế do mặt nền không bằng phẳng, phải bù vênh nhiều (Đoạn ngã 3 không có hướng thoát nước nên thường xuyên có nước chảy tràn). Sau khi thi công đạt độ phẳng theo thiết kế; Độ dốc dọc thi công đúng thiết kế; Trong giai đoạn đầu độ dốc ngang nhiều khu vực chỉ đạt 0 % không đảm bảo độ dốc thiết kế, khi hoàn thiện độ dốc ngang 3÷4 đạt so với thiết kế.

2.2.2.3. Thi công rãnh thoát nước

Tương tự các đoạn khác, rãnh dọc trên đoạn A-B1 cũng được thi công bằng máy xúc của mỏ. Khi hoàn thiện rãnh có kích thước đáy 0,4÷0,5 m, cao 0,4÷0,6 m như thiết kế.

Quá trình theo dõi thi công rãnh trên đoạn này cho thấy lưu vực thu nước

của đoạn này không lớn, với kích thước rãnh khi hoàn thiện hoàn toàn có thể thoát hết lượng nước khi mưa lớn. Tuy nhiên, khu vực ngã 3 điểm B là vị trí có cao độ nhỏ nhất trên tuyến nhưng rãnh trái tại vị trí này không có hướng thoát nước nên nước chảy tràn trên mặt đường. Hơn nữa, khu vực này tồn tại điểm xuất lộ nước ngầm thường xuyên càng làm tăng lượng nước chảy tràn tại điểm này (hình 2.27). Quá trình thi công lớp CPĐD-M Nhà thầu đã chủ động đào và rải đá kích thước lớn tại ngầm thoát nước và đặt ống thép ngang đường nhưng vẫn không khắt phục được triệt để.



Hình 2.27. Nước ứ đọng và chảy tràn trên tại vị trí ngã ba điểm B

2.2.3. Đoạn đường bán cố định B-B2

2.2.3.1. Công tác nghiền và vận chuyển CPĐD-M

Công tác nghiền và vận chuyển CPĐD-M không tổ chức cùng với việc thi công các đoạn tuyến mà được thực hiện trong một thời điểm (12/5 đến 03/6/2021) cho toàn bộ khối lượng CPĐD-M. Cụ thể xem Mục 2.1.5.1.

2.2.3.2. Theo dõi, đánh giá thi công lớp CPĐD

1. Theo dõi, đánh giá việc san rải

Giai đoạn 1 - Sau khi thi công tuyến B-B1, Nhà thầu tổ chức thi công đoạn B-B2 trên 50 m chiều dài tính từ ngã 3 điểm B về phía điểm B2 trong thời gian từ ngày 04/8 đến ngày 08/8/2021. Công tác rải CPĐD-M được thực hiện bằng công nghệ sử dụng máy rải cấp phối, chia thang hai lớp để thi công tương tự như khi thi công đoạn thí điểm. Do các yếu tố bất lợi như thời tiết, dịch bệnh, Nhà

thầu đã đề xuất dừng thi công để đánh giá, điều chỉnh thiết kế cho phù hợp với điều kiện thực tế.

Giai đoạn 2 - Sau khi đề xuất điều chỉnh kết cấu đoạn đường được duyệt, Nhà thầu tiếp tục tổ chức thi công trên đoạn B-B2. Kết cấu đoạn B-B2 điều chỉnh cũng bao gồm lớp CPĐD-B dày 40 cm và CPĐD-M dày 25 cm tương tự như kết cấu đoạn A-B. Công tác thi công lớp CPĐD-B được tiến hành nối tiếp với khi thi công trên đoạn A-B vào ngày 09/4 đến 11/4/2022, thực hiện bằng công nghệ sử dụng máy ủi san rải cấp phối thành 2÷3 lớp, chiều dày mỗi lớp ≤ 20 cm.

Sau khi lu lèn sơ bộ và thông xe để tăng cường độ chặt cho lớp CPĐD-B, ngày 05/5 và 06/5/2022 Nhà thầu rải lớp CPĐD-M trên đoạn B-B2. Công tác rải, lu lèn lớp CPĐD-M được thực hiện bằng máy san với 1 lớp thi công. Quá trình thi công lớp áo đường trên đoạn này tương đối thuận lợi do vật liệu CPĐD-M được rải trên nền CPĐD-B đã thi công đảm bảo độ chặt, độ bằng phẳng nên thời gian thi công ngắn, chiều dày lớp vật liệu tương đối đồng đều (25 cm) như thiết kế.

2. Theo dõi, đánh giá công tác lu lèn các lớp CPĐD

Lớp CPĐD-B sau khi san rải được lu không tưới ẩm bằng máy lu rung bánh thép với 7÷10 lượt lu trên mỗi lớp, sau khi lu lèn sơ bộ cho thông xe để tiếp tục gia cường độ chặt lớp cấp phối.

Công tác lu lèn lớp CPĐD-M cũng được thực hiện với sơ đồ tương tự như khi lu lèn trên đoạn thi công thí điểm. Sử dụng máy lu rung bánh thép lực rung 25÷30 tấn, với 10÷15 lượt lu.

Độ chặt lớp mặt đường được đánh giá bằng thí nghiệm DCP, và thiết bị LWD. Kết quả thí nghiệm độ chặt xem bảng 2.20. kết quả thí nghiệm cho thấy độ chặt mặt đường đảm bảo yêu cầu thư thiết kế.

Bảng 2.20. Tổng hợp kết quả đo DCP đoạn B-B2

TT	Vị trí	CBR hiện trường - quy đổi từ kết quả thí nghiệm DCP theo ASTM D6951/D6951M, %	Ghi chú
1	Điểm 01	100	CBR yêu cầu cho đường mỏ tại một số nước có nền công nghiệp mỏ phát triển trên thế giới: > 80 %
2	Điểm 02	100	
3	Điểm 03	100	
4	Điểm 04	100	

TT	Vị trí	CBR hiện trường - quy đổi từ kết quả thí nghiệm DCP theo ASTM D6951/D6951M, %	Ghi chú
5	Điểm 05	100	
6	Điểm 06	100	
7	Điểm 07	100	
8	Điểm 08	100	

3. Theo dõi, đánh giá kiểm tra cao độ, độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ dốc dọc, độ ẩm, độ đồng đều của vật liệu CPĐD

Các thông số hình học như: chiều rộng, chiều dày, cao độ, độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ dốc dọc được kiểm soát ngay trong quá trình thi công lớp CPĐD-B bằng thước dây, thước thẳng, máy thủy bình. Kết quả kiểm tra các thông số xem bảng 2.21.

Bảng 2.21. Các thông số thi công đoạn bán cố định B-B2

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị		Ghi chú
			Thiết kế	Thực tế	
1	Chiều rộng đường, m	m	17,0	17÷18	
2	Chiều dày lớp CPĐD-B	cm	40	40÷55	
3	Chiều dày lớp CPĐD-M	cm	25	25	
4	Độ phẳng trước khi thi công		Mặt phẳng tuyệt đối	Mặt đường hiện có	
5	Độ dốc dọc	%	5,69÷ 8,00	5,59÷ 8,00	
6	Độ dốc ngang	%	3	3÷4	

Thông số tại bảng 2.21 cho thấy, về chiều rộng đường tại đoạn ngã ba (điểm B) phải thi công mở rộng để tăng mức độ an toàn cho xe quay vòng; Chiều dày lớp CPĐD-B thực tế lớn hơn thiết kế do mặt nền không bằng phẳng, phải bù vênh nhiều (Đoạn ngã ba chưa khắc phục được triệt để nguyên nhân xuất lộ thước nên thường xuyên có nước chảy tràn); Chiều dày lớp CPĐD-M do được rải trên lớp móng CPĐD-B đã được lu lèn bằng phẳng nên tương đối đồng đều, ít phát sinh khối lượng bù vênh; Sau khi thi công đạt độ phẳng đạt theo thiết kế; Độ dốc dọc, ngang thi công đúng thiết kế.

2.2.3.3. Thi công rãnh thoát nước

Công tác đào rãnh trên đoạn B-B2 tiến hành đồng thời và tương tự như đoạn B2-C. Hệ thống thoát nước cũng bao gồm rãnh chính có chiều rộng đáy

1,0÷2,0 m, đất đá đào rãnh được đắp thành đê bao, ngoài đê bao là rãnh biên có chiều rộng đáy 0,4÷0,5 m. Cứ mỗi 50÷100 m cắt đê bao tạo thành rãnh ngang thoát nước ra mương chính.

Kết quả theo dõi quá trình thi công rãnh tại đoạn B-B2 cho thấy, với kích thước thiết kế, rãnh dọc đảm bảo thoát nước cho mặt đường và khu vực trong mùa mưa. Rãnh trên đoạn B-B2 nằm trên khu vực tương đối ổn định và có độ dốc dọc lớn nên thời gian tồn tại lâu, ít phải khơi thông.

2.2.4. Đoạn đường cố định A-A1

2.2.4.1. Công tác nghiền và vận chuyển CPĐD-M

Công tác nghiền và vận chuyển CPĐD-M không tổ chức cùng với việc thi công các đoạn tuyến mà được thực hiện trong một thời điểm (12/5 đến 03/6/2021) cho toàn bộ khối lượng CPĐD-M. Cụ thể xem Mục 2.1.5.1.

2.2.4.2. Theo dõi thi công rải lớp CPĐD-M

Công tác rải CPĐD-M trên đoạn A-A1 được thực hiện trong hai giai đoạn. Giai đoạn 1 bắt đầu từ ngày 17/6 đến 21/6/2021 (sau khi thi công xong đoạn thí điểm), giai đoạn 2 từ ngày 05/12 đến ngày 08/12/2021.

1. Theo dõi, đánh giá việc san rải

- Giai đoạn 1: Công tác san rải được thực hiện bằng máy rải cấp phối đá dăm 50÷60 m^3/h. CPĐD-M được rải thành hai lớp tương tự như khi thi công thí điểm. Tổng chiều dày lớp 1 và bù vênh tại những chỗ lõm thay đổi từ 10÷35 cm, lớp 2 rải với chiều dày 15 cm (hình 2.28).



Hình 2.28. San rải và lu lèn lớp 2 chiều dày 15 cm trên đoạn A-A1

- Giai đoạn 2: Sau quá trình tạm thời đưa vào sử dụng (từ tháng 8 đến tháng

12/2021). Do chưa nghiệm thu nên Công ty than Cao Sơn chưa tổ chức bảo trì theo Quy trình bảo trì như thiết kế, dẫn tới đoạn đường xuất hiện một số hư hỏng nên nhà thầu tiếp tục thi công bổ sung, chỉnh sửa trên đoạn đường này. Trước khi san rải CPĐD-M Nhà thầu đã chủ động khảo sát, bóc bỏ lớp nền không đạt yêu cầu bằng máy xúc tại một số khu vực có biểu hiện sình lún, cao su (hình 2.29).



Hình 2.29. Bóc bỏ lớp nền không đạt yêu cầu trên đoạn A-A1

Với những kinh nghiệm rút ra từ quá trình thi công giai đoạn 1 bằng máy rải cấp phối, ở giai đoạn này Nhà thầu tổ thực hiện tác san rải bằng máy san bánh lốp. CPĐD-M được chia thành một lớp có chiều dày 10÷20 cm (hình 2.30).



Hình 2.30. San rải giai đoạn 2 trên đoạn A-A1

Quá trình theo dõi việc san rải cho thấy, công nghệ rải CPĐD-M sử dụng máy san khắc phục được những hạn chế khi thi công bằng máy rải đó là: thời

gian thi công nhanh, phù hợp với nền đường không bằng phẳng tại các đường trong mỏ, các thông số chiều dày, dốc ngang, dốc dọc đảm bảo như thiết kế. Các nhược điểm khi sử dụng máy san đó là để đạt chiều dày đã định và độ phẳng như thiết kế cần san nhiều lượt.

2. Theo dõi, đánh giá công tác lu lèn các lớp CPĐD

Công tác lu lèn trong cả hai giai đoạn được thực hiện sau mỗi lớp rải bằng hai máy lu rung 1 bánh thép, lực rung 25÷35 tấn, mỗi lớp lu 10÷15 lượt sau đó cho xe ô tô của mỏ chạy và tưới nước, lu lại bằng máy lu vào ngày hôm sau.

Sau khi lu hoàn thiện, độ chặt lớp áo đường được thử nghiệm bằng chùy xuyên động (hình 2.31) và thiết bị LWD. Kết quả thí nghiệm độ chặt bằng các thiết bị trên xem bảng 2.22 và bảng 2.23 chi tiết xem phần Phụ lục.



Hình 2.31. Kiểm tra độ chặt trên đoạn A-A1 thông qua chỉ số CBR bằng chùy xuyên động

Bảng 2.22. Tổng hợp kết quả đo DCP đoạn A-A1

TT	Vị trí	CBR hiện trường - quy đổi từ kết quả thí nghiệm DCP theo ASTM D6951/D6951M, %	Ghi chú
1	Điểm 01	100	CBR yêu cầu cho đường mỏ tại một số nước có nền công nghiệp mỏ phát triển trên thế giới: > 80 %
2	Điểm 02	100	
3	Điểm 03	100	
4	Điểm 04	100	
5	Điểm 05	100	
6	Điểm 06	100	
7	Điểm 07	100	

TT	Vị trí	CBR hiện trường - quy đổi từ kết quả thí nghiệm DCP theo ASTM D6951/D6951M, %	Ghi chú
8	Điểm 08	100	

Bảng 2.23. Kết quả thí nghiệm đo mô đun đàn hồi bằng thiết bị LWD

TT		Mô đun biến dạng tĩnh (Static Modulus of Deformation), MPa	Mô-đun biến dạng động (Dynamic Modulus of Deformation), MPa	Ghi chú
1	Điểm 01			Hệ số poisson = 0,3; Đường kính bàn nén D = 0,3 m
2	Điểm 02			
3	Điểm 03			
4	Điểm 04			
5	Điểm 05			
6	Điểm 06			
7	Điểm 07			
8	Điểm 08			

Kết quả tại bảng 2.22 và bảng 2.23 cho thấy, độ chặt lớp áo đường đã thi công đạt và vượt so với thiết kế.

3. Theo dõi, đánh giá kiểm tra cao độ, độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ dốc dọc, độ ẩm, độ đồng đều của vật liệu CPĐD

Cao độ, độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ dốc dọc trong suốt quá trình thi công luôn được kiểm soát bằng máy thủy bình, thước thẳng. Các thông số tuyến đường được tổng hợp trong bảng 2.24.

Bảng 2.24. Các thông số thi công đoạn A-A1

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị		Ghi chú
			Thiết kế	Thực tế	
1	Chiều rộng đường, m	m	17,0	17÷18	
2	Chiều dày lớp CPĐD-M, cm	cm	25	25÷50	
3	Độ phẳng trước khi rải CPĐD-M		Mặt phẳng tuyệt đối	Mặt đường hiện có	
4	Độ dốc dọc	%	0,44÷ 7,10	0,44÷ 7,10	
5	Độ dốc ngang	%	3	3	

Số liệu tại bảng 2.24 cho thấy: Các thông số về kích thước như chiều rộng, chiều dài, độ dốc dọc, ngang thi công đúng thông số thiết kế; Mặt bằng nền

đường chủ đầu tư giao nhà thầu là mặt đường hiện có, biên độ lồi lõm thường từ 5÷7 cm, cá biệt có những ổ gà lõm 10÷15 cm, khi thi công Nhà thầu phải bù phụ CPĐD-M tại các vị trí này để đảm bảo độ phẳng mặt đường.

2.2.4.3. Thi công lớp khử bụi và hóa cứng mặt đường

Công tác tưới phụ gia khử bụi trên phần còn lại thuộc đoạn A-A1 cũng được chia thành hai giai thi công: Giai đoạn 1 Nhà thầu tổ chức tưới phụ gia khử bụi trên toàn bộ khu vực ngã 3 điểm A vào ngày 3-4/7/2021. Giai đoạn 2 tưới phụ gia khử bụi lại toàn bộ tuyến A-A1 vào ngày 11-12/01/2022 (hình 2.33).

Mặt bằng thi công được chuẩn bị bằng cách sử dụng máy san gạt tạo nhám trên bề mặt đường với chiều sâu san 1÷3 cm (hình 2.32).



Hình 2.32. Chuẩn bị mặt bằng tưới phụ gia bằng máy san



Hình 2.33. Tưới phụ gia khử bụi trên đoạn A-A1

Kết quả thi công tưới phụ gia cho thấy việc sử dụng máy san tạo độ nhám đảm bảo mật độ tưới 1 lít/m^2 như thiết kế, phụ gia thấm hết không bị trôi trên bề mặt đường.

2.2.4.4. Thi công rãnh thoát nước

Rãnh dọc trên tuyến A-A1 cũng được Công ty than Cao Sơn thi công hoàn thiện trước khi rải cấp phối. Khu vực từ điểm A đến đường vào kho than và rãnh trái tuyến khi hoàn thiên có khich thước đáy 0,5÷0,7 m. Phía phải từ đường vào kho than đến cuối tuyến bao gồm hai rãnh song song, một rãnh chính có chiều rộng đáy 1,0÷1,5 m, rãnh biên sát lề đường có chiều rộng đáy 0,4÷0,5 m. Trong quá trình thi công sau mỗi trận mưa Nhà thầu cũng chủ động khơi thông các rãnh này bằng máy xúc TLGN (hình 2.24).



Hình 2.34. Nhà thầu tổ cức nào vét rãnh dọc tuyến A-A1 và A-A2

Quá trình theo dõi thi công và bảo trì rãnh trên đoạn A-A1 cho thấy thông số kích thước các rãnh sau khi hoàn thiện đạt và vượt so với thiết kế. Tuy nhiên, trong quá trình sử dụng rãnh thường bị bồi lấp sau mỗi trận mưa, công tác khơi thông chưa kịp thời dẫn tới ứ đọng, thoát nước kém. Đặc biệt tại hai vị trí lối vào kho than và Phân xưởng khai thác xe ra vào chạy qua rãnh, không bố trí cống làm nước ứ đọng và chảy tràn ra mặt đường.

2.2.5. Đoạn đường cố định A-A2

2.2.5.1. Theo dõi công tác rải lớp đá gia cố xi măng

1. Nguồn vật liêu (đất đá, xi măng, phụ gia, nước...)

Nguồn vật liệu bao gồm: CPĐD-M sản xuất từ đá thải của mỏ; xi măng PCB40 Thăng Long của Công ty Cổ phần Xi măng Thăng Long tiêu chuẩn

TCVN 6260-2009; Phụ gia gia cố đất, đá xi măng ***GEOSTAB*** (Hình 2.33) của Công ty Global Trade Marketing GTM-Australi, được nhập khẩu trực tiếp từ Úc; nước sử dụng loại nước thải bơm từ moong Cao Sơn. Các chứng chỉ chứng nhận chất lượng vật tư, vật liệu đầu vào xem phần Phụ lục.



Hình 2.35. Phụ gia gia cố đất, đá xi măng Geostab tập kết tại mỏ than Cao Sơn

2. Nghiền và rải đá trước khi gia cố

Rải CPĐD-M trước khi gia cố: Cũng do các yếu tố bất lợi như trên, công tác rải CPĐD-M trên tuyến A-A2 trước khi gia cố cũng được thực hiện thành 2 giai đoạn. Giai đoạn 1 từ 12÷20/7/2021 Nhà thầu tổ chức thi công rải lớp CPĐD-M chiều dày ≥ 20 cm với quy trình công nghệ, thiết bị tương tự như khi thi công giai đoạn 1 tuyến A-A1 (hình 2.36). Giai đoạn 2 từ ngày 09÷28/12/2021 Nhà thầu tổ chức rải lại CPĐD-M với chiều dày ≥ 20 cm bằng máy san trên toàn bộ diện tích tuyến A-A2 (hình 2.37) do quá trình sử dụng từ khi kết thúc giai đoạn 1 tới thời điểm bắt đầu thi công giai đoạn 2 mặt đường đã bị hư hỏng. Các chỉ tiêu, thông số thi công bao gồm:

- Độ ẩm của CPĐD-M được duy trì ở mức 6÷8 % trong suốt quá trình chuyên chở, san, lu lèn.

- Tổng chiều dày CPĐD-M 25÷40 cm được chia thành hai lớp thi công.

- Vật liệu CPĐD-M được rộng thêm mỗi bên 25÷100 cm so với bề rộng thiết kế móng.

- Bố trí công nhân phụ theo máy san để hạn chế và xử lý kịp thời hiện tượng phân tầng vật liệu.

Công tác kiểm tra cao độ, độ bằng phẳng, dốc ngang, độ dốc dọc được thực hiện trong suốt quá trình thi công.



Hình 2.36. Rải lớp CPĐD-M bằng máy rải làm vật liệu gia cố trên đoạn A-A2



Hình 2.37. Rải lại lớp CPĐD-M bằng máy san trên đoạn A-A2

3. Vận chuyển và rải xi măng trước khi gia cố

Công tác vận chuyển xi măng và rải trước khi gia cố: Xi măng được vận chuyển và rải đều trên mặt đường theo tỷ lệ thiết kế 7 % tương đương 41 kg/m^2 bằng ô tô chuyên dụng 21 tấn (hình 2.38). Ô tô rải xi măng được trang bị thiết bị rải có đồng hồ định lượng báo chính xác lượng xi măng được rải trên một đơn vị diện tích.



Hình 2.38. Ô tô chuyên dụng chở và rải xi măng

4. Trộn phụ gia gia cố Geostab với nước

Công tác vận chuyển nước và phụ gia gia cố: Phụ gia gia cố đất,đá xi măng là loại có mã hiệu GeoStab do Công ty Global Trade & Marketing Pty. Ltd. tại Australia sản xuất, nhập khẩu bởi Công ty TNHH Infrasol. Phụ gia được chứa trong thùng nhựa chuyên dụng có khối lượng 224 kg/thùng. Do khối lượng thi công không lớn (6 tấn) nên phụ gia được vận tải đến bãi tập kết bằng xe tải thùng.

Nước phục vụ thi công được lấy từ nguồn nước thải đã qua xử lý của mỏ, vận chuyển bằng xe téc 16 m^3 đến bãi tập kết sau đó phối trộn với phụ gia bằng thủ công (hình 2.39).

Phụ gia được lấy từ bãi tập kết, sử dụng gầu xúc nâng thùng phụ gia lên cao và đổ vào xe téc chở nước theo định lượng thiết kế. Để hộ trợ việc hòa phụ gia vào nước, nhà thầu Infrasol sử dụng thêm máy bơm cỡ nhỏ trợ lực 12V 60W.



Hình 2.39. Trộn phụ gia Geostab với nước chuẩn bị thi công

5. Công tác thi công gia cố

Công tác gia cố được thực hiện bằng tổ hợp máy cào bóc chuyên dụng. Tổ hợp bao gồm: máy cào bóc tái sinh công suất 670 HP của hãng Wirtgen Đức, ô tô chở nước trộn phụ gia 16 m^3; lu rung chân cừu, lu rung bánh thép lực rung 35 tấn.

Sau khi rải xi măng máy cào bóc tái sinh với ô tô chở nước trộn phụ gia gắn kèm cào bóc với chiều dày 25 cm như thiết kế. Máy cào bóc tái sinh thực hiện đồng thời việc cào bóc, làm tơi (đập nghiền), trộn xi măng, nước, phụ gia san rải lại vị trí cào bóc và tạo phẳng (hình 2.40). Thành phần hạt của vật liệu cào bóc tái sinh, chiều sâu cào bóc ở cả hai phía của máy, độ ẩm của vật liệu gia cố luôn được kiểm tra, điều chỉnh phù hợp với thiết kế.



Hình 2.40. Cào bóc gia cố bằng tổ hợp máy cào bóc

6. Công tác lu lèn hỗn hợp cào bóc

- Lu lèn ban đầu: Sử dụng lu rung chân cừu đầm nén cho đến khi dấu chân cừu không còn rõ trên mặt lớp vật liệu. Số lượt lu 10÷15 lượt/điểm, tốc độ lượt lu V ≤ 3 km/h (hình 2.41). Mặt đường sau khi lu bằng máy lu chân cừu sử dụng máy san tự hành san gạt ngay bề mặt lớp vật liệu đã được đầm lèn ban đầu. Lưỡi máy san phải gạt bằng các dấu vệt chân cừu, đồng thời tạo dốc ngang, dốc dọc và hình dạng mặt đường theo thiết kế.

- Lu lèn hoàn thiện: Dùng lu rung 1 bánh thép, lu rung 2 bánh thép và lu bánh lốp để đầm lèn chặt và hoàn thiện lớp hỗn hợp vật liệu đã được san gạt. Số lượt lu 10÷14 lượt (cả 3 xe). Lượt cuối cùng không rung hình 2.42.

+ Trong quá trình san gạt phẳng và xe lu bánh lốp làm việc thì lớp mặt gia

cố được giữ ẩm bằng xe tưới nước phun sương.

Sơ đồ lu đoạn thi công được tổng hợp như sau:

- Lu rung chân cừu: khối lượng tĩnh 20T, lực rung 25÷35T, lu 10÷15 lượt trên điểm, tốc độ 3 km/h;

- Lu rung bánh thép trơn: khối lượng tĩnh 19,6T, lu 10÷14 lượt trên điểm, tốc độ trung bình 3 km/h;

- Lu 2 bánh sắt: khối lượng 12T, lu 10÷14 lượt trên điểm tốc độ trung bình 3km/h;

- Lu bánh lốp: khối lượng tĩnh 18T, lu 10÷14 lượt đều trên bề mặt đến khi bề mặt liền khít, tốc độ trung bình 6 km/h.



Hình 2.41. Lu lèn hỗn hợp cào bóc bằng máy lu rung chân cừu



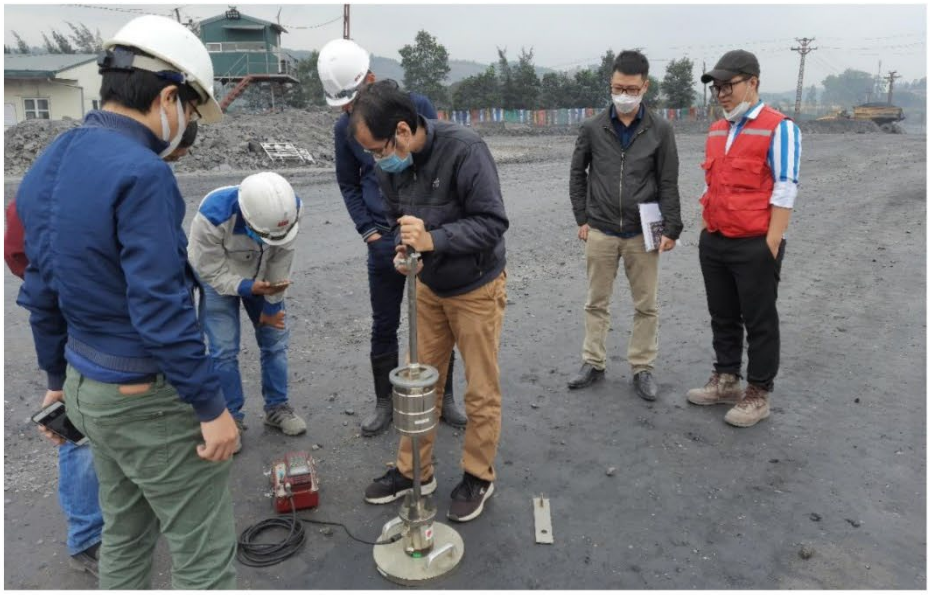
Hình 2.42. Tưới nước, lu lèn bằng máy lu 10 tấn và máy lu bánh lốp

7. Theo dõi cường độ hỗn hợp đất đá gia cố xi măng

Cường độ hỗn hợp đất đá gia cố xi măng được kiểm tra bằng các thí nghiệm hiện trường và trong phòng (hình 2.43, hình 2.44).



Hình 2.43. Lấy mẫu đánh giá cường độ hỗn hợp đất đá gia cố xi măng bằng phương pháp đúc mẫu và khoan



Hình 2.44. Đo mô đun đàn hồi theo tuổi nền gia cố bằng thiết bị LWD

Kết quả thi công gia cố trên đoạn A-A2 cho thấy về các kích thước hình học, độ đồng đều, độ chặt tuyến đường khi hoàn thiện đạt và vượt so với thiết kế. Kết quả thí nghiệm độ chặt bằng chùy xuyên động xem bảng 2.25, đo mô đun đàn hồi bằng thiết bị LWD xem bảng 2.26 chi tiết xem phần Phụ lục.

Bảng 2.25. Tổng hợp kết quả đo DCP đoạn A-A2

TT	Vị trí	CBR hiện trường - quy đổi từ kết quả thí nghiệm DCP theo ASTM D6951/D6951M, %	Ghi chú
1	Điểm 01	100	CBR yêu cầu cho đường mỏ tại một số nước có nền công nghiệp mỏ phát triển trên thế giới: > 80 %
2	Điểm 02	100	
3	Điểm 03	100	
4	Điểm 04	100	
5	Điểm 05	100	
6	Điểm 06	100	
7	Điểm 07	100	
8	Điểm 08	100	

Bảng 2.26. Kết quả thí nghiệm đo mô đun đàn hồi bằng thiết bị LWD

TT		Mô đun biến dạng tĩnh (Static Modulus of Deformation), MPa	Mô-đun biến dạng động (Dynamic Modulus of Deformation), MPa	Ghi chú
1	Điểm 01	388,5	407,2	Hệ số Poisson = 0,3; Đường kính bàn nén D = 0,3 m
2	Điểm 02	377,8	392,9	
3	Điểm 03	335,0	351,5	
4	Điểm 04	333,3	359,3	
5	Điểm 05	318,0	339,8	
6	Điểm 06	318,3	334,6	

2.2.5.2. Theo dõi thi công rải lớp CPĐD-M

1. Công tác nghiền và vận chuyển CPĐD-M

Công tác nghiền và vận chuyển CPĐD-M không tổ chức cùng với việc thi công các đoạn tuyến mà được thực hiện trong một thời điểm (12/5 đến 03/6/2021) cho toàn bộ khối lượng CPĐD-M. Cụ thể xem Mục 2.1.5.1.

2. Công tác san rải, lu lèn lớp CPĐD-M

Sau thời gian chờ nền gia cố ổn định, xi măng thủy hóa hoàn toàn. Từ ngày 06÷10/01/2022 Nhà thầu tổ chức thi công rải CPĐD-M mặt đường chiều dày 25 cm trên đoạn A-A2. Công tác san rải bằng máy san, lu lèn bằng máy lu rung bánh thép trơn với quy trình tương tự như khi thi công giai đoạn 2 trên đoạn A-A1 (hình 2.45). Tổng hợp các thông số thi công xem bảng 2.27.



Hình 2.45. San rải và lu lèn CPĐD-M lớp mặt bằng máy san trên đoạn A-A2

3. Theo dõi, đánh giá kiểm tra cao độ, độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ dốc dọc, độ ẩm, độ đồng đều của vật liệu CPĐD

Tương tự như khi thi công các đoạn khác, cao độ, độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ dốc dọc luôn được kiểm tra hiệu chỉnh đúng với thiết kế bằng máy thủy bình, thước thẳng, cọc mốc. Các thông số kích thước xem bảng 2.27.

Độ ẩm của hỗn hợp gia cố và CPĐD-M được kiểm soát từ bãi chứa bằng cách tưới ẩm bổ sung. Độ ẩm, độ đồng đều của vật liệu được kiểm tra bằng thí nghiệm độ ẩm hiện trường (hình 2.46).





Hình 2.46. Kiểm tra chiều sâu và thành phần phối trộn tại hiện trường

Bảng 2.27. Các thông số thi công đoạn A-A2

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị		Ghi chú
			Thiết kế	Thực tế	
1	Chiều rộng nền rải lớp CPĐD-M gia cố	m	17,0	17÷22	
2	Chiều dày lớp CPĐD-M gia cố	cm	20	20÷50	
3	Chiều dày thi lớp gia cố xi măng và phụ gia	cm	25	25	
4	Chiều rộng nền đường gia cố	cm	17	17	
5	Chiều dày lớp CPĐD-M	cm	25	25	
6	Tưới phụ gia khử bụi	kg/m^2	1,0	1,0	
7	Độ phẳng nền đường trước khi thi công		Mặt phẳng tuyệt đối	Mặt đường hiện có	
8	Độ dốc dọc	%	0,49÷ 2,24	0,49÷ 2,24	
9	Độ dốc ngang	%	3	3	

Số liệu trong bảng 2.27 cho thấy, về chiều rộng đường đoạn ngã ba (điểm A) phải thi công mở rộng hơn so với thiết kế để tăng mức độ an toàn cho xe ra vào trạm đập. Phần còn lại của nền đường cũ ngoài phạm vi thiết kế được đổ bằng vật liệu chọn lọc từ đất đá nổ mìn của mỏ; Chiều dày lớp đá gia cố thực tế lớn hơn thiết kế do mặt nền không bằng phẳng, phải bù vênh nhiều; Chiều dày, độ chặt, độ đồng đều, độ phẳng và độ ẩm được kiểm tra thường xuyên. Các chỉ tiêu thông số đạt và vượt so với thiết kế; Độ chặt, mật độ tưới phụ gia khử bụi đảm bảo như thiết kế; Độ dốc dọc, ngang thi công đúng thiết kế

2.2.5.3. Thi công lớp khử bụi và hóa cứng mặt đường

Mặt bằng thi công tưới phụ gia khử bụi được thực hiện bằng cách sử dụng máy san gạt bỏ lớp bùn rơi vãi trong quá trình sử dụng và tạo độ nhám hình 2.47.



Hình 2.47. Gạt lớp mặt tạo độ nhám trước khi tưới phụ gia khử bụi

Sau khi dan gạt tạo nhám Nhà thầu thi công tưới phụ gia khử bụi và hóa cứng mặt đường bằng xe bồn chuyên dụng trên toàn bộ diện tích mặt đường đoạn A-A2 (hình 2.48). Kết quả thi công cho thấy phương pháp gạt tạo độ nhám tưới phụ gia khử bụi đảm bảo mật độ yêu cầu 1 kg/m^2 như thiết kế, phụ gia không bị chảy tràn trên mặt đường. Theo hướng dẫn của nhà sản xuất sau khi tưới phụ gia 12 tiếng mới cho xe lưu thông. Tuy nhiên, do điều kiện sản xuất sau khi tưới phụ gia 1 tiếng mỏ đã bố trí cho xe lưu thông.



Hình 2.48. Tưới phụ gia khử bụi hóa cứng mặt đường trên đoạn A-A2

2.3. TỔNG HỢP ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG CÁC ĐOẠN TUYẾN

2.3.1. Về tiến độ thi công

Theo Hợp đồng số 3691/HĐ-TCS-KH ngày 05/05/2021 giữa Công ty Cổ phần than Cao Sơn - TKV và Công ty TNHH INFRASOL thời gian thi công cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn là 60 ngày. Tuy nhiên, quá trình thi công gặp nhiều yếu tố bất lợi cả khách quan (thời tiết, dịch bệnh), chủ quan (hư hỏng thiết bị, thi công bù vênh, thay đổi kết cấu...), Nhà thầu đã phải thi công thành 3 giai đoạn. Đến ngày 25/5/2022 mới hoàn thiện toàn bộ Phương án. Như vậy, thời gian thi công Phương án kéo dài hơn rất nhiều so với kế hoạch ban đầu.

2.3.2. Về các thông số thi công các đoạn tuyến

Toàn bộ các đoạn tuyến sau khi thi công hoàn thiện được nghiệm thu đưa vào sử dụng, kết quả nghiệm thu cho thấy về các thông số kích thước như chiều dài, chiều rộng, độ dốc ngang, độ dốc dọc, độ phẳng của đường đảm bảo theo thiết kế. Riêng thông số chiều rộng đường nhiều khu vực như ngã 3 điểm A,

điểm B thực tế thi công rộng hơn thiết kế từ 1÷3 m.

Về chiều dày các lớp: Theo thiết kế thì chiều dày lớp CPĐD-M trên đoạn A-A1, B-B1 là 25 cm, lớp đá gia cố trên đoạn A-A2 là 20 cm, lớp CPĐD-B trên đoạn A-B, B-B2 là 40 cm, trên đoạn B2-C là 25 cm. Tuy nhiên, do tác động của nước mưa, tải trọng xe, bề mặt áo đường hiện hữu trước khi thi công bị xói mòn, đặc biệt lớp đất mịn (khoảng 10 cm) bên trên bị rửa trôi. Hơn nữa, do mặt đường hiện hữu được tạo thành từ hỗn hợp đá không tuân theo nguyên lý cấp phối dễ dẫn đến hình thành các điểm yếu cục bộ, đặc biệt tại các điểm có đá to (D_{max} > 40 mm). Tại các khu vực này khi thi công Nhà thầu phải bù phụ bằng đá cấp phối chiều dày 5÷15 cm. Việc thi công CPĐD-M với chiều dày vượt thiết kế tại các khu vực cục bộ vừa làm tăng chi phí cho nhà thầu, vừa làm giảm độ bền chung của đường.

Về mật độ tưới phụ gia khử bụi, hóa cứng mặt đường: Nhà thầu tổ chức tưới phụ gia với mật độ 1 kg/m^2 đảm bảo như thiết kế. Sau khi tưới phụ gia khử bụi, bằng cảm quan có thể thấy lượng bụi phát thải trong quá trình vận chuyển giảm đáng kể, tương tự như khi tưới nước thông thường nhưng thời gian phát huy tác dụng giảm bụi kéo dài hơn (1÷3 ngày) sau đó giảm dần. Đặc biệt, khi thời tiết thay đổi từ mưa sang nắng thì lớp phụ gia khử bụi ít hoặc không còn phát huy tác dụng.

Về thông số rãnh: Trước và sau thi công đường các thông số về kích thước rãnh nước đảm bảo như thiết kế (bảng 2.28). Trong quá trình thi công, do thời gian kéo dài và điều kiện thực tế một số thời điểm, công tác thi công rãnh chưa đạt yêu cầu thoát nước (các khu vực ngã 3 điểm B, các đường giao với mặt bằng kho than trên đoạn A-A1, trạm đập trên đoạn A-A2... nước chảy tràn trên mặt đường). Trong quá trình thi công Nhà thầu cũng đã chủ động khơi thông rãnh nước tại các khu vực đã hoan thiện rải lớp cấp phối.

Bảng 2.28. Thông số thi công rãnh các đoạn tuyến

Đoạn tuyến	Thông số rãnh	Đơn vị	Giá trị		Ghi chú
			Thiết kế	Thực tế	
A-A1	Chiều rộng đáy	m	0,4	0÷1,5	
	Chiều cao	m	0,4	0÷2,0	
A-A2	Chiều rộng đáy	m	0,4	0,5÷1,5	
	Chiều cao	m	0,4	0,4÷0,6	
A-B	Chiều rộng đáy	m	0,4	0,5÷1,5	
	Chiều cao	m	0,4	0,4÷0,6	
B-B1	Chiều rộng đáy	m	0,4÷1,0	0,5÷1,5	

Đoạn tuyến	Thông số rãnh	Đơn vị	Giá trị		Ghi chú
			Thiết kế	Thực tế	
	Chiều cao	m	0,4÷1,0	0,4÷0,6	
B-C	Chiều rộng đáy	m	0,4	0,5÷1,5	
	Chiều cao	m	0,4	0,4÷0,6	

2.3.3. Về kích thước vật liệu và chiều dày lớp CPĐD-M

Các kết quả phân tích và thực tế theo dõi thi công cho thấy:

+ Về kích thước hạt đá dăm của CPĐD-M: CPĐD-M sản xuất tại Cao Sơn phù hợp với hướng dẫn của Roger Thompson và đạt tiêu chẩn thiết kế Phương án.

+ Về chiều dày lớp CPĐD-M: Thực tế đô modul đàn hồi mặt đường mỏ đối với đoạn cố định và bán cố định đo được trung bình Mr > 130 MPa. Do vậy, việc bố trí chiều dày CPĐD-M tại các đoạn tuyến là hợp lý.

2.3.4. Về chất lượng bề mặt tuyến đường

Tại thời điểm nghiệm thu, đưa các đoạn tuyến vào sử dụng chất lượng mặt đường đảm bảo như thiết kế. Tuy nhiên khi thi công giai đoạn đầu (từ tháng 6/2021 đến 8/2021) khi có mưa lớn kéo dài, nhiều vị trí mặt đường xuất hiện các vết lồi lõm, không bằng phẳng, bề mặt đường bị bong bật, xói mòn, không đảm bảo chất lượng theo yêu cầu. Nhận định một số nguyên nhân chính dẫn đến chất lượng tuyến đường không đảm bảo như sau:

- Công tác bảo trì chưa tiến hành kịp thời do việc kéo dài thời gian thi công, chưa chính thức nghiệm thu đưa vào sử dụng;

- Do công tác thoát nước không đảm bảo, độ dốc ngang đường trong giai đoạn đầu chưa đạt thông số thiết kế làm nước ứ đọng, chảy tràn trên mặt đường, nước từ các khu vực chưa thi công hết chiều rộng mặt đường (ngoài phạm vi thiết kế) ngấm vào làm suy yếu kết cấu CPĐD-M;

- Do khu vực yếu cục bộ, trước khi thi công CPĐD-M đã hình thành ổ gà, biên độ lồi lõm mặt đường từ 5÷15 cm, cá biệt có điểm đến 25 cm. Tại những vị trí này khi thi công nhà thầu phải bù phụ bằng CPĐD-M. Việc bù bằng CPĐD-M chỉ để đạt mặt phẳng, không những không khắc phục được các điểm yếu cục bộ mà còn làm tăng sự không tuân thủ quy luật cấp phối dẫn đến yếu càng thêm yếu.

CHƯƠNG 3. THEO DÕI, ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ PHƯƠNG ÁN

3.1. THEO DÕI, ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ VỀ PHƯƠNG DIỆN KỸ THUẬT

3.1.1. Theo dõi, đánh giá tốc độ của các ô tô

Theo Hệ thống Định mức lao động và năng suất một số thiết bị chủ yếu khai thác than lộ thiên ban hành kèm theo Quyết định số 2411/QĐ-TKV ngày 31/12/2019 của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (Định mức 2411), vận tốc trung bình được xác định theo công thức tính toán sau:

$$V = \frac{366,97 \text{ x Công suất sử dụng (kW) x Hiệu suất sử dụng xe (\%)}}{\text{Tổng trọng lượng xe (kg) x Tổng kháng trở (\%)}} \qquad (3.1)$$

Từ công thức (3.1) có thể thấy tốc độ ô tô tỷ lệ nghịch với tổng sức cản của đường, khi sức cản lăn giảm tổng sức cản giảm thì vận tốc ô tô tăng tương ứng.

Để kiểm chứng, nhóm thực hiện tổ chức theo dõi tốc độ xe bằng phương pháp chụp ảnh, tính toán thời gian xe bắt đầu vào đoạn đường và ra khỏi đoạn đường trước và sau khi thi công cải tạo. Do điều kiện thực tế, công tác theo dõi tốc độ xe chỉ thực hiện được trên đoạn A-A1; A-B-B2-C vào các thời điểm: trước khi thi công ngày 24-28/5/2021, sau khi thi công ngày 16-22/6/2021 trên tuyến A-A1, ngày 25-28/5/2022 trên tuyến A-B-B2-C. Cũng theo quy định an toàn của Công ty than Cao Sơn, tốc độ tối đa khi có tải là 30 km/h, khi không tải 35 km/h nên trên đoạn A-B-B2-C nhóm thực hiện chỉ theo dõi tốc độ chiều có tải từ C đến A. Kết quả thống kê xem bảng 3.1 và bảng 3.2.

Bảng 3.1. Thống kê tốc độ xe trên tuyến A-A1 trước khi thi công (24-28/5/2021) và sau khi thi công (16-22/6/2021)

TT	Chủng loại	Lưu lượng TB, chuyến/h	Tốc độ xe, km/h						
			Chiều xuống dốc có tải A→A1		Chiều lên dốc không tải A1→A		Bình quân		
			Trước TC	Sau TC	Trước TC	Sau TC	Trước TC	Sau TC	Chênh lệch, %
1	CAT777	12	25,4	28,7	20,4	24,1	22,9	26,4	15,4
2	HD785	5	25,6	28,8	23,8	28,3	24,7	28,5	15,6
3	CAT773	4	27,8	30,7	32,3	36,4	30,0	33,5	11,8
4	HD465	7	27,7	31,7	33,5	38,9	30,6	35,3	15,3

Bảng 3.2. Thống kê tốc độ xe trên tuyến A-B-B2-C trước khi thi công (24-28/5/2021) và sau khi thi công (25-28/5/2022)

TT	Chủng loại	Lưu lượng TB, chuyến/h	Tốc độ xe, km/h						
			Chiều lên dốc có tải C→A		Chiều xuống dốc không tải A→C		Bình quân		
			Trước TC	Sau TC	Trước TC	Sau TC	Trước TC	Sau TC	Chênh lệch, %
1	CAT777	28	18,6	20,7	35,0	35,0	26,8	27,8	3,9
2	HD785	9	19,2	22,7	35,0	35,0	27,1	28,8	6,3
3	CAT773	5	17,1	19,9	35,0	35,0	26,0	27,5	5,5
4	HD465	28	20,2	22,8	35,0	35,0	27,6	28,9	4,7

Số liệu trong bảng 3.1 và bảng 3.2 cho thấy sau khi thi công trong điều kiện thời tiết khô ráo tốc độ xe tăng từ 3,9÷15,4 % tùy từng loại xe, trung bình 14,3 %.

3.1.2. Theo dõi hiệu quả về mức tiêu hao nhiên liệu

Như đã nêu trong Mục 1.1.2, các đoạn tuyến cải tạo chiếm một phần nhỏ trong tổng cung đường vận tải của mỏ. Nhóm thực hiện đã phối hợp với Công ty than Cao Sơn tìm biện pháp theo dõi mức tiêu hao nhiên liệu thực tế trên các đoạn cải tạo. Tuy nhiên, công tác theo dõi gặp nhiều khó khăn, phức tạp, không phân tách được mức tiêu hao nhiên liệu. Vì vậy, nhóm thực hiện lựa chon phương pháp tính toán theo kết quả nghiên cứu của RJ. Thompson

Mức tiêu thụ nhiên liệu của xe tải (Q_f, lít/giờ) dựa trên tỷ lệ tổng công suất khả dụng của động cơ (D_L). Động cơ bắt đầu gia tải và tiêu thụ nhiên liệu khi độ dốc tổng thể lớn hơn 0 % [2]:

$$Q_f = 0{,}226 P_G (D_l + 0{,}03), \text{ lít/giờ} \qquad (3.2)$$

$$D_l = \frac{2{,}72 V_{uf} GVM\,(i + RR)}{P_G \varepsilon_t \sqrt{1 + i^2}}, \% \qquad (3.3)$$

Ở đây: V_{uf}- tốc độ xe tải, km/h, xác định theo công thức **Error! Reference source not found.**; P_G- tổng công suất động cơ, kW; ε_t,- hiệu suất của bộ truyền động, ε_t, = 0,8; GVM- tải trọng gộp, t; i- độ dốc đường, %; RR- lực cản lăn của đường, %.

Kết quả tính toán mức tiêu hao nhiên liệu theo RJ. Thompson xem bảng 3.3

Bảng 3.3. Mức tiêu thụ nhiên liệu trên các đoạn tuyến theo RJ. Thompson

Chủng loại xe	Đoạn đường	Hướng vận tải	GR, %	Trước khi thi công				Sau khi thi công				Tỷ lệ giảm tiêu hao NL khi chạy trên tuyến, %
				V_{uf}, km/h	Tổng sức cản, %	Mức tiêu hao NL (Q_f), lít/giờ	Tiêu hao NL một lượt chạy trên tuyến, lít	V_{uf}, km/h	Tổng sức cản, %	Mức tiêu hao NL (Q_f), lít/giờ	Tiêu hao NL một lượt chạy trên tuyến, lít	
Xe 91÷69 tấn	Cố định (A-A1)	Có tải xuống dốc	-3,33	25,39	0,00	5,2	0,09	28,67	0,00	5,2	0,08	11,44
		Không tải lên dốc	3,33	25,60	5,33	216,5	3,53	28,79	5,83	215,7	3,12	11,39
	Cố định (A-A2)	Có tải xuống dốc	0,01	30,00	2,01	127,3	1,17	30,00	2,49	99,1	0,91	22,19
		Không tải lên dốc	-0,01	35,00	1,99	148,3	1,17	35,00	2,51	115,3	0,91	22,22
	Bán cố định (A-B1)	Có tải lên dốc	1,38	30,00	3,38	179,4	3,32	30,00	3,88	151,1	2,80	15,74
		Không tải xuống dốc	-1,38	35,00	0,62	87,5	1,39	35,00	1,12	54,5	0,86	37,66
	Bán cố định (B-B2)	Có tải lên dốc	6,61	18,60	8,61	234,9	4,31	22,68	9,11	264,0	3,97	7,84
		Không tải xuống dốc	-6,61	35,00	0,00	5,2	0,05	35,00	0,00	5,2	0,05	0,00
	Tạm thời (B2-C)	Có tải lên dốc	6,23	18,60	8,23	226,1	8,64	22,68	8,73	253,2	7,94	8,14
		Không tải xuống dốc	-6,23	35,00	0,00	5,2	0,11	35,00	0,00	5,2	0,11	0,00
		Toàn tuyến					**23,75**				**20,74**	**12,69**
Xe 55÷58 tấn	Cố định (A-A1)	Có tải xuống dốc	-3,33	27,75	0,00	3,7	0,06	30,68	0,00	3,7	0,05	9,55
		Không tải lên dốc	3,33	32,25	6,58	166,1	2,15	35,00	5,83	159,9	1,91	11,32
	Cố định (A-A2)	Có tải xuống dốc	0,01	30,00	3,24	78,2	0,72	30,00	2,49	61,0	0,56	22,02
		Không tải lên dốc	-0,01	35,00	3,26	91,1	0,72	35,00	2,51	71,0	0,56	22,08
	Bán cố định (A-B1)	Có tải lên dốc	1,38	30,00	4,63	110,0	2,04	30,00	3,88	92,8	1,72	15,66
		Không tải xuống dốc	-1,38	35,00	1,87	54,0	0,86	35,00	1,12	33,8	0,54	37,26
	Bán cố định (B-B2)	Có tải lên dốc	6,61	17,08	9,86	132,4	2,64	19,92	9,11	142,4	2,44	7,79
		Không tải xuống dốc	-6,61	35,00	0,00	3,7	0,04	35,00	0,00	3,7	0,04	0,00
	Tạm thời (B2-C)	Có tải lên dốc	6,23	17,08	9,48	127,5	5,31	19,92	8,73	136,7	4,88	8,10
		Không tải xuống dốc	-6,23	35,00	0,00	3,7	0,08	35,00	0,00	3,7	0,08	0,00
		Toàn tuyến					**14,59**				**12,75**	**12,60**

3.1.3. Theo dõi, đánh giá hiệu quả về hao mòn lốp xe

Tuổi thọ của lốp xe tải phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như chất lượng mặt đường, khối lượng vận tải, áp lực lốp, ý thức của lái xe... Theo hãng Caterpillar 80 % lốp bị hư hỏng trước khi bị mài mòn đến mức giới hạn, nguyên nhân hư hỏng lốp phần lớn là do bị cắt bởi đá to sắc cạnh (45 %) và nứt vỡ do tải trọng tác động (30 %) [5]. Vì vậy, rất khó để xây dựng mối quan hệ giữa độ hao mòm lốp với tình trạng chất lượng đường.

Theo RJ. Thompson tỷ lệ mòn bộ lốp có thể xác định theo công thức [2]:

$$TW = (62,52RR - 29,31 + 2\,|GR|)10^{-3} \qquad (3.4)$$

Ở đây: TW- Tỷ lệ mòn bộ lốp (tiêu hao lốp trên 1000 km), GR- độ dốc dọc đường, % vì giá trị dương được sử dụng RR- Lực cản lăn, %.

Áp dụng công thức (3.4) tính toán được lượng tiêu hao lốp trên các tuyến đường khi chưa cải tạo ứng với RR = 3,25 % và sau khi cải tạo ứng với RR = 2,0 %, kết quả tính toán xem bảng 3.4.

Bảng 3.4. Tỉ lệ giảm tiêu hao lốp theo RJ. Thompson

TT	Đoạn tuyến	Chiều dài, km	Độ dốc dọc, %	TW, bộ-quả/1000 km với RR, %		bộ-quả/1 lượt chạy trên tuyến với RR, %		Tỉ lệ giảm tiêu hao lốp khi cải tạo đường, %
				2,0	3,25	2,0	3,25	
1	Cố định (A-A1)	0,417	-3,33	0,102	0,181	0,000246	0,000433	43,29
2	Cố định (A-A2)	0,275	-0,01	0,096	0,174	0,000348	0,000632	44,94
3	Bán cố định (A-B1)	0,555	1,38	0,098	0,177	0,000177	0,000318	44,24
4	Bán cố định (B-B2)	0,341	6,61	0,109	0,187	0,000320	0,000549	41,77
5	Tạm thời (B2-C)	0,711	6,23	0,108	0,186	0,000152	0,000262	41,94
	Toàn tuyến	**2,299**		**0,238**	**0,417**	**0,001243**	**0,002194**	**43,36**

Ngoài ra theo Định mức 2048 quy định: Đường loại II; III; IV tại các đoạn cố định và bán cố định có chất lượng mặt đường tốt thì nâng lên tương ứng thành đường loại I; II; III. Với định mức tiêu hao lốp cho xe 55÷58 tấn là 0,0046 bộ quả/1000 t.km, xe 91÷96 tấn là 0,0025 bộ quả/1000 t.km, tính toán được tiêu

hao lốp trên các tuyến đường trước vào sau cải tạo xem bảng 3.5.

Bảng 3.5. Tỉ lệ giảm tiêu hao lốp theo Bộ định mức 2048

TT	Đoạn tuyến	Chiều dài, km	Cấp đường hiện trạng	Tiêu hao lốp, bộ-quả/1 lượt chạy		Tỉ lệ giảm tiêu hao lốp khi cải tạo đường, %
				Cấp đường hiện trạng	Nâng lên 1 cấp	
1	Cố định (A-A1)	0,417	II	0,000526	0,000401	23,74
2	Cố định (A-A2)	0,275	II	0,000798	0,000608	23,74
3	Bán cố định (A-B1)	0,555	II	0,000395	0,000301	23,74
4	Bán cố định (B-B2)	0,341	III	0,000704	0,000643	8,60
5	Tạm thời (B2-C)	0,711	III	0,000338	0,000309	8,60
	Toàn tuyến	**2,299**		**0,002760**	**0,002263**	**18,03**

3.1.4. Theo dõi, đánh giá hiệu quả về phụ tùng thay thế

Chi phí bảo dưỡng và sửa chữa xe bao gồm cả chi phí của các vật tư thay thế và nhân công dành cho việc sửa chữa và bảo dưỡng xe. Các chi phí này liên quan đến loại, tuổi và cách sử dụng phương tiện, đặc biệt là đặc điểm tuyến đường. Đối với đường mỏ, chi phí này ít hơn đáng kể so với chi phí tiêu thụ nhiên liệu.

Hiệu quả của công tác bảo dưỡng thiết bị và phụ tùng thay thế khi đối với Phương án cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ Cao Sơn là rất khó xác định vì các lý do: Đoạn đường cải tạo chiếm tỉ lệ nhỏ trong toàn tuyến trong khi công tác bảo dưỡng phương tiện tại mỏ được tổ chức định kỳ theo kế hoạch xây dựng trên cơ sở định mức tiêu hao vật tư của TKV.

Do đó, hiệu quả về phụ tùng thay thế trên đoạn đường cải tạo sẽ được đánh giá thông qua mức tăng năng suất, chi tiết xem Mục 3.2.1.

3.1.5. Theo dõi, đánh giá hiệu quả về năng suất xe

Theo Định mức 2411, năng suất ca xe ô tô được xác định theo công thức:

$$N_{ca} = \frac{T_{ca} - T_{ck} - T_{gd}}{T_{chk}}, \text{ chuyến/ca} \qquad (3.5)$$

Trong đó: + T_{ca}, T_{ck}, $T_{gđ}$- tương ứng là thời gian một ca sản xuất, thời gian bàn giao ca, thời gian gián đoạn trong ca, có giá trị trong bảng số 5; phút; T_{chk}- thời gian thực hiện một chu kỳ vận chuyển; phút.

Thay các giá trị trong bảng số liệu liên quan vào công thức trên, có thể viết công thức tính năng suất ca xe ô tô dưới dạng:

$$N_{ca} = \frac{330}{\frac{120L}{V} + t_x + t_m + t_{cd}} \times V_o, \text{ m}^3/\text{ca} \qquad (3.6)$$

Trong đó: V- vận tốc kỹ thuật của trung bình của ô tô, km/h; L- cung độ vận tải, km; t_x- thời gian xúc đầy 1 xe ô tô, phút; t_m- thời gian thực hiện các thao tác phụ, phút; $t_{cđ}$- thời gian chờ máy xúc, phút; V_o- khả năng chứa tối đa đất đá (dạng nguyên khối) trong thùng xe tính theo trọng tải, $V_o = Q/\gamma$, m^3; Q- tải trọng tải xe, tấn, γ- tỷ trọng đất đá nguyên khối, tấn/m^3.

Do đoạn cải tạo chiếm tỷ lệ nhỏ trong toàn bộ cung đường vận tải của mỏ và đoạn cải tạo là khu vực chia nhiều nhánh: đến các khu vực khai trường, vào trạm đập, ra bãi thải Bàng Nâu và về phân xưởng. Phần lớn các xe vận tải chỉ chạy trên một phần của đoạn cải tạo, không chạy hết toàn bộ cung đường. Vì vậy, rất khó để đánh giá mức tăng năng suất sau khi cải tạo các đoạn tuyến.

Hiệu quả năng suất được tính toán theo tỉ lệ tăng năng xuất trên đoạn đường cải tạo và mức tăng năng suất trên toàn tuyến đường trong đó có chạy qua đoạn cải tạo. Thông số đầu vào để tính toán theo kế hoạch khai thác tại khai trường Cao Sơn, Công ty than Cao Sơn như bảng 3.6.

Bảng 3.6. Kế hoạch đổ thải khai trường Cao Sơn năm 2022

TT	Khu vực khai thác	Vị trí đổ	Khối lượng đất đá, m^3	Khối lượng vận tải qua các đoạn cải tạo					
				A-A1		A-B-B2-C		A-A2	
				Khối lượng, m^3	Cung độ, km	Khối lượng, m^3	Cung độ, km	Khối lượng, m^3	Cung độ, km
1	Vỉa 14-5	Bàng Nâu	13.115.000	13.115.000	8,221			13.115.000	8,221
		Bun ke	8.034.000					8.034.000	4,267
2	Vỉa 14-2	Bàng Nâu	525.000	525.000	6,795			525.000	6,795
		Bun ke	374.000					374.000	1,593
3	Vỉa 13-1; 13-2	Bàng Nâu	5.111.000	5.111.000	8,236	5.111.000	8,236		
		Bun ke	9.613.000			9.613.000	2,789		
4	Vỉa 12	Bàng Nâu	905.000	905.000	7,988	905.000	7,988		
		Bun ke	1.979.000					1.979.000	2,050
		Cộng	**40.000.000**	**19.656.000**	**8,176**	**15.629.000**	**4,871**	**24.027.000**	**6,256**

Bảng 3.7. Năng suất ô tô khi cải tạo đường

TT	Thông số	Đơn vị	Toàn mỏ		A-A1		A-B-B2-C		A-A2	
			55-58 tấn	91-96 tấn	55-58 tấn	91-96 tấn	55-58 tấn	91-96 tấn	55-58 tấn	91-96 tấn
1	Tổng khối lượng đất đá vận tải qua các đoạn đường cải tạo	10^3 m^3	8.000	32.000	3.931	15.725	3.126	12.503	4.805	19.222
2	Tốc độ kỹ thuật trung bình của xe ô tô mỏ	km/h	22,1	21,12	22,1	21,12	22,1	21,12	22,1	21,12
3	Thời gian thực hiện các thao tác phụ	phút	1,7	1,3	1,7	1,3	1,7	1,3	1,7	1,3
4	Thời gian chờ máy xúc	phút	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5	Cung độ vận chuyển trung bình	km	5,687	5,687	8,176	8,176	4,871	4,871	6,256	6,256
6	Cung độ vận chuyển đoạn cải tạo	km	2,299	2,299	0,417	0,417	1,363	1,363	0,275	0,275
7	Thời gian xúc đầy 1 xe ô tô	phút	3,95	6,18	3,95	6,18	3,95	6,18	3,95	6,18
8	Khả năng chứa tối đa đất đá	m^3	22,3	36,9	22,3	36,9	22,3	36,9	22,3	36,9
9	Năng suất ô tô của mỏ khi chưa cải tạo đường	m^3/ca	198,7	302,2	145,59	223,69	225,74	341,50	183,42	279,75
10	Năng suất ô tô của mỏ khi cải tạo đường, vận tốc tăng trùng bình 14,3 %		223,6	338,4	164,9	252,4	253,1	381,0	206,8	314,0
11	Mức tăng năng suất trên đoạn cải tạo đường	%	12,52	11,98	13,28	12,85	12,14	11,56	12,74	12,23
12	Năng suất ô tô trên toàn tuyến khi chạy qua các đoạn đường cải tạo	m^3/ca	202,32	307,46	146,47	225,00	232,79	351,70	184,33	281,10
	Mức tăng năng suất toàn tuyến khi chạy qua các đoạn đường cải tạo	*%*	***1,80***	***1,73***	***0,60***	***0,58***	***3,12***	***2,98***	***0,50***	***0,48***

3.1.6. Theo dõi đánh giá chất lượng đường theo tuổi thọ

3.1.6.1. Một tháng sau khi thi công xong

Sau một tháng đưa vào sử dụng nhóm thực hiện tổ chức đánh giá chất lượng đường theo các hư hỏng chức năng và định lượng sức cản lăn vào ngày 22/02/2022 đối với các tuyến A-A1, A-A2, B-B1 và ngày 23/06/2022 đối với các tuyến A-B, B-B2, B2-C. Một số hình ảnh chất lượng mặt đường thực tế sau một tháng đưa vào sử dụng xem Hình 3.1



Đoạn B-B1 ngày 22/02/2022



Đoạn A-2 ngày 22/02/2022



Đoạn A-B ngày 23/6/2022



Đoạn B-B2 ngày 23/6/2022

Hình 3.1. Chất lượng mặt đường sau một tháng đưa vào sử dụng

1. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo các hư hỏng chức năng DS (Defect Score)

Bảng 3.8. Tổng hợp điểm đánh giá 01 tháng sau khi thi công theo các hư hỏng chức năng DS

Ngày đánh giá: 22/02/2022			Ngày đánh giá: 23/06/2022		
TT	**Tuyến**	**Điểm DS**	**TT**	**Tuyến**	**Điểm DS**
1	A-A1	37	4	A-B	78
2	A-A2	76	5	B-B2	62
3	B-B1	39	6	B2-C	65

2. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo sức cản lăn RDS (Roughness Defect Score)

Bảng 3.9. Tổng hợp điểm đánh giá 01 tháng sau khi thi công theo sức cản lăn RDS

Ngày đánh giá: 22/02/2022				Ngày đánh giá: 23/6/2022			
TT	**Tuyến**	**Điểm RDS**	**RR, %**	**TT**	**Tuyến**	**Điểm RDS**	**RR, %**
1	A-A1	21	2,6	4	A-B	45	2,9
2	A-A2	61	3,5	5	B-B2	34	2,65
3	B-B1	23	2,6	6	B2-C	35	2,67

3.1.6.2. Hai tháng sau khi thi công xong

1. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo các hư hỏng chức năng DS

Bảng 3.10. Tổng hợp điểm đánh giá 02 tháng sau khi thi công theo các hư hỏng chức năng DS

Ngày đánh giá: 29/3/2022			Ngày đánh giá: 28/7/2022		
TT	**Tuyến**	**Điểm DS**	**TT**	**Tuyến**	**Điểm DS**
1	A-A1	102	4	A-B	94
2	A-A2	109	5	B-B2	88
3	B-B1	76	6	B2-C	86

2. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo sức cản lăn RDS

Bảng 3.11. Tổng hợp điểm đánh giá 02 tháng sau khi thi công theo sức cản lăn RDS

Ngày đánh giá: 29/3/2022				Ngày đánh giá: 28/7/2022			
TT	**Tuyến**	**Điểm RDS**	**RR, %**	**TT**	**Tuyến**	**Điểm RDS**	**RR, %**
1	A-A1	58	2,74	4	A-B	58	3,19
2	A-A2	77	3,74	5	B-B2	53	3,08
3	B-B1	43	2,86	6	B2-C	51	3,04

3.1.6.3. Ba tháng sau khi thi công xong

1. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo các hư hỏng chức năng DS

Bảng 3.12. Tổng hợp điểm đánh giá 03 tháng sau khi thi công theo các hư hỏng chức năng DS

Ngày đánh giá: 07/4/2022			Ngày đánh giá: 11/8/2022		
TT	**Tuyến**	**Điểm DS**	**TT**	**Tuyến**	**Điểm DS**
1	A-A1	62	4	A-B	61
2	A-A2	114	5	B-B2	65
3	B-B1	57	6	B2-C	46

2. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo sức cản lăn RDS

Bảng 3.13. Tổng hợp điểm đánh giá 03 tháng sau khi thi công theo sức cản lăn RDS

Ngày đánh giá: 7/4/2022				Ngày đánh giá: 11/8/2022			
TT	Tuyến	Điểm RDS	RR, %	TT	Tuyến	Điểm RDS	RR, %
1	A-A1	46	2,74	4	A-B	34	2,7
2	A-A2	85	3,74	5	B-B2	34	2,7
3	B-B1	31	2,5	6	B2-C	27	2,52

3.1.6.4. Bốn tháng sau khi thi công xong

1. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo các hư hỏng chức năng DS

Bảng 3.14. Tổng hợp điểm đánh giá 04 tháng sau khi thi công theo các hư hỏng chức năng DS

Ngày đánh giá: 18/5/2022			Ngày đánh giá: 29/9/2022		
TT	Tuyến	Điểm DS	TT	Tuyến	Điểm DS
1	A-A1	70	4	A-B	61
2	A-A2	91	5	B-B2	78
3	B-B1	76	6	B2-C	85

2. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo sức cản lăn RDS

Bảng 3.15. Tổng hợp điểm đánh giá 04 tháng sau khi thi công theo sức cản lăn RDS

Ngày đánh giá: 18/5/2022				Ngày đánh giá: 29/9/2022			
TT	Tuyến	Điểm RDS	RR, %	TT	Tuyến	Điểm RDS	RR, %
1	A-A1	40	2,79	4	A-B	36	2,69
2	A-A2	59	3,5	5	B-B2	32	2.81
3	B-B1	43	2,86	6	B2-C	36	2.92

3.1.6.5. Năm tháng sau khi thi công xong

1. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo các hư hỏng chức năng

Bảng 3.16. Tổng hợp điểm đánh giá 05 tháng sau khi thi công theo các hư hỏng chức năng DS

Ngày đánh giá: 23/6/2022			Ngày đánh giá: /10/2022		
TT	Tuyến	Điểm DS	TT	Tuyến	Điểm DS
1	A-A1	83	4	A-B	
2	A-A2	87	5	B-B2	
3	B-B1	75	6	B2-C	

2. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo sức cản lăn RDS

Bảng 3.17. Tổng hợp điểm đánh giá 05 tháng sau khi thi công theo sức cản lăn RDS

Ngày đánh giá: 23/6/2022				Ngày đánh giá: /10/2022			
TT	Tuyến	Điểm RDS	RR, %	TT	Tuyến	Điểm RDS	RR, %
1	A-A1	58	3,06	4	A-B		
2	A-A2	77	3,36	5	B-B2		
3	B-B1	43	2,95	6	B2-C		

3.1.6.6. Sáu tháng sau khi thi công xong

1. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo các hư hỏng chức năng DS

Bảng 3.18. Tổng hợp điểm đánh giá 06 tháng sau khi thi công theo các hư hỏng chức năng DS

Ngày đánh giá: 28/7/2022			Ngày đánh giá: /11/2022		
TT	Tuyến	Điểm DS	TT	Tuyến	Điểm DS
1	A-A1	82	4	A-B	
2	A-A2	104	5	B-B2	
3	B-B1	69	6	B2-C	

2. Đánh giá hiện trạng mặt đường cải tạo theo sức cản lăn RDS

Bảng 3.19. Tổng hợp điểm đánh giá 06 tháng sau khi thi công theo sức cản lăn RDS

Ngày đánh giá: 28/7/2022				Ngày đánh giá: /11/2022			
TT	Tuyến	Điểm RDS	RR, %	TT	Tuyến	Điểm RDS	RR, %
1	A-A1	45	2,45	4	A-B		
2	A-A2	66	3,26	5	B-B2		
3	B-B1	47	2,95	6	B2-C		

3.2. ĐÁNH GIÁ VỀ HIỆU QUẢ KINH TẾ

3.2.1. Chi phí khi vận chuyển trên đoạn đường cải tạo

3.2.1.1. Phương pháp tính toán các yếu tố chi phí

Các chi phí vận tải trên đoạn đường cải tạo (C_{vt}) bao gồm: chi phí vật liệu, nhiên liệu, tiền lương, bảo hiểm xã hội, bảo hiểm y tế, bảo hiểm thất nghiệp, kinh phí công đoàn, kinh phí hoạt động Đảng, khấu hao, và chi phí khác. Công thức tổng quát xây dựng đơn giá vận tải như sau:

$$C_{vt} = C_{vl} + C_{nl} + C_{tl} + C_{bh} + C_{kh} + C_{cpk} \text{ (đ/t.km)}$$

Trong đó: C_{vl}- chi phí vật liệu; C_{nl}- chi phí nhiên liệu; C_{tl}- chi phí tiền lương công nhân trực tiếp, phụ trợ, quản lý phân xưởng; C_{bh}- chi phí BHXH, Y

tế, kinh phí công đoàn, hoạt động Đảng; C_{kh}- chi phí khấu hao; C_{cpk}- chi phí khác phục vụ sản xuất tại phân xưởng.

3.2.1.2. Chi phí vật liệu, nhiên liệu

Chi phí vật liệu, nhiên liệu được tính theo công thức:

$$C_{vl,\ nl} = \text{Lượng tiêu thụ} \times \text{Đơn giá}$$

- Lượng tiêu vật liệu, nhiên liệu tính theo mức chênh lệch so với định mức do Tập đoàn ban hành như đã xác định tại Mục 3.1.

- Giá vật liệu, nhiên liệu tính theo mức giá tại thời điểm Quý III năm 2022 tại Quảng Ninh.

3.2.1.3. Chi phí tiền lương, BHXH, BHYT, BH thất nghiệp, KPCĐ, HĐĐ

Chi phí tiền lương công nhân trong đơn giá vận tải là khoản chi về tiền lương và các khoản phụ cấp lương tương ứng với cấp bậc của công nhân chính, công nhân phụ, phụ trợ, phục vụ theo yêu cầu kỹ thuật và tiền lương quản lý phân xưởng.

BHXH, BHYT, bảo hiểm thất nghiệp được tính theo tiền lương tại Quyết định số 246/QĐ-TKV ban hành ngày 20/02/2020. Tỷ lệ trích nộp bảo hiểm trong giá thành là 23,5 %. Trong đó: BHXH: 17 %, BHYT: 3 %, BH TNLĐ: 0,5 %, BHTN: 1 %. Kinh phí công đoàn: 2 %. Kinh phí hoạt động Đảng tính bằng 0,5 % tiền lương.

3.2.1.4. Chi phí khấu hao (C_{kh})

Căn cứ các quy định tại Thông tư số 45/2013/TT-BTC ngày 25/4/2013 hướng dẫn chế độ quản lý, sử dụng và trích khấu hao tài sản cố định để xác định mức trích khấu hao trung bình hàng năm cho tài sản cố định và tính cho 1 đơn vị sản phẩm theo công thức dưới đây:

$$\text{Mức trích khấu hao trung bình 1 đơn vị sản phẩm} = \frac{\text{Nguyên giá của tài sản cô định}}{\text{Số năm sử dụng} \times \text{số sản phẩm trong 1 năm}}$$

Nguyên giá tài sản tính khấu hao lấy theo giá bình quân thời điểm năm 2022 của Công ty.

3.2.1.5. Chi phí khác

(C_{cpk}) được tính bằng % so với các chi phí trực tiếp ở trên.

Kết quả tính toán xem Bảng 3.20.

Bảng 3.20. Chi phí vận chuyển trên đoạn đường cải tạo

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị tính	Đơn giá	Định mức	Giá thành vận tải các đoạn tuyến theo cung độ			
					Toàn mỏ	A-A1	A-B-B2-C	A-A2
Ô tô 55-58 tấn								
	Năng suất ô tô trong tổ hợp	m^3/ca			202	146	232	184
		t.km/ca			3.023	3.149	3.824	3.033
		t.km/năm			1.832.957	1.909.243	2.318.451	1.838.770
1	Vật liệu				1.310	1.302	1.218	1.319
-	*Tỷ lệ giảm tiêu hao lốp*	*%*			*21,12*	*23,74*	*12,77*	*23,74*
-	*Tiêu hao lốp*	*Bq/10^3 t.km*			*0,0041*	*0,0041*	*0,0041*	*0,0042*
-	*Săm lốp*	*Bq/10^3 t.km*	*192.660.000*	*0,0042*	*791*	*799*	*787*	*801*
-	*Bình điện*	*bộ/10^3 giờ*	*3.566.000*	*0,33*	*4*	*4*	*3*	*4*
-	*Dầu nhờn*	*%*		*2,91*	*98*	*98*	*97*	*99*
-	*Mỡ máy*	*%*		*0,22*	*7*	*7*	*7*	*7*
-	*Phụ tùng sửa chữa*	*%*		*5,40*	*409*	*393*	*323*	*408*
2	Tỷ lệ tiêu hao nhiên liệu	%		6,31	0,1396	0,140	0,138	0,140
	Nhiêu liệu	lít/t.km	24.180	0,140	3.376	3.384	3.348	3.385
3	Tiền lương bậc 6/7	đ/t.km	488.372	1,506	243	234	192	243
4	BHXH, YT, CĐ, HĐĐ	đ/t.km	282.419	1,506	34	33	27	34
5	Chi phí khấu hao	đ/t.km			947	909	748	944
6	Chi phí khác	đ/t.km	41.000	1,00	70	69	64	70
	Giá thành vận tải	**đồng/m^3**			**89.458**	**127.542**	**92.128**	**98.651**
		đ/t.km			**5.980**	**5.930**	**5.598**	**5.994**

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị tính	Đơn giá	Định mức	Giá thành vận tải các đoạn tuyến theo cung độ			
					Toàn mỏ	A-A1	A-B-B2-C	A-A2
Ô tô 91-96 tấn								
1	Năng suất ô tô trong tổ hợp	m^3/ca			307	225	351	281
		t.km/ca			5.569	4.838	5.778	4.625
		t.km/năm			3.376.300	2.933.010	3.502.979	2.804.057
1	Vật liệu				1.202	1.251	1.182	1.268
-	*Tỷ lệ giảm tiêu hao lốp*	*%*			*21,12*	*23,74*	*12,77*	*23,74*
-	*Tiêu hao lốp*	*Bq/10^3 t.km*			*0,00245*	*0,00247*	*0,00243*	*0,00247*
-	*Săm lốp*	*Bq/10^3 t.km*	*352.000.000*	*0,0042*	*864*	*869*	*856*	*871*
-	*Bình điện*	*bộ/10^3 giờ*	*3.566.000*	*0,33*	*2*	*3*	*2*	*3*
-	*Dầu nhờn*	*%*		*2,91*	*45*	*45*	*44*	*45*
-	*Mỡ máy*	*%*		*0,22*	*1*	*1*	*1*	*1*
-	*Phụ tùng sửa chữa*	*%*		*5,40*	*290*	*333*	*279*	*349*
-	*Tiêu hao nhiên liệu*			6,31	0,123	0,124	0,122	0,124
2	Nhiêu liệu	lít/t.km	24.180	0,124	2.985	2.992	2.960	2.993
3	Tiền lương bậc 6/7	đ/t.km	488.372	1,506	132	152	127	159
4	BHXH, YT, CĐ, HĐĐ	đ/t.km	282.419	1,506	19	21	18	22
5	Chi phí khấu hao	đ/t.km			670	772	646	807
6	Chi phí khác	đ/t.km	41.000	1,00	54	57	54	58
	Giá thành vận tải	**đồng/m^3**	**0,00**	**0,00**	**91.787**	**112.820**	**82.087**	**87.359**
		đ/t.km			**5.062**	**5.246**	**4.988**	**5.308**

3.2.2. So sánh đoạn cải tạo và hiện trạng

3.2.2.1. Chất lượng mặt đường

Sau khi thi công chất lượng mặt đường được cải thiện rõ rệt về các thông số: độ bằng phẳng, độ dốc ngang, độ chặt và sức cản lăn, cụ thể xem bảng 3.21.

Bảng 3.21. Tổng hợp so sánh chất lượng đường trước và sau thi công cải tạo

TT	Thông số	Giá trị	
		Trước khi thi công	**Sau khi thi công**
1	Độ bằng phẳng	Mặt đường thường không bằng phẳng, nhiều ổ gà, lượn sóng (chiều sâu 5÷15 cm, rộng đến 5 m), mặt đường lộ đá to	Mặt đương bằng phẳng, thân thiện với xe tải hoạt động trên đường, ít xuất hiện các điểm sình lún.
2	Độ dốc ngang	0÷3 %	3 %
3	Độ chặt	Nhiều khu vực cục bộ có chỉ số CBR =50÷70 %, cá biệt có các khu vực sình lún CBR = 30÷40 % mô đun đàn hồi E < 130 MPa	CBR > 80 %; mô đun đàn hồi E > 130 MPa
4	Sức cản lăn	RR = 2,5÷5,0 %, cá biệt có các khu vực sau khi mưa RR trên 10 %	RR = 2,0÷2,5 %

3.2.2.2. Các thông số vận tải

Sau khi thi công trong điều kiện thời tiết khô ráo tốc độ xe tăng từ 8,5÷17,7 % tùy từng loại xe, trung bình 14,3 %; mức tiêu hao nhiên liệu đối với xe 55-58 tấn giảm 6,31 %,xe 91-96 tấn giảm 6,05 %, năng suất vận tải trên toàn tuyến với xe 55-58 tấn tăng 1,80 %, với xe 91-96 tấn tăng /1,73 %. Chi tiết xem bảng 3.22.

Bảng 3.22. Tổng hợp so sánh các thông số vận tải trước và sau thi công cải tạo

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị		
			Trước khi thi công	**Sau khi thi công**	**Mức chênh lệch, %**
1	Tốc độ trung bình	km/h	22,9÷26,4	30,6÷35,3	14,3
2	Mức tiêu hao nhiên liệu (xe 55-58 tấn/xe 91-96 tấn)	lít/10^3 t.km	156,1/166,2	133,3/142,3	6,31/6,05
3	Mức tiêu hao săm lốp	BQ/1 lượt chạy	0,00276	0,00226	18,03
4	Năng suất vận tải trên toàn tuyến (xe 55-58 tấn/xe 91-96 tấn)	m^3/ca	198,7/302,2	202,32/307,46	1,80/1,73

3.2.2.3. Chi phí vận tải

1. Đơn giá vận tải

Chi phí vận tải trước và sau khi thi công cải tạo được tính toán tương tự như Mục 3.2.1. Kết quả tính toán xem bảng 3.23.

Bảng 3.23. So sánh chi phí vận tải trước và sau khi thi công cải tạo

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị tính	Đơn giá	Định mức	Giá thành vận tải	
					Trước thi công	Sau khi thi công
Ô tô 55-58 tấn						
1	Năng suất ô tô trong tổ hợp	m^3/ca			199	202
		t.km/ca			3.603	3.664
		t.km/năm			2.184.674	2.221.659
2	Vật liệu				1.262	1.241
-	*Tỷ lệ giảm tiêu hao lốp*	*%*				*21,12*
-	*Tiêu hao lốp*	*Bq/10^3 t.km*			*0,0042*	*0,0041*
-	*Săm lốp*	*Bq/10^3 t.km*	*192.660.000*	*0,0042*	*809*	*795*
-	*Bình điện*	*bộ/10^3 giờ*	*3.566.000*	*0,33*	*4*	*4*
-	*Dầu nhờn*	*%*		*2,91*	*99*	*98*
-	*Mỡ máy*	*%*		*0,22*	*7*	*7*
-	*Phụ tùng sửa chữa*	*%*		*5,40*	*343*	*337*
3	Tỷ lệ tiêu hao nhiên liệu	%		6,31	0,1404	0,1396
	Nhiêu liệu	lít/t.km	24.180	0,1404	3.395	3.376
4	Tiền lương bậc 6/7	đ/t.km	488.372	1,506	204	201
5	BHXH, YT, CĐ, HĐĐ	đ/t.km	282.419	1,506	29	28
6	Chi phí khấu hao	đ/t.km			794	781
7	Chi phí khác	đ/t.km	41.000	1,00	66	65
8	***Giá thành vận tải***	***đồng/m^3***			**104.252**	**103.204**
		đ/t.km			**5.750**	**5.692**
Ô tô 91-96 tấn						
1	Năng suất ô tô trong tổ hợp	m^3/ca			302	307
		t.km/ca			5.480	5.569
		t.km/năm			3.322.258	3.376.300

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị tính	Đơn giá	Định mức	Giá thành vận tải	
					Trước thi công	Sau khi thi công
2	Vật liệu				1.223	1.202
-	*Tỷ lệ giảm tiêu hao lốp*	*%*				*21,12*
-	*Tiêu hao lốp*	*Bq/10³ t.km*		*0,0025*	*0,0025*	*0,00245*
-	*Săm lốp*	*Bq/10³ t.km*	*352.000.000*	*0,0025*	*880*	*864*
-	*Bình điện*	*bộ/10³ giờ*	*3.566.000*	*0,330*	*2*	*2*
-	*Dầu nhờn*	*%*		*1,49*	*45*	*45*
-	*Mỡ máy*	*%*		*0,045*	*1*	*1*
-	*Phụ tùng sửa chữa*	*%*		*5,40*	*294*	*290*
3	*Tiêu hao nhiên liệu*			*6,31*		*0,123*
2	Nhiêu liệu	lít/t.km	24.180	0,124	3.002	2.985
4	Tiền lương bậc 6/7	đ/t.km	488.372	1,506	134	132
5	BHXH, YT, CĐ, HĐĐ	đ/t.km	282.419	1,506	19	19
6	Chi phí khấu hao	đ/t.km			681	670
7	Chi phí khác	đ/t.km	41.000	1,0	55	54
8	***Giá thành vận tải***	***đồng/m³***			**92.723**	**91.787**
		đ/t.km			**5.114**	**5.062**

Từ kết quả tính toán ở bảng 3.23 cho thấy, sau khi cải tạo chi phí vận tải trên toàn tuyến giảm 66 đ/t.km đối với ô tô 55-58 tấn, 59 đ/t.km đối với ô tô 91-96 tấn. Với khối lượng vận tải năm 2022 của mỏ Cao Sơn là 598 triệu t.km. Trong điều kiện mặt đường luôn được bảo trì đúng theo quy trình, sức cản lăn đường duy trì ở mức 2,0÷2,5 % thì trong 6 tháng mức tiết kiệm chi phí vận tải là 18 tỷ đồng.

2. Chi phí xây dựng, bảo trì

Chi phí xây dựng và bảo trì theo Phương án cải tạo, nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn điều chỉnh được tổng hợp trong bảng 3.24.

Bảng 3.24. Tổng hợp chi phí xây dựng và bảo trì

Đoạn	Chiều dài, km	Diện tích, m^2	Chi phí xây dựng, đ	Xuất đầu tư, đ/m^2	Chi phí bảo trì (phần CPĐD-M, đ/m^2/tháng

Đoạn	Chiều dài, km	Diện tích, m^2	Chi phí xây dựng, đ	Xuất đầu tư, đ/m^2	Chi phí bảo trì (phần CPĐD-M, đ/m^2/tháng
A-A1	0,417	6.757	798.220.121	118.132	2.800
A-A2	0,275	4.686	1.912.443.594	408.119	
A-B	0,244	4.145	662.374.671	160.273	
B-B1	0,311	6.414	164.867.658	25.704	
B-B2	0,341	3.564	204.932.702	57.861	
B2-C	0,711	12.090	518.732.195	43.275	
Đắp lề			7.426.470		
Tổng	**2,299**	**37.656**	**4.268.997.410**		
Tổng chi phí xây dựng và bảo trì trong 6 tháng, đồng					**4.901.547.410**

Như vậy, sau khi trừ chi phí xây dựng và bảo trì, trong trường hợp đường luôn bảo trì đúng theo quy trình mức lợp nhuận khi đưa các đoạn cải tạo vào sử dụng trong 6 tháng là 13 tỷ đồng.

CHƯƠNG 4. ĐỀ XUẤT PHƯƠNG ÁN TRIỂN KHAI ÁP DỤNG TRONG TOÀN TKV

4.1. CHỈ DẪN KỸ THUẬT PHƯƠNG ÁN CẢI TẠO ĐƯỜNG MỎ

Từ kinh nghiệm rút ra trong quá trình thi công cải tạo các đoạn đường và hiệu quả trong quá trình sử dụng, để đảm bảo chất lượng các loại đường trong mỏ, giải pháp về Chỉ dẫn kỹ thuật thiết kế, thi công đường vận mỏ như sau:

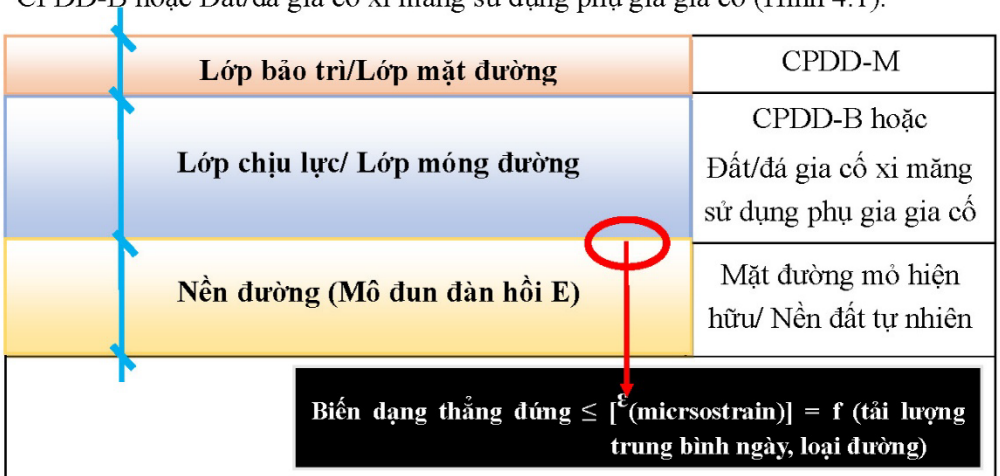
4.1.1. Giải pháp kết cấu:

4.1.1.1. Nguyên lý thiết kế kết cấu theo cơ học:

Kết cấu phải đủ khả năng chịu lực và dễ bảo trì. Theo đó, khả năng chịu lực được thể hiện thông qua biến dạng thẳng đứng tại đỉnh nền đường nhỏ hơn hoặc bằng biến dạng thẳng đứng cho phép (Hình 4.1). Việc dễ bảo trì được thực hiện thông qua thiết kế cấu tạo chiều dầy lớp mặt đường. Lớp mặt đường này sẽ không được đưa vào tính toán thiết kế kết cấu áo nền đường.

4.1.1.2. Giải pháp thiết kế:

Từ triết lý thiết kế nêu trên, kết cấu áo đường mỏ đề xuất gồm 02 lớp: **Lớp bảo trì/lớp mặt đường** bằng CPDD-M và **lớp chịu lực/lớp móng đường** bằng CPDD-B hoặc Đất/đá gia cố xi măng sử dụng phụ gia gia cố (Hình 4.1).



Hình 4.2. Kết cấu áo nền đường đặc trưng của đường mỏ.

- Lớp bảo trì có chức năng đảm bảo cho mặt đường luôn ở trong tình trạng tốt, sức cản lăn nhỏ, xe lưu thông được an toàn, hiệu quả trong vận chuyển và dễ dàng bảo trì sửa chữa.

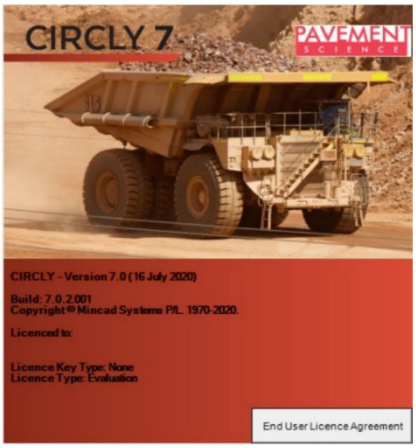
- Lớp chịu lực có chức năng bảo vệ nền đường không bị biến dạng quá mức

theo đúng nguyên lý thiết kế cấu nêu ở trên và đảm bảo cho lớp bảo trì thực hiện đúng chức năng trong kết cấu áo nền đường.

Việc thiết kế kết cấu về bản chất là ***tính toán chiều dầy*** của 02 lớp vật liệu trên, trong đó:

- ***Chiều dầy lớp bảo trì*** được thiết kế theo cấu tạo như sau:
  - Đối với đường tạm thời: chiều dầy trung bình là 100 mm
  - Đối với đường bán cố định/cố định: chiều dầy trung bình là 200mm

- ***Chiều dầy lớp chịu lực*** được tính toán thiết kế theo nguyên lý cơ học sử dụng phần mềm chuyên dụng CIRLY 7.0 (Hình 4.3) Chiều dầy này phụ thuộc với Mô đun đàn hồi E của mặt đường mỏ hiện hữu hoặc nền đất tự nhiên; phụ thuộc vào tải lượng trung bình ngày vận chuyển trên mặt đường mỏ và loại đường (tạm thời, bán cố định, cố định).



Hình 4.4. Phần mềm CIRCLY 7.0 tính toán thiết kế kết cấu nền áo đường mỏ

Chiều dầy lớp mặt và lớp móng (tính toán bằng CIRCLY .0) thực tế đã áp dụng tại mỏ than Cao Sơn được cho trong Bảng 4.1.

Bảng 4.1. Kết cấu mặt đường đề xuất

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị theo các loại đường		
			Cố định	Bán cố định	Tạm thời
1	Mô đun đàn hồi (E) mặt đường hiện trạng	MPa	50÷200		
3	Chiều dầy lớp mặt CPDD-M	cm	20	10÷20	10÷15
4	Chiều dầy lớp móng đất/đá gia cố xi măng	cm	0÷25	-	
5	Chiều dầy lớp móng CPDD-B	cm	25÷50	25÷60	25

Quan sát Bảng 4.2 dễ dàng nhận thấy chiều dầy lớp móng gia cố nhỏ hơn rất nhiều so với chiều dầy lớp móng CPDD-B (và không phụ thuộc nhiều vào mô đun đàn hồi của mặt đường mỏ hiện trạng.

4.1.2. Giải pháp về vật liệu

4.1.2.1. Vật liệu làm lớp mặt

a. CPDD-M:

Vật liệu làm lớp mặt chính là ***CPDD-M***. Đây là loại vật liệu được nghiền từ các tảng đá nổ thải khai thác từ các gương đào có đường kính lớn nhất Dmax = 40 mm (để tránh phá hoại lốp xe và dễ dàng cho công tác bảo trì).

Để đảm bảo các chức năng của mặt đường mỏ (an toàn, thân thiện, hạn chế phát sinh các hư hỏng), vật liệu lớp mặt CPDD-M phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật quy định trong Bảng 4.3 dưới đây:

Bảng 4.4. Yêu cầu kỹ thuật của vật liệu làm lớp mặt CPDD-M

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Yêu cầu kỹ thuật	Phương pháp thí nghiệm
1	Kích thước hạt tối đa (mm)	40	AASHTO T27/TCVN 7572- 2: 2006
2	Hệ số cấp phối (Gc)	20÷35	AASHTO T27/TCVN 7572- 2: 2006
3	Tích co ngót (Sp)	85÷200	AASHTO T27/TCVN 7572- 2: 2006
4	Giới hạn chảy (LL), %	17÷24	AASHTO T89
5	Giới hạn dẻo (PL), %	12÷17	AASHTO T90
6	Chỉ số dẻo (PI)	4÷8	AASHTO T89-90
7	Tỷ lệ bụi* (DR)	0,4÷0,6	AASHTO T27
8	CBR ngâm ở 98 % Mod AASHTO	80	AASHTO T193/TCVN 12790: 2020
** Tỷ lệ bụi được xác định bằng: $P_{0,075}/P_{0,425}$*			

Ngoài ra, đối với những mỏ nằm trong khu vực mưa nhiều thì cần hạn chế lượng hạt lọt sàng 0,075 mm < 10% để tránh hiện tượng sình lầy khi mưa và đối với những nơi khô hanh thì lượng lọt sàng này nên >5% để tránh hiện tượng mặt đường rời rạc, bong bật, không dínhk kết.

Hình 4.4 dưới đây minh họa vật liệu CPDD-M đạt các yêu cầu kỹ thuật quy định tại Bảng 4.5 và Hình 4.5 minh họa chất lượng lớp mặt đường sử dụng CPDD-M sau khi đã được lu lèn, thi công đúng quy cách.



Hình 4.5. CPDD-M đạt chuẩn



Hình 4.6. Mặt đường CPDD-M đạt chuẩn

b. Phụ gia khử bụi

Là vật liệu dạng lỏng, gốc polymer có chức năng cố kết các hạt đất, cốt liệu trên bề mặt mặt đường nhằm ngăn cản sự phát tán các hạt mịn, nhỏ vào trong không khí. Ngoài ra, phụ gia khử bụi liên kết các hạt đất/đá bởi một màng cao su đem lại cho mặt đường một lớp chống thấm, bền và dai (Hình 4.6)



Hình 4.6. Thi công phụ gia khử bụi tại mỏ Cao Sơn

c. Kinh nghiệm rút ra từ thực tế áp dụng CPDD-M tại mỏ Cao Sơn:

Mặc dù CPDD-M đã được sản xuất đáp ứng các tiêu chuẩn quy định tại Bảng 4.6, tuy nhiên, khi gặp trời mưa to, hoặc mưa nhỏ kéo dài trong nhiều ngày thì mặt đường đều rất dễ bị sình lầy. Điều này một phần là do các loại đá nghiền ra CPDD-M có tính ngậm nước cao, một phần do thiếu hệ thống thoát nước mặt của mặt đường, hệ thống rãnh biên, độ dốc ngang, dốc dọc mặt đường không được thiết kế hoặc thiết kế không đảm bảo thoát nước. Để khắc phục điều này, có thể sử dụng một trong các cách sau hoặc sử dụng hỗn hợp các cách:

- Sử dụng phụ gia khử bụi có tính dính kết các hạt nhỏ phun trực tiếp lên bề mặt lớp CPDD-M. Việc thi công phụ gia khử bụi phải được thực hiện bằng máy cào chuyên dụng như hình 4.7, không được sử dụng răng cào của máy san.



Hình 4.7. Răng cào và mặt đường sau khi cào trước khi tưới phụ gia khử bụi

- Loại bỏ thành phần hạt mềm yếu phóng hóa, các hạt đất, sét có trong hỗn hợp CPDD-M và hạn chế lượng hạt lọt qua sàng 0.075 mm < 10%
- Trường hợp các mỏ than thuộc tỉnh Quảng Ninh chịu ảnh hưởng của mưa bão nhiều, cường độ mưa lớn thì có thể xem xét gia cố xi măng lớp mặt đối với những đoạn đường cố định và bán cố định quan trọng. Việc gia cố xi măng cần phải sử dụng phụ gia polymer kiểu Geostab để ngăn ngừa việc nước thấm vào CPDD-M cũng như thấm xuống lớp móng bên dưới. Cường độ chịu nén ở tuổi 07 ngày của hỗn hợp đất/đá gia cố xi măng cần phải đạt tối thiểu 1,5 MPa.
- Thiết kế hệ thống thoát nước đồng bộ với thiết kế kết cấu áo nền đường.

4.1.2.2. Vật liệu làm lớp móng

Vật liệu làm lớp móng là CPDD-B hoặc Đất/đá gia cố xi măng sử dụng phụ gia gia cố geostab.

a. CPĐD-B

Vật liệu CPĐD-B chọn lọc từ đá nổ thải của mỏ, chỉ tiêu chất lượng chính lớp CPĐD-B như sau: Dmax = 200÷300 mm với lượng hạt lọt qua sàng 2 mm không quá 20 %, các chỉ tiêu khác trình bày trong Bảng 4.7.

Bảng 4.7. Các chỉ tiêu cơ lý yêu cầu của vật liệu CPĐD-B

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Yêu cầu kỹ thuật	Phương pháp thí nghiệm
1	Lượng lọt sàng 2 mm, %	< 20 %	AASHTO T27/TCVN 7572- 2: 2006
2	Khối lượng thể tích, g/cm^3	≥ 2	AASHTO T85/ TCVN 7572- 4: 2006
3	Cường độ nén dọc trục nở hông, MPa	≥ 50	TCVN 7572-10: 2006
4	Hệ số mài mòn Los Angeles, %	< 30 %	AASHTO T96/ TCVN 7572- 12: 2006
5	Đường kính danh định lớn nhất, D_{max}	< 2/3 chiều dày lớp thi công, [200÷300]mm	AASHTO T27/TCVN 7572- 2: 2006

Hình 4.6 dưới đây minh họa vật liệu CPDD-B đạt các yêu cầu kỹ thuật quy định tại Bảng 4.8 và Hình 4.8 minh họa CPDD-B được sử dụng làm lớp móng đường đặt trực tiếp trên nền đường và đặt ngay dưới lớp mặt đường bằng CPDD-M.



Hình 4.9. CPDD-B sử dụng làm lớp chịu lực/lớp móng của đường vận tải mỏ

b. Đất/đá gia cố xi măng sử dụng phụ gia geostab

Đất/đá sử dụng trong hỗn hợp gia cố với xi măng và phụ gia Geostab cần phải có Dmax = 40mm. Nếu là đất thì tốt nhất là loại đất A1-A3 theo phân loại

của AASHTO M145. Còn nếu là đá thì phải được nghiền từ đá tảng nổ thải về kích thước ≤ 40mm để phù hợp cho việc chế tạo đá gia cố xi măng (Hình 4.9).

Cường độ chịu nén ở tuổi 07 ngày của hỗn hợp đất/đá gia cố xi măng phải đạt tối thiểu 4,0 MPa.



Đất A1 tại cao trình +200 mỏ Cao Sơn



CPDD-M sản xuất tại mỏ Cao Sơn



Xi măng PCB 30



Phụ gia polymer Geostab



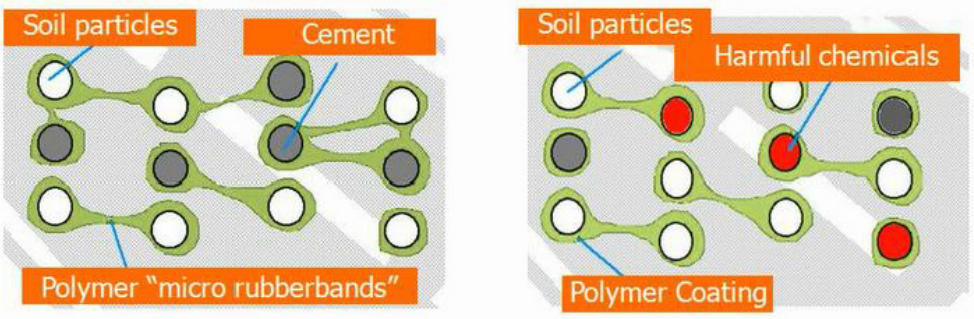
Đất/đá gia cố xi măng&geostab

Hình 4.9. Vật liệu thành phần của hỗn hợp đất/đá gia cố xi măng&phụ gia geostab.

<u>Một số cơ chế gia cố đất/đá xi măng của phụ gia geostab</u>.

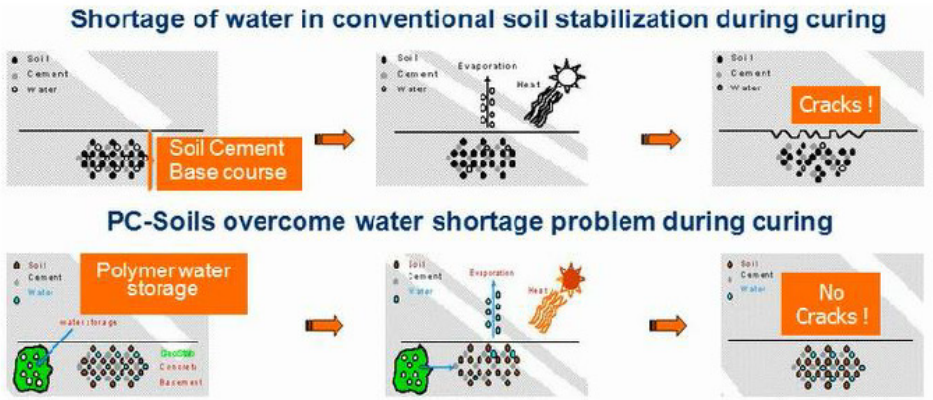
- Cơ chế "màng cao su" (Rubberbands): Giữa các hạt đất/đá hoặc/và hạt xi măng ngoài được dính kết bởi liên kết thủy lực (do xi măng thủy hóa) còn được bao bọc và liên kết bởi màng liên kết cao su latex hình thành từ vật liệu geostab

(hình 4.10). Đây chính là cơ sở cho việc hình thành vật liệu xi măng đất/đá có tính dẻo cao (flexibility) chống nứt và chống thấm nước do sự hình thành những tấm bê tông nguyên khối (monolithic).



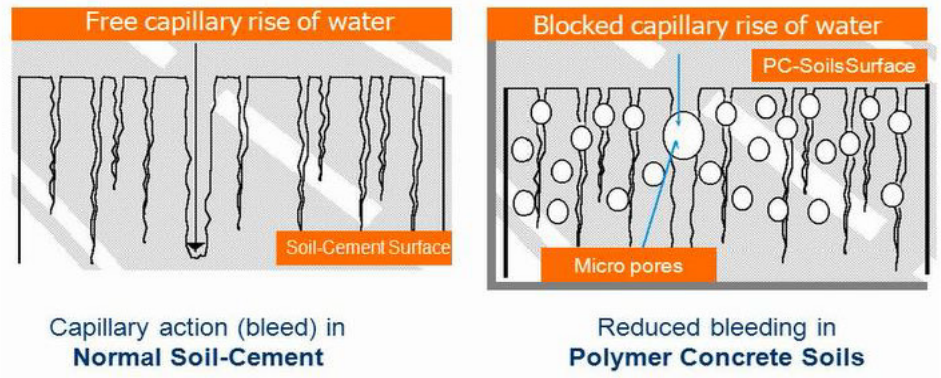
Hình 4.10. Màng cao su (rubberband) bao phủ và liên kết các hạt đất/đá hoặc/và các hạt xi măng

- Cơ chế "giữ nước" (water storage) trong quá trình bảo dưỡng của phụ gia geostab giúp cho hỗn hợp xi măng đất/đá không bị mất nước do bay hơi khi nhiệt độ cao. Nhờ đó, khối đất/đá gia cố xi măng luôn có đủ nước để các phản ứng thủy hóa của xi măng diễn ra, giúp cho việc hình thành cường độ được thuận lợi ngay thời điểm trước mắt cũng như lâu dài. Ngoài ra, nhờ khả năng giữ nước của geostab, nên khối xi măng đất/đá sẽ hạn chế việc hình thành nứt do co ngót trong quá trình bảo dưỡng hỗn hợp. Đây là cơ sở cho phép hạn chế hiện tượng thấm nhập nước thông qua các vết nứt.



Hình 4.11. Khả năng giữ nước (water storage) trong quá trình bảo dưỡng của geostab giúp cho khối xi măng đất/đá không bị nứt do co ngót.

- Cơ chế "vi lỗ rỗng" (micro pores) hình thành trong khối xi măng đất/đá giúp ngăn cản nước thấm vào hoặc rỉ ra khỏi hỗn hợp do lực hút mao dẫn (capillary). Đây là cơ sở cho phép các lớp đất/đá gia cố xi măng và phụ gia geostab hạn chế việc thấm và ngấm nước từ trên xuống cũng như từ dưới lên.



Hình 4.12.Các vi lỗ rỗng (micro pores) ngăn cản nước rỉ ra hoặc thấm vào hỗn hợp xi măng đất gia cố geostab.

Với các cơ chế nêu trên, hỗn hợp đất/đá gia cố xi măng và phụ gia geostab sau thời gian bảo dưỡng (khoảng 2h-4h) sẽ trở thành những tấm bê tông liền khối vừa có cường độ lại vừa có tính mềm dẻo phù hợp để làm mặt đường mỏ đảm bảo chức năng chịu lực cũng như khả năng chống thấm nước vào bản thân khối đất/đá gia cố cũng như các lớp vật liệu hạt rời phía dưới. Điều này giúp kéo dài tuổi thọ con đường, hạn chế các hư hỏng liên quan đến chức năng của con đường cũng như sức cản lăn.

c. Kinh nghiệm rút ra từ thực tế áp dụng CPDD-B và Đất/đá gia cố xi măng và phụ gia Geostab tại mỏ Cao Sơn:

c.1. CPDD-B:

- Việc chọn lựa đá nổ thải có Dmax = [200-300]mm với khối lượng lớn là tương đối khó khan do mỏ than Cao Sơn chưa được trang bị mày nghiền hàm.

- Việc lựa chọn còn dựa trên quan sát chủ quan, cảm tính của người kỹ sư do vậy rất khó đảm bảo chất lượng cho việc lựa chọn này dẫn đến việc lu lèn khó khan, thi công lớp móng vì vậy rất khó đảm bảo chất lượng. Ngoài ra, mỏ than Cao Sơn nằm trong vùng mưa nhiều với cường độ lớn khiến cho lớp móng bằng CPDD-B về bản chất là vật liệu rời rạc kết hợp việc lu chặt không đảm bảo (do kích thước hạt quá khổ > Dmax) sẽ dễ bị nước thấm nhập từ trên xuống

cũng cũng từ dưới lên. Vì vậy, CPDD-B sẽ bị phá hoại rất nhanh, mất cường độ làm cho mặt đường bị trồi lún, mấp mô, ổ gà, sống trâu và lún vệt bánh xe.

- Thiết bị phù hợp cho thi công lu lèn chặt đá to có Dmax lên tơi 300 mm hiện còn thiếu và chưa sẵn có ở Việt Nam. Kinh nghiệm thi công loại vật liệu này còn ít và thiếu.

- Phạm vi sử dụng CPDD-B tại mỏ than Cao Sơn chỉ nên áp dụng cho các tuyến đường tạm thời, những nơi, vị trí mà tình trạng chịu lực không quá phức tạp

c.1.2. Đất/đá gia cố xi măng và phụ gia geostab.

- Đất/đá để gia cố sẵn có ở trong mỏ than Cao Sơn (Hình 4.7). Tuy nhiên tại mặt đường hiện trạng mặc dù có các loại đất đá này nhưng lại bị lẫn rất nhiều đá to quá khổ, vượt qua rất nhiều giá trị Dmax =40 mm. Do đó, để thi công được, cần thiết phải rải lên mặt đường hiện hữu một lớp đất/đá dầy tối thiểu 20cm. Lưu ý phải bù vênh trước khi rải.

- Qua thực tế áp dụng tại đoạn đường AA2 với chiều dài 275 m là đoạn đường chịu lực hết sức phức tạp, đặc biệt đoạn trước miệng đổ đá vào trạm nghiền, cho thấy đất/đá gia cố xi măng và phụ gia geostab có khả năng chịu lực mặc dù có những đoạn chưa được như mong muốn. Để cải thiện khả năng chịu lực, nhất thiết phải thiết kế hệ thống thoát nước cho toàn bộ mặt đường. Ngoài ra có thể cải thiện cấp phối đá theo hướng áp dụng tiêu chuẩn TCVN 8858:2022, với hàm lượng hạt thô nhiều hơn.

- Thi công đơn giản hơn so với CPDD-B do chiều dầy thi công nhỏ hơn cũng như thiết bị thi công đồng bộ hơn và đã sẵn có ở Việt Nam. Đã có nhà thầu có nhiều kinh nghiệm sử dụng, vận hành đồng bộ dây chuyền thi công này, ví dụ như Infrasol.

- Phạm vi áp dụng: Đất/đá gia cố xi măng và phụ gia geostab có độ dẻo cao do cơ chế màng cao su của geostab đem lại, nhờ đó loại vật liệu này có khả năng kháng nứt tốt ngăn cản sự thấm nhập của nước gây phá hoại kết cấu lớp móng. Do đó, nên áp dụng vật liệu này tại các đoạn đường cố đinh và bán cố định quan trọng, những nơi chịu lực phức tạp như điểm quay xe, khúc cua, vị trí xe đổ đá vào trạm nghiền.

- Ưu điểm của đất/đá gia cố xi măng và phụ gia geostab so với CPDD-B đó chính là khả năng kháng thấm nước, nhờ đó, tạo ra lớp vật liệu đóng vai trò như màng ngăn chống thấm nước xuống nền đường. Điều này đem lại lợi thế lớn khi

thi công ở những mỏ nằm trong vùng chịu ảnh hưởng thường xuyên của mưa bão, mưa lớn kéo dài. Ngoài ra, đối với những mỏ không có nhiều đá, lớp vỏ bóc dỡ chủ yếu là đất (ví dụ các mỏ boxit) thì lớp móng được làm bằng đất gia cố xi măng và phụ gia geostab là hợp lý, đảm bảo khai thác liên tục trong cả năm, ngay cả mùa mưa.

4.1.3. Giải pháp về thi công và thiết bị thi công.

4.1.3.1. Giải pháp về thi công

a. Đảm bảo thoát nước mặt đường

- Khơi thông hệ thống thoát nước đảm bảo thoát hết nước mặt trước khi thi công móng và áo đường, luôn duy trì kích thước rãnh trong và sau khi thi công bằng cách nạo vét thường xuyên sau mỗi cơn mưa đặc biệt là trước mùa mưa;

- Đảm bảo mặt đường CPĐD-M phải có độ dốc ngang 3 % để thu nước về 02 bên rãnh dọc, điểm chuyển tiếp có độ dốc ngang bằng 0 % cần bố trí tại các đoạn có độ dốc dọc ≥ 2 %. Độ dốc ngang hình thành từ quá trình thi công nền đường và phải đạt thông số thiết kế trước khi rải các lớp cấp phối;

- Phạm vi ngoài vệt xe chạy đến mép rãnh cần gia cố lề bằng đất đá nổ mìn của mỏ. Lề gia cố có độ dốc 3÷6 % về phía rãnh dọc.

b. Đảm bảo độ bằng phẳng, cường độ, độ lún của lớp móng nằm ngay dưới CPĐD-M

- Để giảm thiểu các vùng yếu cục bộ và việc bù phụ trong trường hợp mặt đường hiện hữu lồi lõm, gồ ghề do cấp phối đất đá mặt đường không đảm bảo, có nhiều đá to, nhất thiết phải tạo mặt phẳng và dốc ngang nền đường hiện hữu trước khi thi công các lớp cấp phối. Việc tạo phẳng được thực hiện bằng chính CPĐD-B (hình 4.13) là đá nổ mìn được lựa chọn bỏ đi các tảng đá quá khổ (≥ 200 mm).

- Trường hợp mặt đường còn trong thời gian nén lún do mới thi công đắp hoặc có nhiều đá to quá khổ trên mặt đường thì tuyệt đối không được thi công bất kỳ lớp CPĐD nào.

- Đối với CPĐD-M có D_{max} = 40 mm, thi công thành 02 lớp với chiều dày mỗi lớp không được lớn hơn 150 mm. Lu lèn chặt tới độ chặt K98 và giá trị CBR ≥ 80 %.



Hình 4.13. Thi công lớp tạo phẳng và chịu lực bằng CPDD-B (Hình ảnh thực tế từ mỏ Cao Sơn)

- Sử dụng xe ủi bánh xích để san gạt và lu lèn sơ bộ CPĐD-B sau đó dùng lu bánh thép để lu lèn. Nếu sử dụng lu rung bánh thép < 20 tấn chỉ được phép thi công các lớp CPĐD-B có chiều dày < 150 mm. Trường hợp lu rung bánh thép > 23 tấn, chiều dày thi công CPĐD-B < 200 mm. Việc lu lèn loại CPĐD-B này không cần thiết phải tưới ẩm (lu lèn khô). Số lượt lu: đến khi không thấy bất cứ một vệt biến dạng nào.

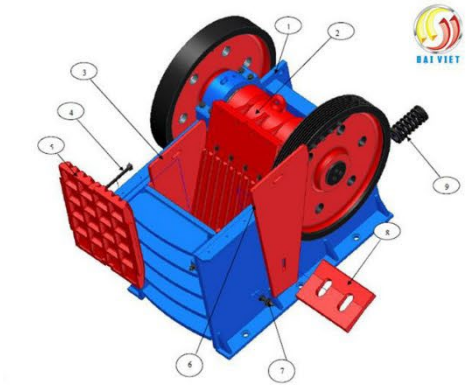
Ngoài ra, có thể tận dụng xe vận tải mỏ để lu lèn CPĐD-B/xe ủi bánh xích bằng cách cho xe lưu thông sau khi lu lèn sơ bộ. Tuy nhiên, trong mọi trường hợp nên trang bị lu rung bánh thép >23 tấn để có thể lu lèn chặt CPDD-B có Dmax =[200-300] mm, thông thường bằng 2/3 chiều dầy lớp thi công.

4.1.3.2. Giải pháp về thiết bị thi công

a. Máy nghiền đá:

Bao gồm máy nghiền hàm và máy nghiền đập hoặc côn. Trong đó, máy nghiền hàm được sử dụng để chế tạo CPDD-B còn máy nghiền đập hoặc côn được sử dụng để chế tạo CPDD-M.

Đối với các mỏ vỉa bóc dỡ chủ yếu là đá tảng to, việc trang bị máy nghiền đá là cần thiết để tạo ra hỗn hợp có đầy đủ các cỡ hạt và Dmax không quá khổ để không bị khó khi lu lèn. Ngoài ra, máy nghiền đá cũng tạo ra hỗn hợp Dmax =40 mm phù hợp để làm lớp mặt đường thân thiện với xe.



Hình 4.14. Máy nghiền hàm



Hình 4.15. Máy nghiền đập/côn

b. Xe lu rung bánh thép 23 tấn

Để lu chặt cấp phối có Dmax =[200-300] mm, cần thiết phải có lu rung bánh sắt 23 tấn. Có thể lu sơ bộ hỗn hợp CPDD-B bằng xu ủi bánh sắt được trang bị trong mỏ.



Hình 4.16. Xe ủi bánh xích tại mỏ Cao Sơn

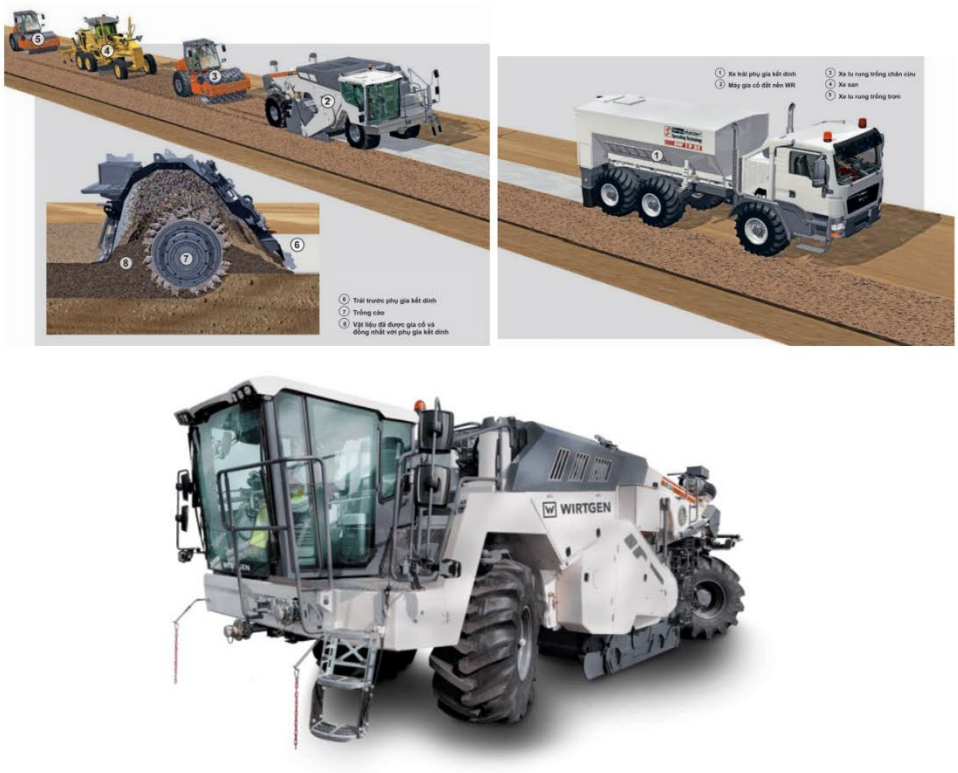


Hình 4.17. Xe lu rung bánh thép

c. Xe gia cố đất/đá xi măng và phụ gia gia cố.

Đối với các mỏ mà vỉa bóc dỡ chủ yếu là đất thì lớp mặt, lớp móng làm bằng vật liệu đất gia cố xi măng là phù hợp. Để có thể thi công và tạo ra đường mỏ bằng vật liệu gia cố, cần thiết phải trang bị dàn thiết bị thi công dùng cho gia cố đất tại chỗ (Hình 4.18.). Trong đó, chủ lực là máy gia cố được trang bị trống cào và răng cào có tác dụng trộn đều đất/đá trên mặt đường hiện hữu với xi măng và sau đó, nước đã được hòa tan phụ gia sẽ phun vào trống cào qua đường

ống riêng biệt. Ngay sau đó là dàn lu sơ bộ, lu nặng và lu hoàn thiện để hoàn thiện mặt đường. Ngoài ra trước xe gia cố là xe rải xi măng.



Hình 4.19. Dàn thiết bị thi công đất/đá gia cố xi măng và phụ gia geostab



Hình 4.20. Máy gia cố Wirtgen 240 của công ty Infrasol trên công trường AA2

d. Thiết bị răng cào.

Thiết bị này được sử dụng cho bảo trì mặt đường, đặc biệt cho công tác phun tưới phụ gia khử bụi.



Hình 4.21. Thiết bị răng cào dùng cho bảo trì

4.1.4. Giải pháp bảo trì mặt đường

Để duy trì chất lượng mặt đường, phải thực hiện bảo trì ngay khi thi công xong và đưa tuyến đường vào khai thác. Quy trình bảo trì bao gồm các bước sau:

4.1.4.1. Đánh giá hư hỏng theo tổng điểm chức năng DS và xác định tần suất bảo trì.

a. Đánh giá hư hỏng theo tổng điểm chức năng

Các hư hỏng cần đánh giá bao gồm: ô gà, lượn sóng, lún vệt bánh xe, bong bật vật liệu, mặt đường đá dăm to, bụi bẩn, nứt dọc, nứt trượt, nứt cá sấu, sức kháng trượt khô, ướt. Các hư hỏng trên được đánh giá bằng cách tính tổng điểm hư hỏng theo mẫu tại bảng 1.11. Sau khi tính được tổng điểm DS, so sánh tổng điểm DS với các điểm giới hạn 130 và 60:

- Nếu một trong các loại hư hỏng trên vượt qua ngưỡng giới hạn lớn nhất của hư hỏng [DSmax] hoặc DS > 130 cần thực hiện ngay việc bảo trì.

- 60 < DS <130 hoặc một hay nhiều điểm DS > [DS_{max}] cần thực hiện bảo trì ngay nhưng đường vẫn có thể cho phép xe lưu thông.

- DS < 60 mà một hay nhiều điểm DS > [DS_{max}] thì cũng cần phải thực hiện

bảo trì ngay mặc dù xe vẫn được phép lưu thông.

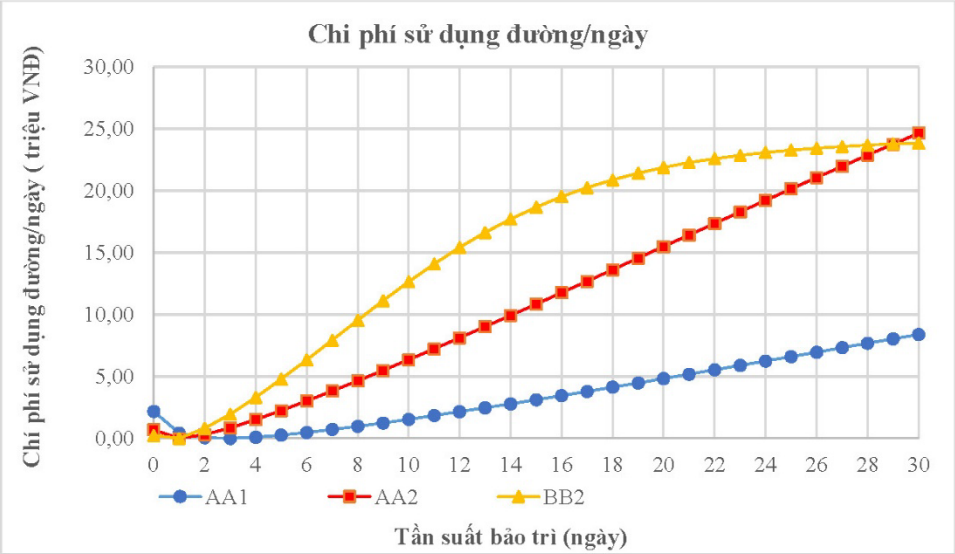
Lưu ý: Do các đặc tính chức năng của đường liên quan mật thiết đến khả năng thoát nước và xói mòn bề mặt của mặt đường, trường hợp khả năng thoát nước kém và xảy ra xói mòn thì cần phải có các biện pháp xử lý, sửa chữa cho riêng 02 đặc tính này.

b. Xác định tần suất bảo trì theo sức cản lăn RR.

Xác định tần suất bảo trì trên nguyên tắc chi phí sử dụng đường là nhỏ nhất. Các bước xác định tần suất bảo trì nêu chi tiết tại muc 1.7.2.

Hình 4.21 minh họa tần suất bảo trì của đoạn đường AA1, AA2 và BB2. Theo đó, tần suất bảo trì của đoạn đường AA1 là 03 ngày; của AA2 và BB2 là 01 ngày.

Trường hợp trời mưa hoặc bất kỳ một trong 11 hư hỏng có điểm chức năng DS > [DSmax] thì không phụ thuộc vào tần suất bảo trì xác định ở trên thì cũng cần phải tiến bảo trì ngay lập tức như quy định tại mục a nêu trên.



Hình 4.22. Xác định tần suất bảo trì cho các đoạn đường

4.1.4.2. Tiến hành bảo trì

a. Bảo trì bằng cách rải và lu lèn CPDD-M

Trường hợp, kết cấu áo nền đường có các hư hỏng về kết cấu như trồi lún, mấp mô, lượn sóng, ổ gà, sống trâu, lún vệt bánh xe, sình lún cục bộ thì phải khảo sát bằng DCP hoặc LWD để xác định CBR hoặc mô đun đàn hồi E. Nếu

các giá trị CBR <80 hoặc E< 150 MPa thì cần phải đào, bóc bỏ lớp vật liệu yếu và thay thế bằng vật liệu CPDD-M hoặc vật liệu khác mà sau khi lu lèn CBR> 80 và E > 150 MPa. Trường hợp cần thiết phải tính toán lại kết cấu sử dụng phần mềm CIRLY 7.0 và vật liệu CPDD-B làm lớp móng. Ngược lại, khi không xuất hiện hư hỏng kể trên thì tiến hành bảo trì bằng cách san rải, lu lèn CPDD-M theo trình tự như dưới đây:

1. Chuẩn bị vật liệu:

+ Đối với các đoạn đường cải tạo khối lượng CPĐD-M sử dụng cho công tác bảo trì không lớn (5.000÷7.000 m3/năm), có thể chọn lọc từ đất đá nổ mìn của mỏ. Khi áp dụng rộng rãi cho toàn mỏ và các mỏ thuộc TKV trong khu vực, xem xét đầu tư hệ thống nghiền sàng để chủ động nguồn vật liệu cho công tác xây dựng và bảo trì lâu dài.

2. Hệ thống thiết bị thực hiện công tác bảo trì

Để thực hiện công tác bảo trì cần sử dụng các thiết bị: máy xúc TLGN E = 1 m^3 để xúc bốc CPĐD-M, nạo vét mương rãnh, máy san gạt bánh lốp có răng cào (grader) để san rải cấp phối, ô tô tưới nước (đảm bảo độ ẩm yêu cầu khi lu lèn). Xe lu rung tự hành - trọng lượng tĩnh 23 tấn để lu lèn cấp phối.

b. Bảo trì bằng cách sử dụng xe san gạt.

Thực hiện công tác bảo trì này đối với những hư hỏng như trượt khô, trượt ướt, mặt đường rời rạc, bong bật.

c. Bảo trì phun tưới khử bụi.

Thực hiện công tác bảo trì này đối với những hư hỏng như mặt đường bụi bẩn khi khô nắng hoặc sình lầy khi mưa, ướt.

4.2. KHẢ NĂNG ÁP DỤNG TẠI CÁC ĐƯỜNG CỐ ĐỊNH, BÁN CỐ ĐỊNH, TẠM THỜI

4.2.1. Đối với các đoạn cố định

Nền các đường cố định thường đã ổn định qua thời gian sử dụng, do vậy sẽ tiến hành sửa chữa lớp mặt và lớp móng giải pháp cụ thể như sau:

Đối với các tuyến có mật độ lưu thông cao, đoạn cua quay xe, nơi vị trí xe đổ đá thải vào trạm nghiền, nơi khả năng thoát nước kém mặt đường hiện hữu bằng phẳng (chỉ tồn tại các hư hỏng về đá to, vật liệu bong bật, không lượn sóng mấp mô, trồi lún, và ổ gà thì tiến hành rải một lớp CPĐD, gia cố với xi măng và phụ gia polime geostab có Mô đun đàn hồi khi hoàn thiện E (đo bằng thiết bị

LWD) ≥ 250 MPa với chiều dày từ 20-25 cm. Cường độ chịu nén, Rn ở 7 ngày tuổi xác định trong phòng thí nghiệm đạt 4,0 MPa. Trên lớp CPDD-M gia cố xi măng, rải và lu lèn một lớp đất/đá gia cố xi măng với chiều dầy 10-15cm và phụ gia geostab có Rn ở 7 ngày tuổi đạt 1,5 MPa và E- LWD ≥ 200 MPa làm lớp mặt đường hay lớp bảo trì. Trường hợp mặt đường thoát nước tốt, không trơn trượt sình lầy khi ướt thì thay lớp đất/đá gia cố xi măng và phụ gia geostab bằng CPDD-M không gia cố có chiều dầy là 20 cm.

Đối với mặt đường hiện hữu không bằng phẳng, biên độ bù vênh lớn hoặc những vị trí yếu cục bộ, các điểm sình lầy, cao su, ổ gà, sống trâu, trồi lún lớn (> 10cm), thoát nước kém thì cần phải xử lý cục bộ bằng cách đào bỏ vật liệu tại điểm yếu đó đến chiều sâu khoảng 50-60 cm hoặc theo chiều sâu thiết kế từ phần mềm CIRLY 7.0, sau đó bù lại bằng CPĐD-B có chiều dày tương ứng với chiều sâu đào bỏ. Sau đó, tiến hành rải lớp CPĐD-M có chiều dày 20÷25 cm gia cố với xi măng và phụ gia polime geostab tạo lớp ngăn nước thấm từ mặt xuống và có E (đo bằng thiết bị LWD) ≥ 250 MPa MPa làm lớp mặt hay lớp bảo trì. Trường hợp mặt đường thoát nước tốt, không trơn trượt sình lầy khi ướt thì thay lớp CPDD-M gia cố xi măng và phụ gia geostab bằng CPDD-M không gia cố có chiều dầy là 20 cm.

4.2.2. Đối với các đoạn bán cố định

Khi mặt đường hiện hữu tương đối bằng phẳng, thoát nước tốt (mô đun đàn hồi E ≥ 150 MPa hoặc chỉ số CBR ≥ 80 % độ dốc ngang 2÷4 %) thì chỉ cần rải trực tiếp CPĐD-M với chiều dày 20÷25 cm. CPĐD-M được chia thành hai lớp với chiều dày mỗi lớp từ 10÷15 cm để thi công. Sử dụng máy san san đều vật liệu, máy lu tải trọng ≥ 23 tấn lu lèn chặt với số lượt lu được tính cho đến khi không xuất hiện bất cứ sự biến dạng nào trên mặt đường hoặc đạt được mức chất lượng lu như quy định tại hình 4.22b. Trong quá trình lu kiểm soát độ ẩm vật liệu băng Độ ẩm tối ưu± 2%.

Khi mặt đường hiện hữu tồn tại các hư hỏng như trồi lún, mấp mô, ổ gà, mặt đường đọng nước cần xử lý lại bề mặt đường hiện hữu để tránh những ổ gà, lún, lượn sóng sâu (> 10 cm). Giả pháp cụ thể là bóc bỏ các khu vực sình lún tới độ sâu thiết kế (xác định bằng phần mềm CIRLY 7.0), thay thế bằng CPĐD-B lu lèn chặt, độ phẳng, độ dốc ngang được khắc phục bằng cách rải lớp CPĐD-B có chiều dày tương ứng với chiều sâu thiết kế, chia thành 1÷3 lớp để thi công. Sau khi độ chặt lớp CPĐD-B ổn định, tiến hành rải lớp CPĐD-M với chiều dày 20÷25 cm, san gạt lu lèn chặt với lu rung bánh thép ≥ 23 tấn cho đến khi không

thấy bất cứ sự biến dạng nào hoặc mặt lớp lu đạt được mức chất lượng như minh họa tại hình 4.22b. Trong quá trình lu kiểm soát độ ẩm vật liệu bằng Độ ẩm tối ưu ± 2%.

4.2.3. Đối với các đoạn đường tạm thời

Đặc điểm của hệ thống đường này là sau khoảng 04÷06 tháng và tối đa là 01 năm, sau đó sẽ được thay thế do mỏ khai thác xuống sâu. Để phù hợp với đặc điểm này, giải pháp công nghệ như sau:

Nền đường cào bóc, nghiền đập tại chỗ hoặc rải một lượt lớp CPĐD-B với chiều dày theo thiết kế, san gạt lu lèn sơ bộ bằng máy gạt và máy lu rung bánh thép ≥ 23 tấn không cần tưới ẩm với 7÷10 lượt lu. Ngoài ra, có thể tận dụng máy ủi có trọng lượng >45 tấn, 300 kW (máy ủi D9) để lu lèn sơ bộ; lu lèn hoàn thiện bằng máy lu tương tự với số lượt lu 10÷15 lượt hoặc sử dụng xe tải mỏ để gia cường lớp nền từ 1÷3 ngày tùy lưu lượng xe qua. Sau khi lớp nền ổn định rải lớp CPĐD-M với chiều dày 10÷15 cm lu lèn chặt với lu rung bánh thép ≥ 23 tấn cho đến khi không thấy bất cứ sự biến dạng nào hoặc mặt lớp lu đạt được mức chất lượng như minh họa tại hình 4.22b. Trong quá trình lu kiểm soát độ ẩm vật liệu bằng Độ ẩm tối ưu ± 2%.

4.3. PHƯƠNG ÁN TRIỂN KHAI TẠI CÁC MỎ THUỘC TKV

Hiện tại các mỏ lộ thiên thuộc TKV hầu hết đều đã đầu tư máy san để xây dựng và bảo trì đường theo công nghệ truyền thống là san rải đất đá nổ mìn trọn lọc và lu lèn bằng chính các phương tiện vận tải của mỏ. Riêng mỏ đồng Sin Quyền đã đầu tư trạm nghiền đá và máy lu để xây dựng và sửa chữa đường. Với những kết quả thi công Phương án cải tạo nâng cao chất lượng đường tại mỏ than Cao Sơn và chất lượng đường tại mỏ Sin Quyền, đề xuất Phương án triển khai tại các mỏ lộ thiên lớn thuộc TKV như sau:

Đối với các mỏ quặng đồng: Công tác xây dựng và bảo trì đường bằng tổ hợp trạm nghiền, máy san gạt, máy lu tại mỏ đồng Sin Quyền cho thấy công nghệ này phù hợp với đặc điểm tự nhiên, kỹ thuật tại mỏ, chất lượng mặt đường được cải thiện rõ rệt. Do đó, có thể triển khai tại mỏ đồng Tả Phời với quy mô tương tự. Tuy nhiên, đối với những đoạn đường thoát nước kém và chịu ảnh hưởng thường xuyên của nước thì phương pháp gia cố đất/đá bằng xi măng và phụ gia geostab của công ty Infrasol như đã áp dụng tại đoạn AA2 của mỏ than Cao Sơn có thể xem xét áp dụng. Để đảm bảo chất lượng tổng thể cho mạng lưới đường tại các mỏ đồng cần xem xét các giải pháp đã đề xuất tại mục 4.1.Chỉ dẫn

kỹ thuật phương án cải tạo đường mỏ bao gồm các giải pháp thiết kế kết cấu, giải pháp về vật liệu, giải pháp về thi công và thiết bị thi công và giải pháp về bảo trì.

Đối với các mỏ bauxite hoặc các mỏ có các vỉa bóc tầng chủ yếu là đất, mặt đường chịu ảnh hưởng lớn của nước, sình lầy nghiêm trọng trong mùa mưa thì công nghệ gia cố đất bằng xi măng và phụ gia geostab thực hiện trên đoạn AA2 tại mỏ Cao Sơn của công ty Infrasol là giải pháp phù hợp để giải quyết vấn đề vẫn có thể khai thác trong những tháng mùa mưa. Tương tự như các mỏ đồng ở trên, để đồng bộ hóa chất lượng mặt đường của mạng lưới đường trong mỏ cần xem xét áp dụng các giải pháp đã nêu tại mục 4.1.

Đối với các mỏ than lộ thiên vùng Cẩm Phả, là vùng mà các vỉa bóc dỡ chủ yếu là đá và các tuyến đường được xây dựng từ trước đến nay bằng đá nổ thải không tuân theo quy luật cấp phối, có Dmax lớn hơn rất nhiều so với Dmax quy định là [200-300] mm đối với lớp móng và Dmax =40 mm đối với lớp mặt lại không được lu lèn chặt theo đúng quy cách. Đặc biệt, vùng Cẩm phả hàng năm đều chịu những cơn bão lớn, lượng mưa nhiều với cường độ lớn. Kết hợp với thực tiễn từ đoạn thi công thử nghiệm 2,3 km tại mỏ than Cao Sơn và các thông số thống kê dưới đây (Bảng 4.9): Tổng chiều dài các loại đường khoảng 150 km trong đó phần lớn (74 %) là đường tạm thời, đường cố định chỉ chiếm khoảng 10 %, còn lại là đường bán cố định (15 %), giải pháp đề xuất ở đây chính là các giải pháp nêu tại mục 4.1. Trong đó, đặc biệt lưu ý các vấn đề sau:

- Đầu tư trạm nghiền đá bao gồm nghiền hàm để sản xuất CPDD-B với khối lượng lớn và trạm nghiền đập/côn để sản xuất CPDD-M
- Đầu tư lu rung bánh thép trên 23 tấn để thực hiện việc lu lèn các lớp CPDD-B và CPDD-M.
- Thiết kế kết cấu áo nền đường cần thiết phải sử dụng phần mềm CIRCLY7.0 để tính toán chính xác chiều dầy hợp lý lớp CPDD-B
- Đối với những đoạn đường cố định/bán cố định lưu lượng xe lớn, chịu lực phức tạp (chỗ cua, quay xe, chỗ dừng đỗ để đổ đá thải vào trạm nghiền,..), đặc biệt những nơi thoát nước kém, khi mưa dù nhỏ cũng dễ bị sình lầy, trơn trượt,…thì cần phải áp dụng công nghệ gia cố đất/đá bằng xi măng và phụ gia geostab để tăng cường cường độ và độ ổn định với nước như đã thực hiện tại đoạn AA2 tại mỏ Cao Sơn với một chút cải tiến về tăng hàm lượng cỡ hạt thô tuân thủ theo quy định CPDD Dmax40 của TCVN 8858:2022.
- Xem xét sử dụng công nghệ phụ gia khử bụi vừa khủ bụi vừa hóa cứng

một phần lớp bụi trên bề mặt đường tạo thành lớp ngăn nước hạn chế nước thấm xuống kết cấu áo nền đường phía dưới.

Bảng 4.10. Tổng hợp khối lượng xây dựng, bảo trì đường tại các mỏ lộ thiên vùng Cẩm Phả

TT	Tên mỏ	Thông số	Đơn vị	Loại đường			
				Đường tạm thời	Đường bán cố định	Đường cố định	Tổng
1	Đèo Nai	Tổng chiều dài	km	35,0	7,5	4,2	***46,7***
		Khối lượng XD áo đường CPĐD-M	m^3	60.000	32.000	18.000	***110.000***
		Khối lượng XD móng CPĐD-B	m^3	149.000	51.000	29.000	***229.000***
		Khối lượng CPĐD-M bảo trì	m^3/năm	144.000	93.000	75.000	***312.000***
2	Cao Sơn	Tổng chiều dài	km	43,5	8,5	7,3	***59,3***
		Khối lượng XD áo đường CPĐD-M	m	74.000	37.000	32.000	***143.000***
		Khối lượng XD móng CPĐD-B	m	185.000	58.000	50.000	***293.000***
		Khối lượng CPĐD-M bảo trì	m^3/năm	178.000	107.000	132.000	***417.000***
3	Cọc Sáu	Tổng chiều dài	km	32,5	8,0	3,2	***43,7***
		Khối lượng XD áo đường CPĐD-M	m	56.000	34.000	14.000	***104.000***
		Khối lượng XD móng CPĐD-B	m	139.000	55.000	22.000	***216.000***
		Khối lượng CPĐD-M bảo trì	m^3/năm	135.000	98.000	58.000	***291.000***
	Cụm mỏ lộ thiên vùng Cẩm Phả	*Tổng chiều dài*	*km*	*111,0*	*24,0*	*14,7*	**149,7**
		Khối lượng XD áo đường CPĐD-M	*m^3*	*190.000*	*103.000*	*64.000*	**357.000**
		Khối lượng XD móng CPĐD-B	*m^3*	*473.000*	*164.000*	*101.000*	**738.000**
		Khối lượng CPĐD-M bảo trì	*m^3/năm*	*457.000*	*298.000*	*265.000*	**1.020.000**

- Công nghệ gia cố đất/đá bằng xi măng và phụ gia geostab là công nghệ mới, yêu cầu cao về trang thiết bị máy móc thi công hiện đại, mức độ tự động

hóa cao, đặc biệt là máy gia cố phải đảm bảo khả năng trộn đều đất/đá với xi măng trong trống cào thông qua hệ thống răng cào và tốc độ trống cào. Ngoài ra, phải đảm bảo máy vừa di chuyển vừa phun nước có hòa lẫn phụ gia vào trống cào để đảm bảo độ ẩm tối ưu theo thiết kế. Bên cạnh đó, công nghệ cũng yêu cầu trình độ, năng lực và kinh nghiệm của kỹ sư. Do vậy, để đảm bảo sự thành công của công nghệ này trong các dự án đường mỏ, nhất thiết phải sử dụng nhà thầu đáp ứng được những điều kiện về máy móc, nhân lực, năng lực, kinh nghiệm như đã nêu ở trên.

KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ

Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin đã phối hợp cùng Công ty Cổ phần than Cao Sơn - TKV tổ chức theo dõi trong suốt quá trình chuẩn bị, thi công và nghiệm thu và đưa vào sử dụng Phương án theo Đề cương được duyệt. Quá trình theo dõi đánh giá Phương án cho cho phép rút rác các kết luận:

1. Mặt đường được xây dựng và bảo trì bằng công nghệ rải lớp đất đá chọn lọc từ đá nổ mìn tại mỏ quá trình sử dụng thường xảy ra các hư hỏng như ổ gà, lộ đá to gây giảm năng suất và tăng tiêu hao lốp. Sức cản lăn từ 2,5÷4 % trung bình 3,25 %, sau trận mưa lớn có khu vực sức cản lăn lên tới 4÷5 %. Mô đun đàn hồi phần lớn <85 MPa, chỉ số CBR < 30%. Khi chạy trên các đoạn đường này trong điều kiện khô ráo, tốc độ trung bình ô tô đạt và vượt so với Định mức. Tuy nhiên, khi trời mưa lớn, mặt đường lầy lội tốc độ ô tô chỉ đạt 60÷70 % so với Định mức.

2. Kết quả quá trình thi công Phương án: Trong giai đoạn đầu, do tác động của một số yếu tố khách quan bất lợi như thời tiết (mưa lớn kéo dài), dịch bệnh Covid-19, chủ quan như mặt bằng bàn giao không bằng phẳng phải bù vênh bằng CPĐD-M. Vì vậy, tiến độ, chất lượng thi công giai đoạn đầu chưa đáp ứng yêu cầu như thiết kế. Sau khi hoàn thiện được nghiệm thu đưa vào sử dụng, các thông số kích thước, chất lượng đường đảm bảo theo thiết kế. Riêng thông số chiều rộng đường nhiều khu vực như ngã 3 điểm A, điểm B thực tế thi công rộng hơn thiết kế từ 1÷3 m.

3. Hiệu quả Phương án:

- Về chất lượng đường theo tuổi thọ: Khi hoàn thiện các thông số chất lượng đảm bảo như thiết kế. Tuy nhiên, trong quá trình sử dụng Công ty than Cao Sơn tổ chức bảo trì bằng công nghệ truyền thống. Với công nghệ này chất lượng đường trên các đoạn có mật độ lưu thông thấp mặt đường duy trì trong thời gian trên 2 tháng, nhiều khu vực lưu lượng giao thông cao chỉ duy trì dưới 1 tháng, trung bình 01 tháng.

- Về hiệu quả phương diện kỹ thuật, kết quả đánh giá cho thấy tốc độ trung bình trên đoạn đường cải tạo (A-A1, A-B-B2-C) tăng 14,3 %. Đối với hiệu quả tiêu hao nhiên liệu, lốp, phụ tùng thay thế, việc theo dõi, đánh giá gặp nhiều khó khăn. Vì vậy, nhóm thực hiện sử dụng phương pháp tính toán theo Định mức của TKV và kinh nghiệm đã được chứng minh của các nhà khoa học trên thế giới. Kết quả tính toán cho thấy, sau khi thi công cải tạo mức tiêu hao nhiên liệu trung bình trên toàn tuyến giảm 1,55 % đối với ô tô 55-58 tấn, 1,60 % đối với ô tô 91-96 tấn. Mức hao mòn lốp xe trên toàn tuyến giảm trung bình 2,20 %. Năng suất ô tô trên toàn tuyến tăng 1,15÷1,2 %.

- Về hiệu quả kinh tế: sau khi cải tạo chi phí vận tải trên toàn tuyến giảm

103,5 đ/t.km đối với ô tô 55-58 tấn, 98,6 đ/t.km đối với ô tô 91-96 tấn. Nếu mặt đường luôn bảo trì đúng theo quy trình mức lợi nhuận khi đưa các đoạn cải tạo vào sử dụng trong 01 tháng là 0,6 tỷ đồng.

4. Phương án triển khai tại các mỏ:

- Về thiết kế kết cấu: cần thiết phải sử dụng phần mềm thiết kế kết cấu áo đường mỏ chuyên dụng. Hiện nay, trên thế giới, đặc biệt tại Úc, phần mềm CIRCLY 7.0 đang được sử dụng và khuyến cáo sử dụng cho các mỏ ở Việt Nam.

- Về vật liệu: Sử dụng đất đá chọn lọc tại các bãi mìn (CPĐD-B) làm lớp móng có chiều dày 22÷40 cm, lu lèn chặt trên các đường cố định, bán cố định hoặc các khu vực nền yếu nhằm đảm bảo độ phẳng, độ dốc ngang và trị số module đàn hồi E >150 MPa trước khi thi công CPĐD-M; Sử dụng đất đá tại các mỏ nghiền thành CPĐD-M làm lớp mặt đường, rải với chiều dày 10÷25 cm, lu lèn chặt bằng máy lu rung bánh thép >23 tấn chuyên dụng trên toàn bộ các loại đường mỏ.

- Về thi công và máy móc thi công:

- Luôn đảm bảo độ bằng phẳng, độ dốc ngang, dọc, cường độ các lớp cấp phối, thường xuyên khơi thông rãnh thoát nước, tránh để nước ứ đọng, chảy tràn trên mặt đường.
- Để chủ động nguồn cung CPĐD-M và CPDD-B đề xuất đầu tư trạm nghiền sàng tập trung có công suất 1,1÷1,3 triệu m^3/năm cho cụm mỏ vùng Cẩm Phả, hệ thống nghiền sàng quy mô tương tự như hệ thống tại mỏ Sin Quyền cho mỏ Tả Phời.
- Để đảm bảo chất lượng lu lèn, đề xuất đầu tư riêng mỗi mỏ 1÷3 máy lu rung bánh thép trên 23 tấn để xây dựng và bảo trì đường.

- Về bảo trì:

- Bảo trì bằng cách bù phụ CPĐD-M lu lèn chặt mỗi khi xuất hiện các hư hỏng chức năng vượt mức khuyến cáo theo Quy trình bảo trì. Phun nước hoặc phụ gia khử bụi với mật độ 0,25-0,5 lít/m^2 mỗi khi xuất hiện bụi vượt quá mức độ cho phép.
- Xem xét xác định tần suất bảo trì theo chi phí sử dụng đường tối thiểu trên cơ sở sức cản lăn của mặt đường

- Công nghệ gia cố đất/đá bằng xi măng và phụ gia geostab với chiều dầy trung bình 20-25 cm, có mô đun đàn hồi E (đo bằng thiết bị LWD) ≥ 250 MPa và có cường độ chịu nén ở tuổi 7 ngày, Rn ≥ 4 MPa phù hợp để làm cho các đoạn đường đoạn đường cố định/bán cố định lưu lượng xe lớn, chịu lực phức tạp (chỗ cua, quay xe, chỗ dừng đỗ để đổ đá thải vào trạm nghiền,..), đặc biệt những nơi thoát nước kém, khi mưa dù nhỏ cũng dễ bị sình lầy, trơn trượt. Công nghệ

này cũng hoàn toàn phù hợp với những mỏ bauxite và/hoặc những mỏ nằm trong vùng mưa nhiều, không hoạt động sản xuất trong những tháng mùa mưa và những mỏ mà bóc vỉa tại các gương đào chủ yếu là đất.

KIẾN NGHỊ

1. Đá thải tại các mỏ than vùng Nội Địa, đặc biệt là tại mỏ than Na Dương và các mỏ bauxit có tính chất cơ lý khác biệt so với đất đá vùng Quảng Ninh. Vì vậy, để đảm bảo chất lượng mặt đường, kiến nghị Tập đoàn cho nghiên cứu bổ sung về nguồn vật liệu, tỉ lệ phối trộn và triển khai thử nghiệm tại các mỏ này.

2. Kiến nghị áp dụng công nghệ CPDD-M và CPDD-B vào trong xây dựng, sửa chữa và bảo trì đường mỏ nói chung. Đối với những vùng mỏ chịu tác động của mưa bão, các mặt đường thường xuyên chịu tác động của mưa lớn dẫn đến không thể hoạt động sản xuất trong những tháng mùa mưa, kiến nghị áp dụng công nghệ đất/đá gia cố xi măng và phụ gia geostab để tăng cường cường độ cũng như độ ổn đinh với nước. Đối với những mặt đường thường xuyên bụi nhiều, vượt mức cho phép, kiến nghị xem xét sử dụng phụ gia khử bụi.

3. Công nghệ gia cố đất/đá xi măng và phụ gia geostab là công nghệ mới, hiện đại, yêu cầu cao về máy móc, thiết bị thi công cũng như trình độ, năng lực, kinh nghiệm của kỹ sư vận hành. Do vậy, kiến nghị lựa chọn nhà thầu có đầy đủ năng lực, kinh nghiệm đáp ứng được những yêu cầu của công nghệ.

2. Kính đề nghị Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam xem xét, phê duyệt Báo cáo làm cơ sở nhân rộng mô hình cho các mỏ.

PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Nhật ký theo dõi thi công Phương án

Phụ lục 2. Sổ theo dõi, đánh giá hư hỏng theo tuổi thọ của đường

Phụ lục 3. Hồ sơ chất lượng

Vietnam mine haul road technical report. (Translated)

VIETNAM COAL AND MINERALS INDUSTRY CORPORATION

INSTITUTE OF MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY - VINACOMIN

FINAL REPORT

MONITORING AND EVALUATION OF THE ROAD IMPROVEMENT PLAN TO ENHANCE ROAD QUALITY AT THE CAO SƠN COAL MINE

HANOI - 2022

VIETNAM COAL AND MINERALS INDUSTRY CORPORATION

INSTITUTE OF MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY - VINACOMIN

FINAL REPORT

MONITORING AND EVALUATION OF THE ROAD IMPROVEMENT PLAN TO ENHANCE ROAD QUALITY AT THE CAO SƠN COAL MINE

Managing Agency: Vietnam Coal and Mineral Industries Group (Vinacomin) Implementing Agency: Institute of Mining Science and Technology - Vinacomin Project Director: M.Sc. Dam Cong Khoa

Hanoi, ..., ..., 2022

INSTITUTE OF MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY - VINACOMIN

LIST OF PROJECT EXECUTORS

No.	Full Name	Name of Employer	Field of Expertise	Position Assigned in the Bid Package
1	Dam Cong Khoa	CBP. Open-Pit	M.S. in Mining Engineering	Design Manager
2	Doan Van Thanh	Deputy Director of Open-Pit Mining	Ph.D. Khai Mine	Chair of the Open-Pit Mining Session
3	Tran Tuấn Anh	CBP. Mining Geology	B.S. in Geology	Chair of the Geology Section
4	Do Ngoc Tieu	CBP. Open-Pit	Ph.D. Khai Mine	Participated in the open-pit mining section
5	Bui Duy Nam	CBP. Open-Pit	M.S. in Mining	Participated in the Open-Pit Mining section
6	Le Ba Phuc	CBP. Open-Pit	B.S. Mine Mine	Participated in the open-pit mining phase
7	Bui The Nam	CBP. Open-Pit	M.S. in Mining	Participated in the Open-Pit Mining section
8	Do Van Trieu	CBP. Open-Pit	B.S. Khai Mine	Participated in the open-pit mining operations
9	Nguyen Nam Hai	CBP. Mining Geology	M.S. in Geology	Participated in the geology phase
10	Le Quang Hoa	Certified Professional in Mining Geology	M.S. Geological Geology	Participated in the geological
11	Nguyen Thanh Van	CBP. Mining Geology	B.S. Geo Engineer	Participated in the geology section
12	Huynh Anh Trung	CBP. Construction and Project Management	Architect	Participated in the Construction and Transportation section
13	Nguyen Thu Phuong	CBP. Construction and Project Management	Civil and Industrial Construction Engineer	Participated in the Construction and Transportation section
14	Nhu Son Tho	CBP. Construction and Project Management	B.S. in Transportation Engineering	Participated in the Construction - Transportation section
15	Nguyen Van Tuan	Senior Engineer, Construction and Project Management	B.S. in Civil Engineering	Participated in the Construction - Transportation section
16	Bui Thi Le Na	CBP. Project Economics	B.S. in Energy Economics	Chair of the Economics Section
17	Vu Thi Hong Gam	CBP. Project Economics	B.S. in Accounting	Participated in the Economic Section

TT	Full Name	Name of Employer	Field of Expertise	Position Assigned in the Bid Package
18	Nguyen Thi Thuy Lan	CBP. Project Economics	M.A. Industrial Industrial Economics	Contributed to the Economic section
19	Pham Thi Mai Thanh	CBP. Project Economics	B.S. in Economics	Participated in the economic section
20	Pham Thuy Thuong	CBP. Project Economics	B.S. B.S. Business Administration	Contributed to the Economics section

EXPLANATION OF ACRONYMS

Abbreviation	Full Form
Social Insurance	Social Insurance
BHYT	Health Insurance
CPĐD	Crushed Stone Mix
DS	Defect score - functional defect score
Standard No. 2048	Standard for the Consumption of Major Materials in Open-Pit and Underground Mining of the Vietnam Coal and Mineral Industries Group, issued under Decision No. 2048/QĐ-TKV dated December 8, 2020
Standard 2411	System of Labor Standards and Productivity for Certain Key Open-Pit Coal Mining Equipment, issued pursuant to Decision No. 2411/QĐ-TKV dated December 31, 2019, of the Vietnam Coal and Mineral Industries Group
HĐĐ	Party Activities
KPCĐ	Trade Union Funds
RDS	Roughness Defect Score—a measure of functional defects related to road surface smoothness
TKV	Vietnam National Coal and Mineral Industries Group
XD	Construction

TABLE OF CONTENTS

List of Contributors **1**

Explanation of Abbreviations **3**

Table of Contents **4**

Introduction **7**

Chapter 1. Overview of General Characteristics of the Area and Renovation Construction Work **11**

1.1. Current Status of the Road's Technical and Economic Indicators 11

1.1.1. Locations of the Road Sections to Be Renovated 11

1.1.2. Functions, purposes, and capacity of the upgraded road sections 12

1.2. Characteristics and Specifications of the Renovated Road Sections 13

1.2.1. Current Conditions of the Road Prior to Renovation Work 13

1.2.2. Structure of the renovated road sections 14

1.2.3. Material sources 17

1.3. Analysis and Selection of Methods for Monitoring and Evaluating the Reconstruction Process 18

1.4. Assessment of the current condition of the road surface prior to rehabilitation based on functional defects (Defect Score) 19

1.4.1. Current condition of the road surface quality 19

1.4.2. Selection of materials for the mine road surface layer 21

1.4.3. Assessment of the Current Pavement Condition Based on DS (Defect Score) Functional Defects 24

1.4.4. Model for Assessing the Current Condition of Pavement Quality Based on DS (Defect Score) Functional Defects 29

1.4.5. Results of the assessment of the current condition of functional pavement defects in the the rehabilitation area 31

1.5. Assessment of Pavement Condition Prior to Rehabilitation Based on Rolling Resistance (RDS—Roughness Defect Score) 34

1.5.1. Concept of Rolling Resistance 34

1.5.2. Qualitative Assessment of Pavement Rolling Resistance (RR) 35

1.5.3. Quantitative Assessment of Pavement Rolling Resistance (RR) 36

1.5.4. Results of the Pavement Quality Assessment in the Renovated Area Based on at the time prior to rehabilitation. 38

1.6. Evaluation of pavement structure quality prior to rehabilitation using LWD elastic modulus measurement equipment and DCP equipment 40

1.6.1. Method for measuring elastic modulus using LWD dynamic testing equipment 40

1.6.2. CBR Testing Method Using a DCP Dynamic Penetration Tester 42
1.6.3. Test Results 43
1.7. DESIGN AND MAINTENANCE 50
1.7.1. The Significance of Maintenance Design and the Model for Minimizing Road User Costs 50
1.7.2. Principles of Maintenance Design 50
1.7.3. Maintenance Design for Test Road Sections at the Cao Son Mine. 51
1.8. Monitor traffic volume, vehicle types, and travel speeds on the road section scheduled for renovation 56
1.9. Conclusion of Chapter 1 57
Chapter 2. Monitoring and Evaluating the Preparation and Construction Process of the Plan 61
2.1. Monitoring and Evaluating the Construction Preparation Process 62
2.1.1. Monitoring and Evaluating Site Preparation Work (Receiving elevation benchmarks, determining the centerline of the road, etc.) 62
2.1.2. Monitor and evaluate the preparation of the staging area for raw materials, construction materials, equipment, and personnel, as well as the supply of electricity and water 65
2.1.3. Monitor and evaluate the process of gathering vehicles, machinery, and equipment and construction personnel at the job site 66
2.1.4. Monitor and evaluate the process of installing signs and markers to indicate the construction area 68
2.1.5. Monitor and evaluate the production and manufacturing of CPDD-M 69
2.1.6. Monitoring and Evaluation of the CPDD-M Pilot Construction Segment 74
2.2. Monitoring and evaluation of the construction process 78
2.2.1. Monitoring and evaluating the construction process for the B2-C temporary road 78
2.2.2. Semi-permanent Road Section A-B1 84
2.2.3. Semi-permanent road section B-B2 89
2.2.4. Fixed Route Segment A-A1 92
2.2.5. Fixed Route Segment A-A2 97
2.3. Summary of Quality Assessments for Road Sections 107
2.3.1. Regarding Construction Progress 107
2.3.2. Regarding construction specifications for the route sections 107
2.3.3. Regarding material dimensions and the thickness of the CPDD-M layer 109
2.3.4. Regarding road surface quality 109
Chapter 3. Monitoring and Evaluating the Effectiveness of the Plan 110

3.1. Monitoring and Evaluating Technical Performance 110
3.1.1. Monitoring and Evaluating Vehicle Speeds 110
3.1.2. Track fuel efficiency 111
3.1.3. Monitor and evaluate tire wear performance 113
3.1.4. Monitor and evaluate the efficiency of replacement parts 114
3.1.5. Monitor and evaluate vehicle productivity 114
3.1.6. Monitor and evaluate road quality based on service life 117
3.2. Assessing economic efficiency 120
3.2.1. Transportation Costs on the Rehabilitated Road Segment 120
3.2.2. Comparison of the Renovated Section and the Current Condition 124
Chapter 4. Proposal for Implementation Across the Entire TKV 128
4.1. Technical Guidelines for Mine Road Rehabilitation Plans 128
4.1.1. Structural Solutions: 128
4.1.2. Material Solutions 130
Some mechanisms of soil/rock reinforcement using Geostab admixtures 134
4.1.3. Construction and Equipment Solutions 138
a. Ensuring Road Surface Drainage 138
b. Ensure the flatness, strength, and settlement of the foundation layer immediately below the CPĐD-M 138
4.1.4. Road Surface Maintenance Solutions 142
4.2. Applicability to permanent, semi-permanent, and temporary roads 144
4.2.1. For permanent sections 144
4.2.2. For semi-permanent sections 145
4.2.3. For temporary road segments 146
4.3. Implementation plan for mines under TKV 146
Conclusions and Recommendations 150
Appendices 1

INTRODUCTION

Transportation is one of the key technological stages in the production process at an open-pit mine. Transportation costs consist of various expense categories: fuel, materials, depreciation, etc. Among these, fuel and material costs account for the largest share (approximately 60–65% of total transportation costs). Fuel and material consumption depends primarily on the distance and lifting height, the geometric parameters of the route (width, longitudinal gradient, curve radius), and, in particular, the quality of the road surface, as characterized by its rolling resistance.

Around the world, at several open-pit mines in Europe (the Federal Republic of Germany, Austria, etc.), the Americas (Ecuador, Peru, the Commonwealth of Dominica, etc.), Asia (China, Indonesia, etc.), and Africa (Ghana, etc.), researchers have studied and implemented solutions to improve the quality of transport roads by blending materials on-site with certain additives. The practical application of these solutions has yielded significant benefits, such as enabling vehicles to operate on rainy days, thereby increasing transportation productivity, reducing dust pollution, and contributing to continuous mining operations and lower production costs.

Currently, open-pit mines in Vietnam are applying the standards for in-mine transportation set forth in Article 11 of the Vietnamese Standard TCVN 5326:2008 on Open-Pit Mining Techniques. However, the standards for transportation operations in TCVN 5326:2008 are based on TCVN 4054:2005 on Highway Design (which applies to public roads). Meanwhile, Vietnamese open-pit mines use transport equipment with very large payloads and dimensions (trucks with payloads of 55–130 metric tons), and transport roads are mountainous in nature, with many uneven sections, tight curves, poor drainage, and a short service life within the mining site, among other challenges.

In practice, the productivity of transport equipment at open-pit mines still meets TKV's standards, and some standards align with TCVN 4054:2005. However, equipment productivity remains below the supplier's recommendations. Additionally, safety regulations governing transportation operations face numerous challenges and are not yet tailored to the mining industry, creating difficulties for the unit's production activities.

In the coming years, the Cao Son coal mine will continue to expand mining operations to greater depths, with annual earth and rock haulage volumes ranging from 30.0 to 48.0 million $m^3$and coal volumes ranging from 2.7 to 4.5 million metric tons, at a haulage height of 450 to 600 m. Meanwhile, the cost of raw materials and energy (fuel and electricity) is on the rise. Therefore, solutions are needed to improve the quality of mine roads in order to reduce mining costs.

With this objective in mind, on November 17, 2020, the Vietnam National Coal and Mineral Industries Group issued Official Letter No. 5486/TKV-KCM regarding the implementation of a plan to improve road quality at the Cao Son Mine (the Plan). Based on this, Cao Son Coal Company – TKV, in collaboration with the Vinacomin Institute of Mining Science and Technology and the Asia-Pacific Engineering Consulting Company (APECO), developed the Plan with the following technical specifications:

- The total length of the route sections is approximately 2.3 km. The starting point of the route is Point A with coordinates (X = 2327975.07; Y = 453260.92), located at elevation +50 at the entrance to the conveyor belt station; the endpoint is Point C (X = 2,327,827.05; Y = 454335.58), located at elevation -25 at the boundary between the temporary and semi-permanent roads.

- The construction route is divided into three types: temporary road (section B2–C), semi-permanent road (two sections: A–B1, B–B2), and permanent road (two sections: A–A1, A–A2). The duration of the temporary and permanent road sections will depend on the expansion plans for the Cao Son coal mine in the coming years.

- Design Solutions

+ Route Alignment:

Route 1: The route begins at point A1, proceeds eastward through point B, and ends at point B1. The total length of the route is approximately 0.95 km.

Route 2: The route starts at Km0+615.23 on Route 1, turns right toward the southeast, passes through point B2, and ends at point C. The total length of the route is approximately 1.05 km.

Route 3: The route begins at Km0+377.86 on Route 1, turns right and heads west through Point A, and ends at Point A2. The total length of the route is approximately 0.32 km.

+ Geometric design, typical cross-section: The longitudinal profile of the road was designed in accordance with TCVN 5326:2008 (Open-Pit Mining Engineering). The maximum longitudinal gradient of the route is 8%, corresponding to a design speed of 40 km/h.

+ Pavement structure:

For the temporary section B2-C and the semi-permanent sections B-B1 and B-B2: Lay CPĐD-M with a thickness of 25 cm. Construct road surface drainage ditches, directing the flow toward the mine's drainage ditch.

For the permanent section A-A1 and the semi-permanent sections A-B: Lay CPĐD-M with a thickness of 25

cm thick, and apply dust-suppressing and hardening additives to the road surface. Construct road surface drainage ditches, directing the flow toward the mine's drainage ditch.

Permanent road section A-A2: Rehabilitate the road surface using a reinforcement method with 7% cement and strength-enhancing additives; road surface layer thickness: 25 cm. Pave with CPĐD-M to a thickness of 25 cm, and apply dust-suppressing and hardening additives to the road surface.

Cross-section dimensions:

- Minimum road width: B_{road} = 17.0 m

- Shoulder width: $B_{shoulder}$ = 2 × 0.5 m = 1.0 m

- Transverse slope: i = 3%;

To monitor, analyze, evaluate, and prepare a report on the implementation results of the Plan as a basis for deployment and application throughout TKV, on February 8, 2021, the Vietnam Coal and Mineral Industries Group (TKV) issued Official Letter No. 575/TKV-KCM assigning the Vinacomin Institute of Mining Science and Technology to take the lead in coordinating with Cao Son Coal Joint Stock Company – TKV to develop the outline and budget for the task of monitoring and evaluating the Plan to renovate and improve road quality at the Cao Son coal mine. The proposal was approved by TKV pursuant to Decision No. 508/QĐ-TKV dated April 28, 2021, with the following main contents:

1. Project Name: Monitoring and Evaluation of the Road Improvement Plan to Enhance Road Quality at the Cao Son Coal Mine.

2. Objective: To upgrade road surface quality using in-situ material reinforcement technology to increase transportation productivity, reduce costs for raw materials, fuel, and repairs, and minimize safety risks and environmental pollution, thereby lowering overall transportation costs.

3. Scope of Work: To achieve the stated objectives, the following key tasks must be carried out:

3.1. Compiling characteristics of the renovation area, analyzing and selecting methods for monitoring and evaluating the renovation construction process;

3.2. Monitoring and evaluating the construction preparation process;

3.3. Monitoring and evaluating the construction process;

3.4. Monitoring and evaluating the inspection and acceptance process;

3.5. Monitoring and evaluating technical effectiveness;

3.6. Evaluate economic effectiveness;

3.7. Propose implementation plans for application throughout TKV.

CHAPTER 1. OVERVIEW OF GENERAL CHARACTERISTICS OF THE AREA AND CONSTRUCTION AND RENOVATION WORK

1.1. CURRENT STATUS OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS FOR THE ROAD SECTION

1.1.1. Locations of Road Improvement Sections

Based on the selection criteria, exploitation plan, and future expansion plans for the Cao Son coal mine, the construction site has been selected as the Cao Son coal mine area, spanning from the conveyor belt bunker site along the main transport route of the northern wing of the Cao Son Central Pit. The total length of the road sections is 2.3 km.

The construction roads are divided into three types: temporary roads (section B2-C), semi-permanent roads (two sections: A-B1, B-B2), and permanent roads (two sections: A-A1, A-A2). The specifications for each road section are shown in Table 1.1. The service life of the temporary and permanent road sections depends on the expansion plans for the Cao Son coal mine in the coming years. Based on the 2020–2025 mining plan and the approved mining schedule for the Cao Son coal mine, the service life of the road sections is shown in Table 1.1 (effective as of June 30, 2021).

Table 1.1. Specifications and Service Life of Road Sections

No.	Road Segment Name	Length, km	VN2000 Coordinates 107°45' Zone 3				Existence Period
			Starting Point		End point		
			X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	
1.1	Fixed (A-A1)	0.417	2,328,021.58	453,253.97	2,328,146.21	452,875.35	>5 years
1.2	Fixed (A-A2)	0.275	2,328,021.58	453,253.97	2,327,980.39	452,993.58	>5 years
2.1	Fixed Sale (A-B1)	0.555	2,328,021.58	453,253.97	2,328,258.05	453,751.18	3 years
2.2	Fixed-rate (B-B2)	0.341	2,328,147.97	453,462.40	2,328,191.52	453,795.23	3 years
3	Temporary (B2-C)	0.711	2,328,191.52	453,795.23	2,327,803.31	454,339.40	0.5 years

The route consists of the construction sections shown in Figure 1.1.

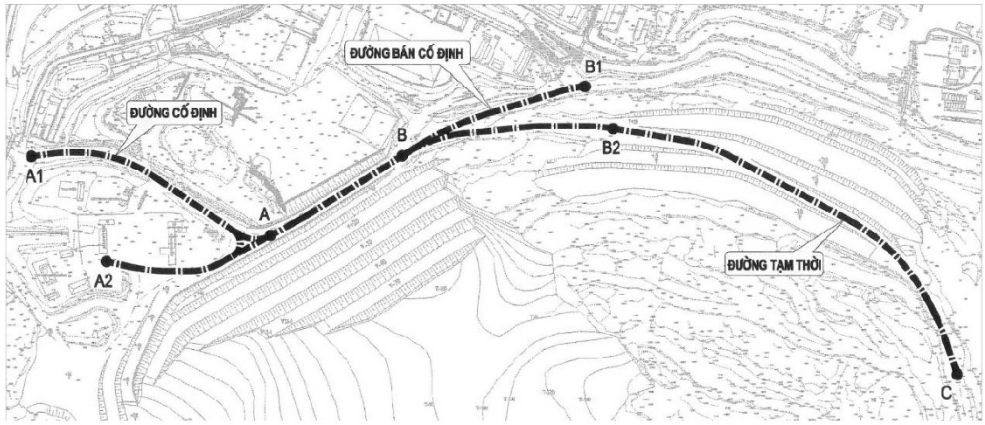


Figure 1.1. Route of the construction project

1.1.2. Functions, purposes, and capacity of the upgraded road sections

According to the approved project, the Cao Son mine will continue deepening operations, with annual earth and rock transport volumes ranging from 30.0 to 48.0 million $m^3$and coal transport volumes ranging from 3.4 to 4.5 million metric tons, at a haulage height of 450 to 600 m. Currently, the majority of the waste rock and soil is dumped at the Bàng Nâu waste dump using simple truck transport and conveyor belt technology, while the remaining portion from the upper levels in the southern area is dumped at the Nam Khe Tam waste dump. The transportation of overburden and raw coal is handled by trucks with payloads ranging from 36 to 96 metric tons, including the following models: CAT 777D (q = 96 metric tons); HD785-7 (q = 91 metric tons); CAT 773E; F, HD465-7R (q = 55–58 metric tons); HM400; and Volvo (q = 32–42 metric tons). The number of vehicles currently available at the Cao Son mine is shown in Table 1.2.

Table 1.2. Summary of the current number of primary haulage vehicles at the Cao Son mine

No.	Equipment Name	Quantity, units
1	CAT 777D, E Trucks (96–98 metric tons)	59
2	HD 785-5; 7 trucks (91 metric tons)	18
3	CAT 773E & F, HD465 trucks (58 metric tons)	64
4	HM-400-2R, 3R Volvo A40D Chassis Trucks (36–40 metric tons)	16
	Total	**157**

Functions, tasks, and capabilities as applied specifically to the following road sections under renovation:

1. Fixed Section A-A1: This section is located on the mine's main fixed route, connecting the Cao Sơn mining face to the Bàng Nâu waste dump. Currently, half of the waste rock volume from the Cao Sơn mine (20 million m^3/year) is dumped into the crushing plant's hopper for

conveyor belt transport, while the remaining volume (15–25 million m^3per year) is transported to the Bàng Nâu waste dump via this road section.

2. Fixed Section A-A2: This section is located on the mine's main fixed route. Its purpose is to facilitate the movement of vehicles transporting rock, soil, and coal from mining levels +20 and above in the western and southwestern areas of the open-pit mine, as well as all rock and soil dumped into the crushing plant's hopper.

3. Semi-fixed Section A-B: This section connects the mining area to the road leading to the waste dump. This section connects the various mining areas; all rock and coal extracted from the eastern shore and the mine bottom are transported via this route to the dam, the Bàng Nâu waste dump, and the coal storage yards. Additionally, this section is used for the movement of empty equipment from the transportation workshops to the overburden removal levels in the southwest area.

4. Semi-permanent Section B-B1: This section primarily handles the movement of transport equipment from the transport workshops to the mining area, as well as rock and soil from levels above +50 on the eastern and southeastern sides to the dam station and the waste dump.

5. Semi-permanent Section B-B2 and Temporary Section B2-C: These sections serve as the main routes leading down to the bottom of the mining pit and the levels on the east and southeast banks, facilitating the movement of coal and rock transport equipment from these areas to the coal storage yards, crushing stations, and waste dumps.

See the table for the flow rate, speed, and throughput capacity of the route sections 1.3.

Table 1.3. Summary of Transportation Parameters for Route Sections

No.	Section	Traffic volume, trips/day	Average Speed, km/h	Average daily flow rate, t/day
1	A-A1	1,800–2,200	27.0	410,000
2	A-A2	2,500–2,800	21.5	500,000
3	A-B	1,600–1,800	26.2	335,000
4	B-B1			40,000
5	B-B2	1,100–1,300	23.8	235,000
6	B2-C	1,100–1,300	22.1	235,000

1.2. CHARACTERISTICS AND SPECIFICATIONS OF THE REHABILITATED ROAD SECTION

1.2.1. Current Specifications of the Road Section Prior to Reconstruction

Based on field surveys of the road sections to be rehabilitated under the plan for the

Cao Son coal mine, as shown in Figure 1.2, the current status of the road sections under construction, including their geometric parameters, is detailed in Table 1.4.



Figure 1.2. Current status of the road sections under renovation

a, b—temporary and semi-permanent roads B–C; c—permanent road A–A1; d—permanent road A–A2

Table 1.4. Current status of road parameters prior to renovation construction

No.	Parameter	Unit	Road Type		
			Fixed Road (A-A1, A-A2)	Semi-fixed (A-B1, B-B2)	Temporary (B2-C)
1	Total length	km	0.69	0.91	0.71
2	Width	m	17–22	17–20	17–20
3	Curvature radius	m	17÷30	60–250	175–500
4	Longitudinal slope	%	4–6	6–8	6–12

1.2.2. Structure of the improved road sections

1.2.2.1. Permanent Road

- The structure of the A-A2 section of the permanent road consists of the following layers: a 25 cm thick cement-stabilized stone layer with 7% cement (including 5 cm of scraped-off existing pavement), a 25 cm thick layer of CPĐD-M

25 cm thick, and application of dust-suppressing and hardening additives (KC-1 structure). Construct surface drainage ditches, directing the flow toward the mine's drainage ditch. See Figure 1.3 for the A-A2 road structure.

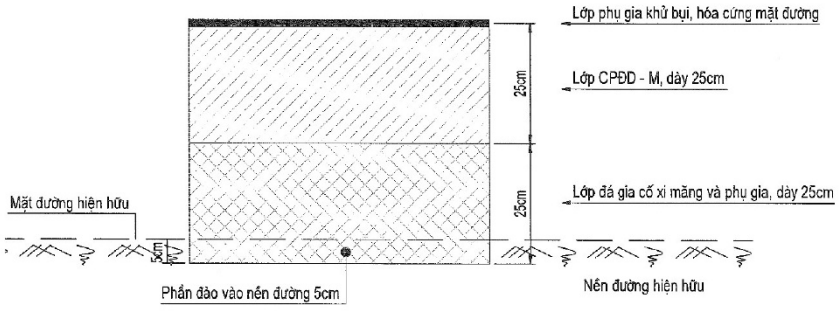


Figure 1.3. KC-1 Pavement Structure

- The fixed road section A-A1 is paved with CPĐD-M to a thickness of 25 cm, with dust-suppressing and hardening additives applied (KC-2A structure). Construct road drainage ditches, directing the flow toward the quarry's drainage ditch. See Figure 1.4 for the A-A1 road pavement structure.

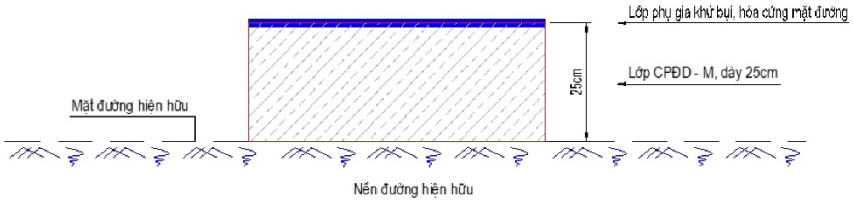


Figure 1.4. KC-2A Pavement Structure

1.2.2.2. Semi-Permanent Road

- The semi-permanent section A-B (part of the A-B-B1 segment), after adjustments, has a 40 cm thick CPĐD-B subbase layer, followed by a 25 cm thick layer of CPĐD-M, with dust-suppressing and hardening additives applied (KC-2A-DC structure), as shown in Figure 1.5.

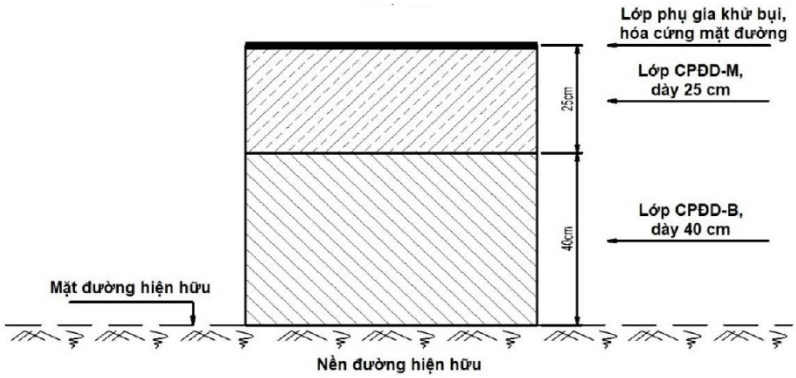


Figure 1.5. KC-2A-ĐC Pavement Structure

- The semi-fixed section B-B1 (part of the A-B-B1 section) was paved with a 25-cm-thick layer of CPĐD-M (KC-2B structure—Figure 1.6), Section B-B2 will first have a 40 cm thick CPĐD-B subbase layer added, followed by a 25 cm thick layer of CPĐD-M (KC-2B-ĐC structure—Figure 1.7). Construct road surface drainage ditches, directing the flow toward the quarry's drainage ditch.



Figure 1.6. KC-2B Pavement Structure

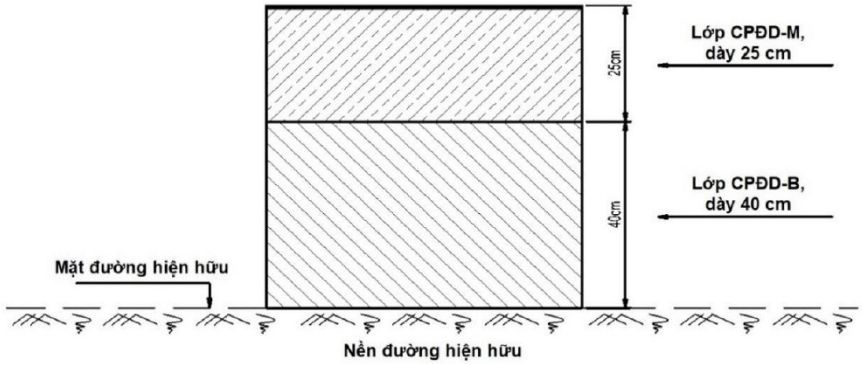


Figure 1.7. KC-2B-ĐC Pavement Structure

1.2.2.3. Temporary Road

- For the temporary section B2-C after adjustment, the subbase consists of CPĐD-B with a thickness of 25 cm, and the surface course consists of CPĐD-M with a thickness of 10 cm (KC-2B-ĐC1 structure—Figure 1.8). Construct a road surface drainage ditch, directing the flow toward the mine's drainage ditch.

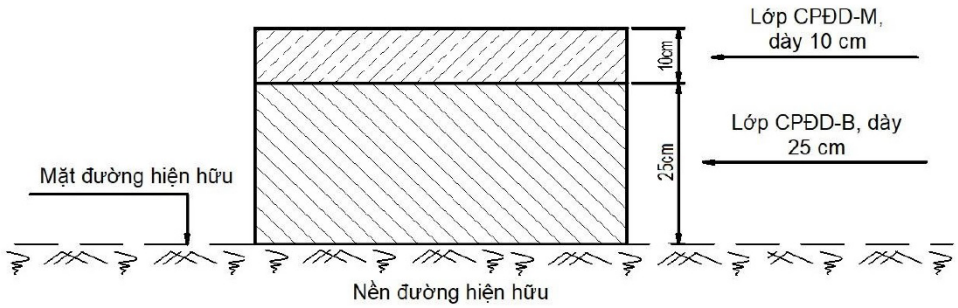


Figure 1.8. KC-2B-DC1 Pavement Structure

- On the temporary road section B2-C, some sections have unstable subgrades that require localized subgrade excavation and treatment before reinforcing the road surface. The specific solution is as follows: Excavate 50 cm below the existing road surface and backfill with 75 cm of CPĐD-B, followed by laying a 10 cm-thick layer of CPĐD-M as the road surface (KC-3-ĐC – Figure 1.9).

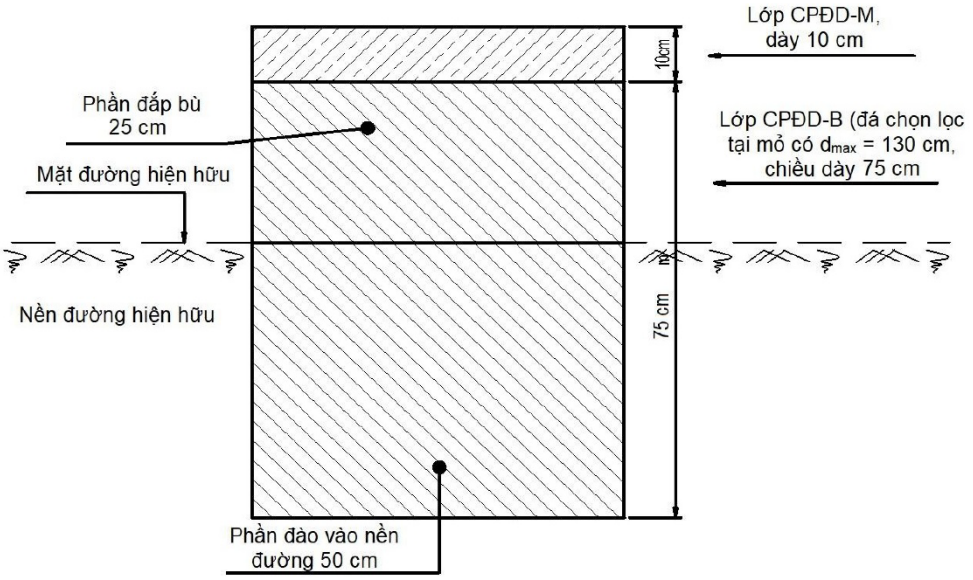


Figure 1.9. KC-3-ĐC road structure on certain sections with unstable subgrade

1.2.3. Material Sources

According to the report "Supplemental Creation of the 2019 Geomechanical Map (Outcrop) of the Cao Son Coal Mine – Cao Son Coal Joint Stock Company – Vinacomin." The geomechanical properties of the various types of rock in the Cao Son coal mine area are presented in Table 1.5.

Table 1.5. Summary Table of Rock Mechanical Properties

Rock Name	Moisture Content (W), %	Specific Gravity (Δ)' g/cm³	Bulk density (γ), g/cm³	Tensile strength (σk), kG/cm²	Compressive strength (σn), kG/cm²	Protodia-conov strength coefficient (f)	Bond strength (C), kg/cm²	Angle of friction (φ), degrees
Cohesion	0.245	2.622	2.595	182.30	1,298.05	12.98	331.28	35.47
Conglomerate	0.376	2.673	2.648	167.13	1,195.54	11.96	306.54	35.20
Flocculant	0.621	2.697	2.656	113.22	913.86	9.14	213.99	34.60

Laboratory test results show that the soil-rock mixture at the Cao Son coal mine is suitable for soil stabilization technology, with the following basic parameters:

- The particle size distribution falls within the standard range specified in the plan;

- Bulk density > 2.4 g/cm^3; specific gravity > 2.6 g/cm^3;

- CBR at K98 > 80%;

- Unconfined compressive strength of the parent rock Rn ≥ 100 MPa.

(Test results for the design of cement-stabilized soil and strength-enhancing additives show that the compressive strength at 7 days of age for the soil mixture stabilized with 7% cement reaches > 4 MPa, and the splitting tensile strength Rec = 0.55 MPa).

1.3. ANALYSIS AND SELECTION OF METHODS FOR MONITORING AND EVALUATING THE REHABILITATION CONSTRUCTION PROCESS

According to the approved proposal, the main areas to be monitored and evaluated include: Monitoring and evaluating the quality and road parameters prior to the rehabilitation construction; Monitoring and evaluating the preparation and construction of the Project; Monitoring and evaluating the technical effectiveness during the six-month period following the completion of the Project.

For geometric parameters, flow rates, and velocities, the appropriate monitoring and evaluation method involves statistical measurements based on field data, compared with design documents and current regulatory standards. Technical parameters such as the elastic modulus and CBR load-bearing capacity are compiled and analyzed based on survey results used to develop and approve the Plan. Functional defects (DS—Defect Score) and rolling resistance based on roughness defects (RDS—Roughness Defect Score) are measured, observed, scored, and quantified according to expert recommendations.

The selected monitoring and evaluation methods are summarized in Table 1.6.

Table 1.6. Summary of Selected Monitoring and Evaluation Methods

No.	Monitoring and Evaluation Content	Monitoring and Evaluation Method
1	Current status of the route's technical and economic indicators	Compilation and analysis of statistical data from the mine
2	Evaluation of the quality of the rehabilitated road surface based on functional defects (DS: Defect Score) and rolling resistance based on roughness defects (RDS: Roughness Defect Score)	Measurements, observations, scoring, and quantification according to the guidelines by Roger J. Thompson
3	Elastic modulus and CBR load-bearing capacity	Compilation and analysis of survey results to support the development and acceptance of the plan

No.	Monitoring and evaluation content	Monitoring and Evaluation Methods
4	Monitor traffic volume, vehicle types, and travel speeds on the improved road section	Compile and analyze data from statistics, measurements, surveys, and direct timing observations
5	Monitoring and evaluating the preparation and construction process of the plan	Survey, measurement, timing, compilation of test results, and comparison
6	Monitoring and evaluating fuel consumption efficiency	Calculate using the expert method based on rolling resistance (RR), and compare with the results of the analysis synthesized from the mine's statistical data
7	Monitoring and evaluating tire wear performance	
8	Monitor and evaluate the effectiveness of replacement parts	Compilation and analysis of mine statistical data
9	Monitor and evaluate vehicle productivity	Statistics, analysis, and comparison

1.4. ASSESSING THE CURRENT CONDITION OF THE ROAD SURFACE BEFORE REHABILITATION BASED ON DS (DEFECT SCORE) FUNCTIONAL DEFECTS

1.4.1. Current condition of the mine road surface

The current condition of the mine road surface (***top layer***) is closely linked to the mechanical and physical properties of the road surface material. For mine roads, the primary materials used are soil and waste rock excavated from the strata (strata cutting) at the mining faces.

In practice, if blasted rock and soil are used without careful selection and quality control of the input materials according to specified technical standards—as is currently the case in coal mines—this will lead to the formation of severely damaged road surfaces, seriously affecting mining operations, transportation, the environment, and safety in open-pit mines. Figure 1.10 below illustrates some typical road surface damage at the Cao Son Mine prior to renovation and upgrading; this damage is directly related to the mechanical and physical properties of the blast waste, specifically:

- Damage 1.10a and 1.10b result from selecting an aggregate gradation that does not follow the gradation curve, combined with insufficient compaction, leading to undulating surfaces and tire ruts.

- Defects 1.10c and 1.10d result from the mixture containing too many fine particles and a high proportion of silt, causing the road surface to become muddy and slippery during rain, posing a safety hazard for pedestrians and vehicles.

- Figures 1.10e and 1.10 show the road surface with numerous large stones protruding. This is the primary cause of tire wear and damage to the tire assembly, increasing transportation costs due to reduced tire lifespan.

- Figures 1.10g and 1.10h demonstrate that the choice of material for the surface layer does not meet requirements; it lacks a binding agent to hold the large stones together when compacted, resulting in a loose material that is easily dislodged by the traction force of vehicle tires, leading to dust, and environmental pollution as high-speed wheels drag dust particles from the loose, unbound soil-and-rock mixture.



Figure 1.10. Typical damage to the Cao Son mine road surface

1.4.2. Selection of Materials for the Mine Road Surface Course

The damage described in Section 1.4.1 and shown in Figure 1.10, once it occurs, will severely degrade the quality of the road surface. This is the primary factor that not only reduces transportation efficiency but also leads to costly repair and maintenance expenses. To address this, selecting materials for the road surface layer with appropriate mechanical and physical properties is of utmost importance. The material used for the road surface layer is primarily blast waste rock from mining operations in open-pit mines. Figure 1.11 presents a selection chart for road surface materials based on two mechanical properties: Gc (gradation coefficient) and Sp (shrinkage product). Accordingly, materials falling within the smaller rectangle are optimal, and it is recommended that they fall within the larger rectangle to prevent road surface damage as illustrated in Figure 1.10.

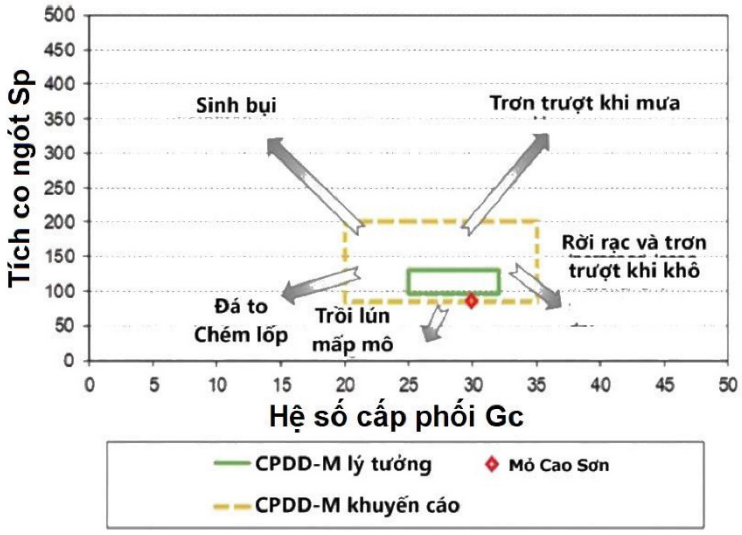


Figure 1.11. CPĐD-M at the Cao Son quarry

In addition to the two properties Gc and Sp, pavement surface course materials must also possess other properties that meet technical requirements, as presented in Table 1.7 below:

Table 1.7. Selection of Materials for the Road Surface Course

TT	Damage may occur if the material parameter is less than the minimum value	Material parameters	Technical Specifications Min ÷Max	Failure may occur if the material parameter is greater than the maximum value
1	Easy to maintain, vehicle-friendly, and does not damage tires	Maximum particle size (D_{max}) (mm)	40	Uneven surface, many potholes, and potential for tire damage

TT	Damage may occur if material parameters are below the minimum value	Material parameters	Technical Specifications Min ÷Max	Failure may occur if the material parameter is greater than the maximum value
2	Increased loose stones, ruts, and tire damage risk	Grading coefficient (Gc)	20–35	Increases skid resistance but reduces dry skid resistance
3	Reduces slipperiness but is prone to cracking and damage	Total shrinkage shrinkage (Sp)	85–200	Increased soiling and poor wet slip resistance
4	Increased granularity	Flow limit (LL), %	17–24	Prone to dirt accumulation, reduced mixing
5	Increase dispersion	Limit limit (PL), %	12–17	Prone to dirt accumulation, reduced mixing
6	Increase increase of tendency to peel and loosen	Plasticity Index (PI)	4–8	Prone to dust accumulation and poor wet slip resistance
7	Reduces dirt buildup, but loose material will peel off	Ratio Dust Dust* (DR)	0.4–0.6	Increased dust generation
8	Prone to muddiness during rain, excessive deformation, and erosion	CBR after saturation at compaction 98 % Modified Proctor	80	Increases resistance to erosion and rutting and improves traffic capacity

The material parameters listed above can all be determined using standard tests available in LAS-XD laboratories (Table 1.8)

Table 1.8. Test methods for determining material properties of pavement surface layers

No.	Technical Specification	Test Method
1	D_{max}, mm	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
2	Grading coefficient Gc	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
3	Shrinkage product Sp	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
4	Yield Strength (LL), %	AASHTO T89-T90
5	Plastic limit (PL), %	AASHTO T89-T90
6	Plasticity Index (PI), %	AASHTO T89-T90
7	Dust Ratio, DR	AASHTO T27 / TCVN 7572-2: 2006
8	CBR after water saturation at 98% Proctor density, %	AASHTO T193/TCVN 12790: 2020

Figure 1.12 below illustrates several types of materials used for mine road surfaces. Figure 1.12a shows that this material has excessively low Gc and Sp values; the road surface is very loose and prone to spalling, and is not watertight due to a lack of fine-grained particles to act as a binder. In contrast, the material shown in Figure 1.12b has excessively high Gc and Sp values; the pavement surface will become slippery, prone to heaving and subsidence, and develop ruts, potholes, and tire tracks during wet or rainy weather, and will become very dusty during dry, sunny conditions. The material illustrated in Figure 1.12c addresses the shortcomings of the two previous materials; essentially, this material is a blend of the two in a specific ratio, thereby providing a full range of particle sizes and technical properties that meet the requirements specified in Table 1.7 and fall within the minimum rectangular range defined in Figure 1.11.

Figure 1.12d shows the mine road surface using the material from Figure 1.12c after it has been compacted using specialized rolling equipment. The compacted road surface meets technical requirements and prevents the damages mentioned above.

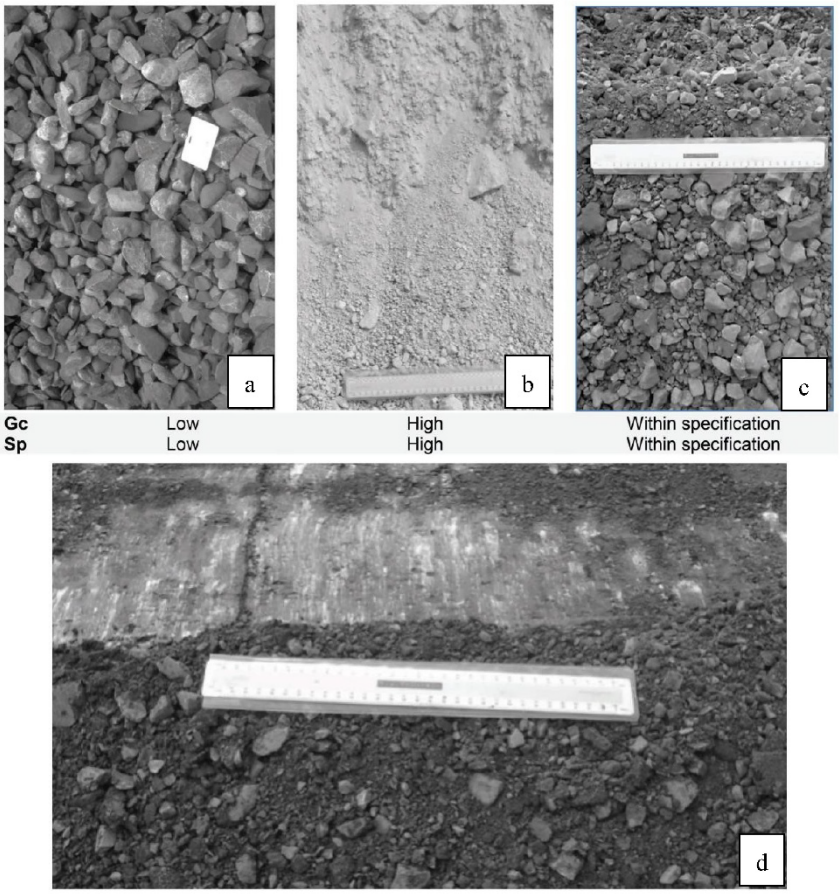


Figure 1.12. CPDD-M at the Cao Son Mine

1.4.3. Assessment of the current pavement quality based on functional defects (Defect Score, DS)

The pavement layer in the mine, as described above, is composed of a mixed aggregate and soil mixture. This type of pavement exhibits many forms of damage, as described in Section 1.4.1. However, based on practical mining experience and to facilitate the monitoring and evaluation of a specific mine road section over time, these types of damage are typically classified into the following 11 categories:

- Slippery when wet
- Slipping when dry
- Dust
- Disintegrated pavement surface, material spalling
- Heaving, rutting, and unevenness
- Potholes
- Tire ruts
- Large stones on the road surface
- Longitudinal cracks
- Transverse cracks
- Alligator cracking.

These 11 types of damage are characterized by two criteria: "severity" and ***"extent."*** Each criterion is quantified by assigning a score on a scale from 1 to 5. The scoring method is presented in Table 1.9 and/or visually as illustrated in Table 1.10.

Using this classification and scoring method for each type of damage appearing on the pavement allows the current pavement quality to be quantified through the DS (defect score) parameter, also known as the "Total Functional Defect Score." Accordingly, if a road ***surface*** has $_{a\ DSmin}$ = ***11*** ("Minimum Total Functional Defect Score" = 11 defects × 11 "severity" × 11 "extent"), ***it*** is ***in very good condition***. Conversely, if a road has $_{a\ DSmax}$ ***of 275*** ("Maximum Functional Defect Score" = 11 defects × 5 "severity" × 5 "extent"), ***it*** is ***in a severely damaged condition***.

Thus, monitoring and evaluating pavement quality over time can be fully achieved by tracking changes in the DS parameter. Additionally, between the two values DS_{min}(=11) and DS_{max}(=275), there is always an intermediate value $\mathbf{DS_{midinterval}}$. If the DS of a particular road surface exceeds the $DS_{midinterval}$threshold,

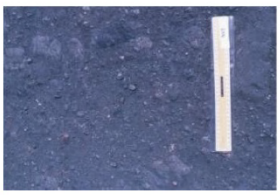
carry out maintenance activities to preserve the quality of the mine road surface. This $DS_{mediumintermediate}$threshold is typically established individually based on each mine's operational experience. Global experience indicates that $DStrung\ gian > 130$.

Table 1.9. Damage assessment by "severity" and "extent" and scoring guidelines

Description of damage severity or extent					
"Scale" Score	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Extent	Localized occurrence; less than 5% of the road is affected.	Occurs intermittently, affecting 5–15% of the road section.	Frequent occurrence, with 16–30 % of the road is affected.	Frequent occurrence, with 31–60% of the road is affected.	Widespread occurrence, with more than 60% of the road affected.
"Severity" rating/damage	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Potholes	Surface with pitting marks, each with a diameter of < 50 mm.	Potholes with a diameter of 50–100 mm.	Potholes with a diameter of 100–400 mm and affecting traffic flow.	Potholes with a diameter of 400–800 mm. They affect driving quality and are clearly avoidable by most vehicles vehicles.	Potholes with a diameter greater than 800 mm. These affect driving conditions and require drivers to slow down or avoid them entirely.
Waves	Slight undulations, barely noticeable in light vehicles.	Ripples are present and noticeable in light vehicles.	Rutting is very pronounced and significantly reduces vehicle handling quality.	Rutting is noticeable in mining trucks, and drivers must reduce speed.	Rutting is clearly felt in trucks, forcing the driver to slow down considerably.
Tire track indentation	Difficult to distinguish without a measuring tool, < 20 mm.	Visible to the naked eye, 20–50 mm.	Easily distinguishable, 50–80 mm.	Clearly visible relative to the moving vehicle, > 80 mm.	Severe, affecting the vehicle's directional stability
Loose material	Very little loose material on the road, depth < 5 mm.	A small amount of loose material on the road, depth 5–10 mm.	Loose material is present on the road to a depth of 10–20 mm.	Significant material spalling on the road to a depth of 20–40 mm.	Loose material, depth > 40 mm.

Description of the extent or severity of damage					
Coarse gravel surface	Some stones protrude, but they are barely felt or heard when driving in a light vehicle.	Protruding stones are felt and heard in a light vehicle.	Protruding stones affect the ride quality of a light vehicle but are still acceptable.	Protruding stones occasionally require evasive action by a light vehicle.	Protruding stones require mining trucks to take evasive action.

Table 1.10. Damage assessment by "severity" and "extent," and scoring guidelines using the visual inspection method

Damage	Visual Description		
	Level 1	Level 2	Level 3
Potholes			
Wavy			
Tire ruts			
Material spalling			
Coarse gravel surface			

Damage	Visual description		
	Level 1	**Level 2**	**Level 3**
Dirt			
Longitudinal cracks			
Shear cracks			
Alligator cracking			
Wet slip resistance			
Dry skid resistance			

In addition to the $DS_{(avg)}$ and$DS_{(int)}$values set as above, operational experience shows that if any road surface exhibits one of the following six defects reaching the corresponding DS_{max}value—denoted as $\boldsymbol{DS^c_{max}}$—that road surface must undergo immediate maintenance due to concerns regarding transportation efficiency and driving safety.

- Wet Skid Resistance, $DS^c_{max}= 9$

- Slip on dry surfaces, $DS^c_{max} = 9$
- Dust, $DS^c_{max} = 4$
- Discontinuous road surface, material flaking off, $DS^c_{max} = 4$
- Heaving, undulation, and unevenness, $DS^c_{max} = 4$
- Coarse-grained pavement, $DS^c_{max} = 5$

Thus, to trigger maintenance, the mine road surface must meet one of the following two conditions:

1- $DS \geq [DS^c]_{max}$

2- DS > 130:

- $60 \leq DS \leq 130$: Maintenance should be performed immediately, even though the pavement quality still allows vehicles to travel on it
- $59 \leq DS$: The road is in good condition; no maintenance is required.

Use the survey form (Table 1.11) below to calculate the total pavement damage score based on the DS function, using the 11 damage categories. Note that the survey form also requires information on drainage capacity and pavement erosion. This information must also be clearly stated in the survey form to ensure an accurate assessment of the mine road's pavement quality.

Table 1.11. Scoring and Evaluation of Road Surface Quality by Function

Date		Evaluator	
Road Segment		Vehicle Speed (km/h)	
Mileage		Traffic volume 10^3 vehicles/day	

Defects	**Functional point**				**Damage points**		
	Severity (1)	**Scale (2)**	**DS (=1×2)**	**DS^c Max**	**Level (1–5)**	**Scale (1–5)**	**RDS**
Potholes							
Ripples				9			
Tire ruts							
Loose material				4			
Large rocks exposed on the road surface				5			
Dust and dirt				4			
Cracks - longitudinal							
Cracks - sliding							
Alligator cracking							

Slip resistance - wet				9
Slip resistance - dry				9
Total Functional Score (DS)				

Maintenance is required • Any significant functional defect exceeding the acceptable limit (*) • DS > 130	Maintenance is recommended, but the road remains passable when the total functional score is: 60 < DS < 130	The road is in good condition and does not require immediate maintenance when the total functional score is: DS < 60

Total RDS Score	
Refer to the chart to read the rolling resistance percentage	
Rolling resistance (%)	

Comments		
Drainage	Road surface	
	Longitudinal ditches	
Erosion	Longitudinal	
	Cross	

1.4.4. Model for assessing the current condition of the road surface based on functional defects (Defect Score, DS)

Pavement quality assessed using the DS parameter described in Section 1.4.3 only provides information about pavement quality at a specific point in time. To observe changes in pavement quality over time, it is necessary to conduct measurements and determine the DS over multiple days. This not only creates inconvenience in pavement quality management but also fails to predict when maintenance is needed to maintain pavement quality.

To address this shortcoming, Roger J. Thomson proposed ***a model for predicting pavement quality*** based on functional defects, using *parameters* such as *pavement surface layer material properties, traffic volume, and maintenance frequency*—also known as **the DS curve**. Figure 1.13 below illustrates this model. Accordingly, the model's simulation curve is a combination of four segments that simulate the interaction of the following parameters: *traffic volume, maintenance activities, and pavement layer material properties*, specifically as follows:

- Segment A–B: Immediately after road maintenance, damage related to loose material, spalling, and dust caused by vehicle traffic decreases, leading to a corresponding decrease in the road's total DS score.
- Segment B-C: The DS curve will reach an inflection point at point B, where the DS value transitions from decreasing to increasing.
- Section C-D: Under the combined effect of increasing vehicle loads

combined with tire wear, the DS value will continue to increase until vehicle speeds slow down and tire tracks shift to avoid damaged areas.

- Section D and beyond: DS remains nearly constant if no maintenance is performed.

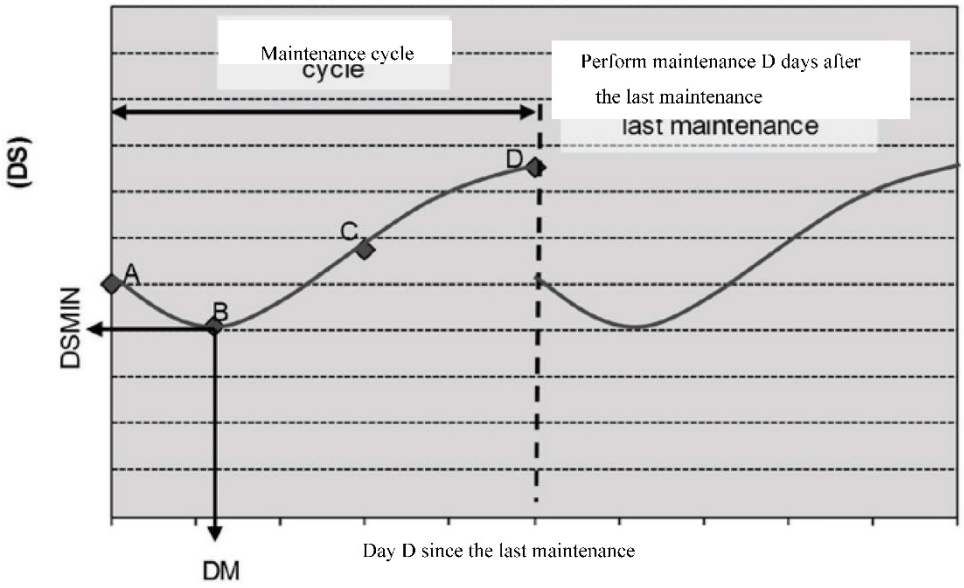


Figure 1.13. Chart illustrating changes in pavement quality through the progression of the DS Functional Score

The maintenance cycle begins at point A and ends between points C and D. The duration of the cycle—whether long or short—depends on the type of surface material (CBR, Gc, Sp, PI, etc.) and traffic volume, typically ranging from [3–21] days.

The analytical formula for the DS curve, which simulates the change in DS from point A to point D, is as follows, calculated using Equation (1.5)

$$\begin{aligned} LDDD &= 1.261 + DM(0.000121\ CBR\ KT - 0.0295\ GC + 0.00982\ SP\ DR) \\ LDDI &= 1.793 + D(0.00228\ KT + GC(0.0103\ DR - 0.01089)) \\ DSMAX &= 35.025 + 26.783\ M - 0.567\ KT + 1.651\ GC \\ &\quad + 0.446\ SP - 10.939\ PI \end{aligned} \tag{1.1}$$

$$DSMIN = 37.915 - 0.158\ KT + 12.709\ M + 1.384\ GC - 0.0875\ SP$$

Where:

- D: The Dth day since the last maintenance
- LDDD: Rate of damage reduction immediately after pavement maintenance
- LDDI: Rate of damage increase
- DSMIN: Minimum damage during the maintenance cycle
- DSMAX: Maximum damage during the maintenance cycle
- DM: The day in the maintenance cycle with the minimum DS damage score.
- KT: Average daily traffic volume (thousand metric tons)
- M: Type of surface material
    - Reinforced material: M = 0
    - Loose material mixture: M = 1
- PI: Plasticity index
- DR: Dust content
- CBR: Load-bearing capacity of the surface course material at 100% compaction using the Modified Proctor compactor
- Gc: Gradation coefficient
- SP: Shrinkage product
- PL: Plastic limit

1.4.5. Results of the assessment of the current condition of functional pavement damage in the rehabilitation area

1.4.5.1. Total functional score DS

In accordance with the directives of the Group's General Director in the Official Dispatch dated July 3, 2018, the Vinacomin Institute of Mining Science and Technology (IMSAT) collaborated with INFRASOL Co., Ltd. and the coal companies Deo Nai, Cao Son, and Coc Sau to conduct surveys, collect data, and analyze material samples along the roads within the mines. To establish a basis for developing the plan, the consulting consortium—comprising the Asia-Pacific Engineering Consulting Company (APECO) and the Vinacomin Institute of Mining Science and Technology (IMSAT)—surveyed the current condition of the road surfaces and materials at the Cao Son coal mine. Prior to implementing the plan, the implementation team conducted a survey and assessment of the current functional damage to the road surfaces in the rehabilitation area. The survey results showed that under dry conditions, the functional damage score ***(DS) ranged from 81 to 126*** (see Appendix for details). According to J. Thompson's recommendations, road sections with this level of damage remain usable but require maintenance, particularly after rainfall.

1.4.5.2. Simulation of the current pavement quality using the total DS score.

Applying the theory of simulating pavement quality based on the total DS score using Equation (1.1) and Figure 1.13 to the Cao Son mine road. Accordingly, Table 1.12 presents the parameters required to calculate the DS score at each specific time point for all test road sections: AA1, AA2, AB, BB1, BB2, and B2C; and Table 1.13 presents the results of the DS score calculations over time for each of the aforementioned test road sections. Figure 1.14 shows the simulation results of the changes in the quality of the test road sections over time and based on the total DS score.

Table 1.12. Parameters for Calculating the DS Functional Score Over Time

Parameter / Road Segment	AA1	AA2	AB1	BB2	B2C	Renovation Route
Shrinkage - SP	140	170	160	180	150	110
Grading Coefficient - GC	40	40	42	43	45	25
CBR Bearing Capacity (%)	50	80	25	25	21	100
Material type (mixture = 1)	0	0	0	0	0	0
Dust-to-DR Ratio	0.65	0.65	0.7	0.7	0.8	0.4
Average daily shipment volume (tens of thousands of metric tons per day)	41.0	50.0	33.5	23.5	23.5	50.0

Table 1.13. DS Total Score Results Over Time

Road Segment	DS Total Score														
	Day														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
AA1 (Unrenovated)	81	76	72	77	**81**	85	89	93	96	99	102	105	107	109	111
AA2 (Unrenovated)	83	76	71	76	**80**	85	89	93	97	101	105	108	111	114	117
AB1 (Unrenovated)	83	80	77	**81**	86	90	94	97	100	103	106	108	111	113	115
BB2 (Not yet renovated)	85	82	78	**82**	86	90	93	96	99	101	103	105	107	108	109
B2C (Unrenovated)	90	87	**83**	88	93	97	101	105	109	112	115	118	121	123	126
Renovation Road	66	60	55	60	65	69	74	78	**82**	85	89	92	95	98	101

The total DS functional score results for evaluating pavement quality are presented in the chart below (Figure 1.14)

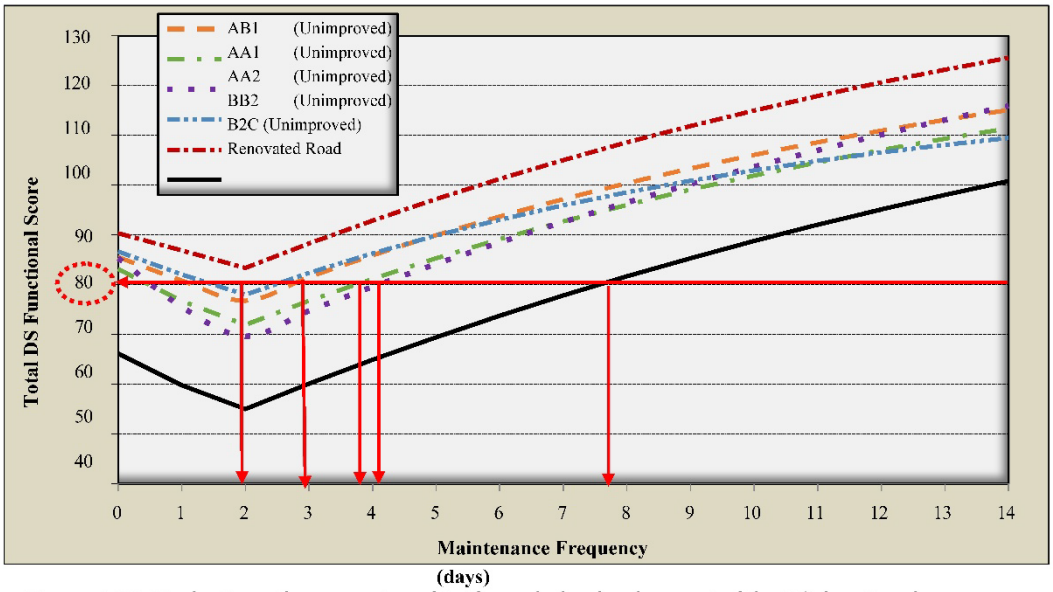


Figure 1.14. Evaluation of pavement quality through the development of the DS functional score over time

Remarks:

- All road sections (temporary, semi-permanent, and permanent) have the **lowest DS** total functional score **2 days** after the last maintenance.

- If we set **DS = 80** as **the threshold value**—meaning that if DS exceeds this value, pavement **maintenance measures** must **be activated** to restore the pavement to an acceptable quality level—then:

- For the temporary road section B2C: The maintenance frequency is approximately 2 days.
- For the semi-permanent road sections AB1 and BB2: The maintenance frequency is approximately [2.5–3] days.
- For the permanent road sections AA1 and AA2: The maintenance frequency is approximately [3.5–4] days.
- For rehabilitated roads (applying the CPDD-M layer overlay method to the test road sections): The maintenance frequency is approximately [7.5–8] days.

Thus, applying CPDD-M to the test road surfaces allows for an extended maintenance cycle, meaning fewer maintenance operations are required. This results in savings on maintenance costs.

1.5. ASSESSMENT OF THE CURRENT CONDITION OF THE ROAD SURFACE BEFORE REHABILITATION BASED ON RDS (ROUGNESS DEFECT SCORE)

1.5.1. The Concept of Rolling Resistance

Essentially, rolling resistance is the force that balances the power required by a vehicle to maintain a specific speed on a road surface with a given gradient (Figure 1.15). Rolling resistance depends not only on the gross vehicle weight (GWV), technical specifications of the vehicle's engine and braking systems, but also on the condition of the tires (tire pressure, tire load, tire diameter, tire type, etc.) and road surface quality.

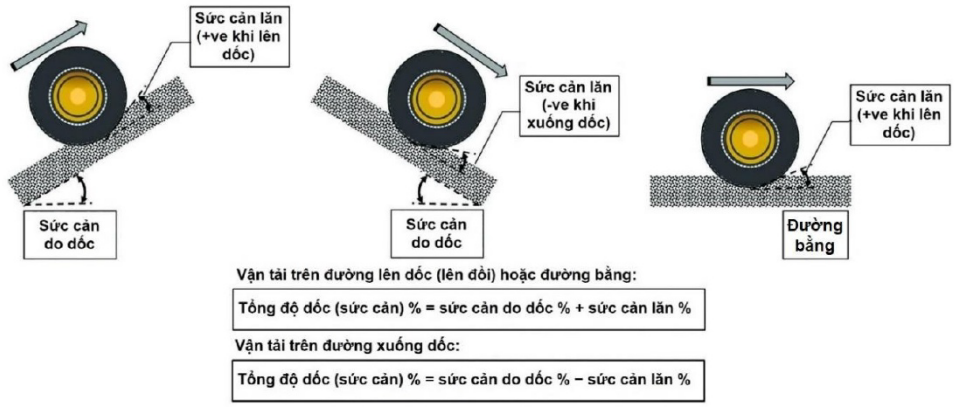


Figure 1.15. Illustration of rolling resistance

Among these factors, road surface quality has a significant impact on the value of rolling resistance. Road surfaces that are subsided, muddy, potholed, uneven, have loose material, are not properly compacted, or are bumpy are all causes of increased rolling resistance, severely affecting the vehicle's movement. Figure 1.16 illustrates some common road surface defects found in mine road systems.



Muddy road surface



Rough, uneven road surface



A road surface with an excess of fine particles forming a soft, crumbly layer of material that easily becomes slippery when wet



Road surface with large, sharp-edged stones, which are difficult to compact, prone to creating potholes, and can damage and wear down tires



Road subsidence affects operating speed and vehicle depreciation costs



Excessive dust on the road surface limits of vehicles

Figure 1.16. Poor road surface quality increases rolling resistance, severely reducing the vehicle's transportation efficiency

1.5.2. Qualitative Assessment of Road Surface Rolling Resistance (RR)

The qualitative assessment of road surface rolling resistance (RR) is conducted visually by directly observing functional defects as listed in Section 1.4.3 and Table 1.10, and then evaluating these defects based on two criteria: "Severity" and "Extent." However, unlike the pavement condition assessment described in Section 1.4.3—which requires evaluating 11 types of damage—assessing rolling resistance (RR) requires evaluating only the following five types of damage:

- Discontinuous pavement surface, material spalling
- Heaving, rutting, and unevenness
- Potholes
- Tire ruts
- Coarse aggregate surface

By evaluating these five types of damage according to the two criteria of "Severity" and "Extent," we can determine ***the Total*** Roughness Defect Score (RDS). This is abbreviated as the RDS score (with a minimum score of 5 and a maximum score of 125).

After determining the RDS by evaluating the five defects mentioned above, it is necessary to convert this index to the rolling resistance (RR) value (in %) using the following equations:

$$RRMIN = \exp^{(-1.8166 + 0.0028\ V)} \quad (1.2)$$

$$RRI = -6.068 - 0.00385 RDS + 0.0061\ V \quad (1.3)$$

$$RR = 10\left(RRMIN + RDS\ \exp^{(RRI)}\right) \quad (1.4)$$

Where:

- RRMIN: Minimum rolling resistance when RDS = 5
- V: Speed of the transport vehicle
- RRI: Rate of change of rolling resistance

1.5.3. Quantitative evaluation of the rolling resistance RR of the road surface

According to Caterpillar, rolling resistance for mining trucks can be determined using Equation (1.5) [1]:

$$RR = 2\% + 0.6m\% \quad (1.5)$$

Where: m is the depth of tire penetration into the pavement, in cm

Alternatively, approximate values can be taken from Table 1.14.

Table 1.14. Rolling resistance for various pavement types

Road Surface Type	Rolling resistance by tire type, %	
	Bias	Radial
Very hard, smooth surfaces such as concrete, asphalt, or unpaved roads that are not water-saturated or undulating...	1.5%	1.2%
A hard, smooth, stable road surface that does not subside under load, and is watered and maintained...	2.0%	1.7
A firm, smooth road with some mud or scattered debris, showing slight ruts or undulations under load, fairly evenly graded, and watered...	3.0%	2.5
Dirt road, ruts or ripples caused by traffic, little maintenance, no water, tire ruts or ripples 25 mm (1") deep...	4.0%	4.0%
Dirt road, ruts or ruts caused by load, little maintenance, no water, tire ruts or ruts 50 mm (2")	5.0%	5.0%

However, by nature, rolling resistance is not a constant parameter; rather, it varies over time, depending on changes in the technical specifications of the surface material and on traffic volume and vehicle loads. Each rolling resistance value—for example, RR = 3%—merely indicates the road surface quality in relation to traffic conditions.

The rolling resistance of a vehicle at a specific point in time or over a specific time period. After that point in time or time period, the rolling resistance will change depending on changes in the five types of wear mentioned above (Section 1.5.2), which are quantified through the RDS. According to [2], the RDS will vary from RDSMIN (corresponding to time D since the last maintenance) to RDSMAX (the start of a new maintenance cycle) at a rate of change denoted by RDSI. The formula for calculating RDS is as follows:

$$RDS = RDSMIN + \left[\frac{RDSMAX - RDSMIN}{1+\exp^{(RDSI)}}\right] \quad (1.6)$$

Where: RDSMAX, RDSMIN, and RDSI are calculated based on the technical specifications of the surface layer material, as presented in Equation (1.7):

$$\begin{aligned} RDSMIN &= 31.1919\ \ 0.05354.SP - 0.0152\ CBR \\ RDSMAX &= 7.6415 + 0.4214\,KT + 0.3133\ GC + 0.4952\,RDSMIN \\ RDSI &= 1.768 + 0.001\ D(2.69\ KT - 72\ 71\ PI - 2.59\ CBR \\ &\quad - 9.35\ GC + 1.67\ SP) \end{aligned} \quad (1.7)$$

By combining Equation (1.6) with Equations (1.3), (1.4), and (1.5) above, we can predict and determine the rolling resistance RR derived from RDS (Figure 1.17)

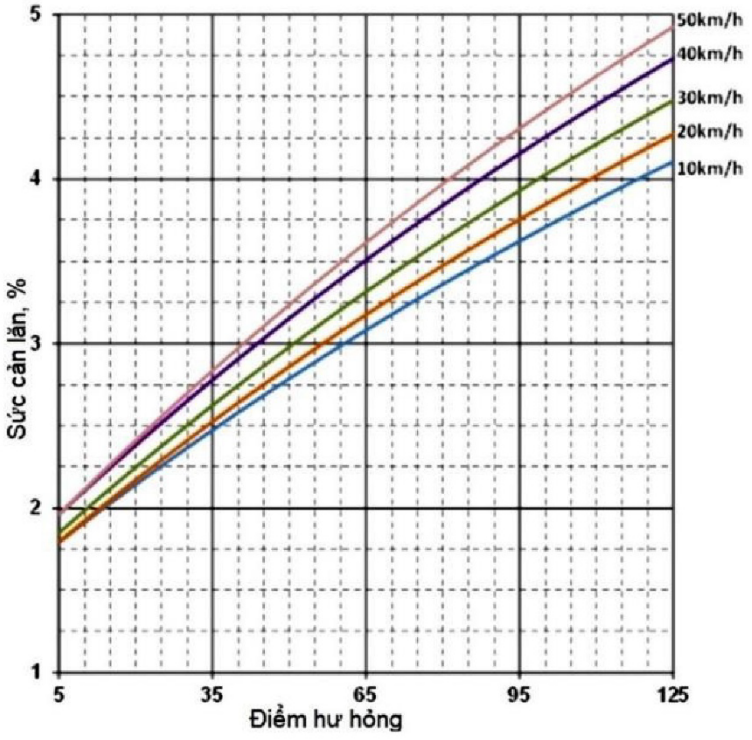


Figure 1.17. Diagram showing the determination of Thompson's rolling resistance from RDS [2]

1.5.4. Results of the pavement quality assessment for the rehabilitated area based on the rolling resistance RR prior to rehabilitation.

Table 1.15 presents the parameters for calculating the RR rolling resistance on a daily basis. Assume we are examining the development of the rolling resistance RR over one month (30 days).

Table 1.15. Parameters for Calculating RR Rolling Resistance Over Time

Parameter / Road Segment	AA1	AA2	AB1	BB2	B2C	Renovation Road
Length (m)	417	275	555	341	711	2,299
Width (m)	20	22	18	17	17	19
Longitudinal slope (%)	6.0%	0.0%	4.0%	6.0%	8.0%	5.0%
Estimated speed (km/h)	27	21.5	26.2	23.8	22.1	24.1
Average daily freight volume (thousand metric tons/day)	410	500	335	235	235	500
Shrinkage product	170	180	160	180	150	110
Grading coefficient	40	40	42	43	45	25
Plasticity Index (PI)	12	15	11	9	13	0
CBR Bearing Capacity (100% Mod)	80	90	70	60	50	100

Applying the formulas from (1.3) to (1.7), we calculate the rolling resistance RR over time for all test road sections as presented in Table 1.15 above. Note that the improved road is a hypothetical section with a length equal to the total length of the test sections; it has an expected speed equal to the average speed across all test sections; it carries a traffic load of 500,000 metric tons per day; and it is paved with a CPDD-M layer on the surface.

Table 1.16. Results of the calculation of rolling resistance (RR) over time for the road sections

Section/Day	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RR-AA1	2.83	2.86	2.89	2.92	2.95	2.99	3.02	3.05	3.09	3.13	3.16	3.20	3.23	3.27	3.31	3.35
RR-AA2	2.86	2.88	2.91	2.93	2.96	2.99	3.02	3.05	3.07	3.10	3.13	3.16	3.19	3.22	3.26	3.29
RR-AB1	2.75	2.83	2.92	3.01	3.11	3.21	3.31	3.41	3.51	3.60	3.69	3.76	3.83	3.88	3.93	3.97
RR- BB2	2.59	2.67	2.77	2.87	2.98	3.10	3.21	3.32	3.42	3.50	3.58	3.64	3.68	3.72	3.75	3.78
RR- B2C	2.61	2.80	3.03	3.28	3.48	3.62	3.71	3.77	3.80	3.81	3.82	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
RR-Renovation	2.93	2.58	2.42	2.36	2.33	2.33	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32

Segments/Day	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
RR-AA1	3.35	3.38	3.42	3.46	3.49	3.53	3.57	3.60	3.64	3.67	3.70	3.73	3.76	3.79	3.82	3.85
RR- AA2	3.29	3.32	3.35	3.38	3.41	3.44	3.47	3.50	3.53	3.56	3.59	3.62	3.65	3.67	3.70	3.73
RR-AB1	3.97	4.01	4.04	4.06	4.08	4.09	4.11	4.12	4.13	4.13	4.14	4.14	4.15	4.15	4.15	4.15
RR- BB2	3.78	3.79	3.81	3.82	3.83	3.83	3.84	3.84	3.84	3.84	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85
RR- B2C	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
RR-Renovation	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32

The results of the rolling resistance (RR) over time are also presented in a graph, as shown in Figure 1.18 below:

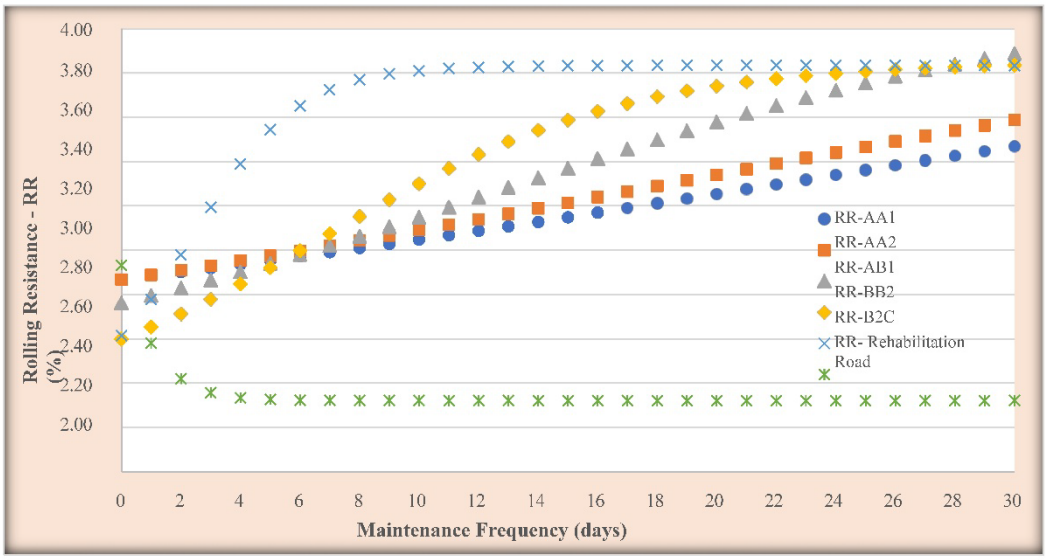


Figure 1.18. Change in rolling resistance (RR) over time

Remarks:

- The RR rolling resistance value on the first day immediately after maintenance was in the range of [2.6–2.93]%. After one month of operation, rolling resistance increased, fluctuating in the range of [3.47–3.89]%.

- For the permanent sections: AA1 and AA2, rolling resistance increased steadily and gradually until the 30th day. Although it increased steadily and continuously, the rolling resistance values for the permanent sections were all less than or equal to those of the semi-permanent and temporary sections at the 30th day following the last maintenance (≤ 3.6%).

- For the semi-permanent road sections: AB1 and BB2 showed a rapid increase in rolling resistance in the early days, after which the increase leveled off and stabilized by day 24 (section BB2) and day 28 (section AB1). This can be explained by the fact that the materials used in these road sections were not yet stabilized, compaction during construction did not ensure sufficient density, and secondary compaction (caused by vehicle traffic) was still ongoing. Once the material quality stabilized and after multiple cycles of secondary compaction, the material became denser, causing the curve on the graph to level off. The rolling resistance values for the semi-permanent sections were 3.83% for section BB2 and 3.89% for section AB at the 30-day mark.

- For the temporary pavement: The rate of increase in rolling resistance for this type of pavement is the fastest in the initial phase following maintenance. This is because the material has not yet been fully compacted; once sufficient compaction is achieved, the pavement surface quickly stabilizes, and rolling resistance no longer increases. The rolling resistance value at the 30-day mark is ≤ 3.83%.

- The rolling resistance values of the test road sections fluctuate around 4%, which is double the 2% rolling resistance value of a standard road surface, significantly impacting both transportation costs and mine operation and maintenance costs. Therefore, to improve and enhance transportation efficiency, measures must be implemented to reduce the road surface's rolling resistance to a value close to 2%.

- Using CPDD-M for pavement maintenance is considered a viable solution. As shown in Figure 1.18, the rolling resistance of the CPDD-M-treated pavement gradually decreases over time, from 2.93% to 2.32%. Thus, using CPDD-M is a feasible and effective measure for reducing rolling resistance.

1.6. EVALUATION OF PAVEMENT STRUCTURAL QUALITY PRIOR TO REHABILITATION USING THE LWD ELASTIC MODULUS MEASURING DEVICE AND THE DCP DEVICE

1.6.1. Method for Measuring Elastic Modulus Using LWD Dynamic Measurement Equipment

The test method for measuring elastic modulus using LWD equipment (Figure 1.19) is conducted in accordance with ASTM E2583-07 (2015*), "Standard Test Method for Measuring Deflections with a Lightweight Deflectometer (LWD)*." The equipment applies the principles of dynamic penetration, static loading, and wave propagation theory. Under the action of an impact, the displacement and velocity of the compression plate as a function of time are automatically measured and recorded by sensors and electronic equipment

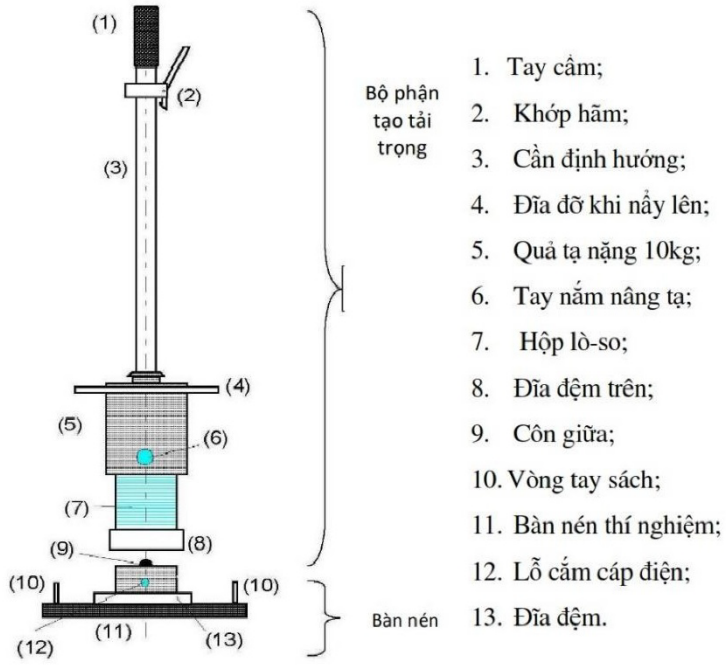


Figure 1.19. LWD dynamic measurement device

Specifications of the LWD device: weight of the load is 10 kg; total weight of the device is 15 kg; maximum force that can be generated is 20 kN; maximum measured deflection is 2.5 mm; accuracy of 0.1 μm; minimum measurement force of 700 N (if the force is insufficient to cause displacement of the compression plate, the device will not calculate a result or will provide an inaccurate result). The compression plate has a diameter of d = 300 mm and a thickness of 20 mm, and is equipped with an integrated accelerometer.

Measurement point layout: Based on current conditions, cross-sections along the alignment. LWD measurement points are located on both lanes in the left and right directions of the alignment, measured at the center of each lane.

Measurement procedure:

Step 1: Determine the measurement locations.

Step 2: Level the surface of the layer to be tested for elastic modulus.

Step 3: Install and configure the main parameters for the LWD equipment, then conduct a preliminary test to verify the instrument's operation. Once the instrument is confirmed to be functioning properly, proceed with the actual measurement.

Step 4: Perform the actual measurement by raising and lowering the load so that the compression plate deflects; based on the measured deflection value, the device will calculate the elastic modulus.

Calculating the Results

The elastic modulus is calculated using the following formula:

$$E = \frac{\pi(1-\nu^2)}{4} B \frac{p}{S} \quad (1.8)$$

$$K = \frac{4.E}{\pi.(1-\nu^2)B} \quad (1.9)$$

Where:

K: Conversion factor.

p: Conventional compressive stress (MPa); B: Radius of the compression plate (m); S: Displacement of the compression plate (mm);

E: Static elastic modulus (MPa);

υ: Poisson's ratio

1.6.2. CBR Measurement Method Using the DCP Dynamic Cone Penetrometer

The CBR test method using the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) (Figure 1.20) is conducted in accordance with ASTM Standard D6951/D6951M (2015), "Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications." This test method is used to evaluate the in-situ strength of undisturbed soil and compacted materials (or both). The penetration depth of the cone tip using an 8-kg hammer can be converted to the in-situ CBR (California Bearing Ratio) value to determine the thickness of the soil layer, the shear strength of the soil layer, and other material characteristics.

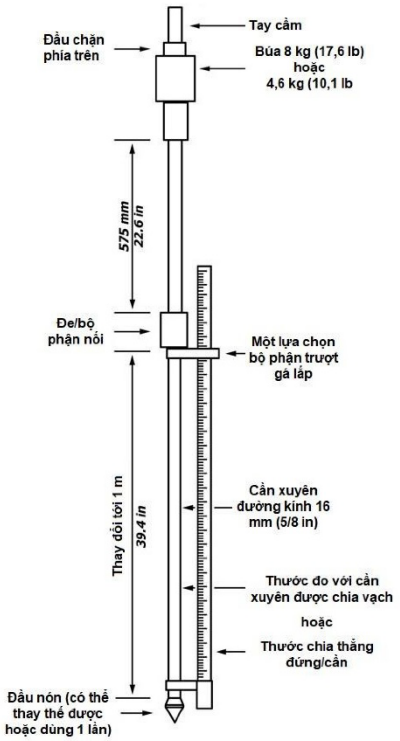


Figure 1.20. DCP Dynamic Penetrometer

Test point layout: Based on site conditions, cross-sections, and along the route. DCP measurements are performed at points located to the left, center, and right of the alignment.

Deflection Measurement Procedure

Step 1: Determine the measurement locations.

Step 2: Install and configure the main parameters for the DCP device, then conduct a preliminary test to check the instrument. Once the instrument is confirmed to be functioning properly, proceed with the actual measurement.

Step 3: Perform the actual measurement by raising and lowering the hammer so that the sharp tip penetrates the pavement layers.

Calculation

The load-bearing capacity of the CBR pavement is calculated using the DCP index via the correlation presented in Equation 1. The DCP index is determined by the penetration depth of the probe after a single hammer drop, measured in mm/hammer.

$$CBR = 292/DCP^{1.12} \quad (1.10)$$

Where:

CBR: Pavement load-bearing capacity (%);

DCP: Single-blow penetration depth, mm, also known as the DCP index (mm/blow).

1.6.3. Test Results

1.6.3.1. Test results for elastic modulus measured using LWD equipment

According to the Report on the Survey Results of the Current Condition of the Road Subgrade and Materials at the Cao Son Coal Mine and the Report on the Results of the Supplementary Survey—Plan for Road Improvement to Enhance Quality at the Cao Son Coal Mine. The roadbed elastic modulus measured by the LWD device at the rehabilitated sections yielded results of E = 37.5–216 MPa, with most measurement points showing values of E = 70–90 MPa. The results of the measurement points are presented in Tables 1.17 and Figure 1.21; see the Appendix for details.

The elastic modulus values across the entire test road surface are coded by serial numbers from 1 to 32 (32 elastic modulus measurement points using LWD equipment). Points 1 through 10 correspond to section AA1

Table 1.17. Results of the mine road surface survey using LWD testing

No.	Measurement Point	Route	Coordinates		E, MPa
			X	Y	
1	1	C-B	2,328,157.13	452,926.93	67
2	2		2,328,142.87	452,927.77	132
3	3		2,328,136.79	453,023.98	102
4	4		2,328,149.15	453,029.24	86.4
5	5		2,328,078.98	453,135.34	80.1
6	6		2,328,069.40	453,127.30	89.5
7	7		2,328,030.41	453,188.45	98.9
8	8		2,328,043.00	453,196.78	106.3
9	9		2,328,004.20	453,283.28	112.9
10	10		2,327,996.45	453,284.83	115.1
11	11		2,327,989.29	453,289.10	87.8
12	12	B-A	2,327,930.74	453,232.68	82.3
13	13		2,327,945.30	453,227.10	80.2
14	14		2,327,970.70	453,049.77	77.8

No.	Measurement Point	Route	Coordinates		E, MPa
			X	Y	
15	15		2,327,956.76	453,046.36	87.6
16	16		2,328,250.57	453,689.40	55.7
17	17		2,328,235.95	453,694.38	93.5
18	18		2,328,076.44	453,396.17	79.9
19	19		2,328,068.60	453,408.52	89
20	20	A-A1	2,328,204.58	453,534.84	181.5
21	21		2,328,177.83	453,539.25	149.7
22	22		2,328,171.54	453,781.16	190.3
23	23		2,328,185.38	453,786.51	124.4
24	24		2,328,142.65	453,922.41	108.8
25	25		2,328,130.03	453,915.11	104.8
26	26		2,328,028.45	454,077.51	127.9
27	27		2,328,039.71	454,086.41	215.9
28	28		2,327,966.01	454,204.41	37.5
29	29		2,327,953.11	454,198.25	100.4
30	30		2,327,874.98	454,324.62	84.7
31	31		2,327,871.41	454,318.66	90.6
32	32		2,327,868.04	454,312.10	95

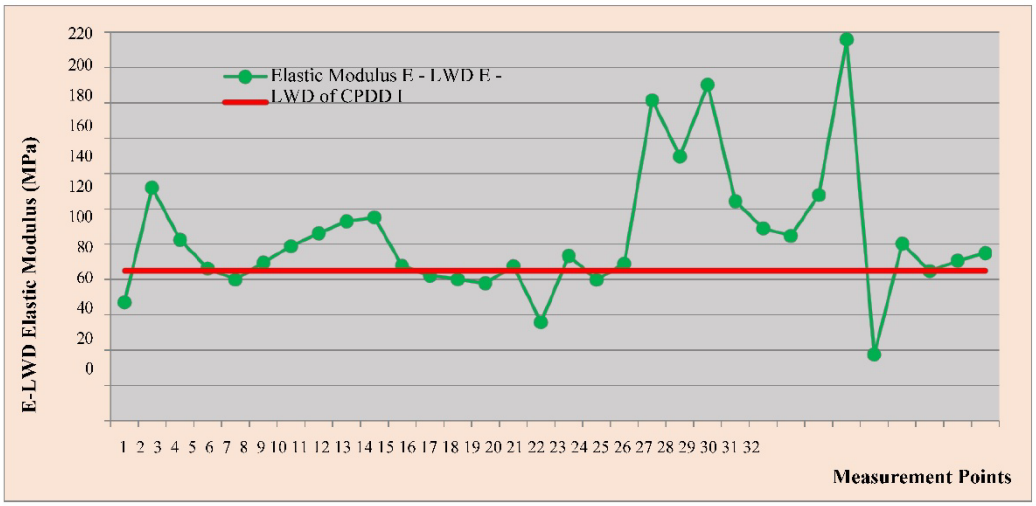


Figure 1.21. Results of elastic modulus E measurements using LWD equipment on test sections at the Cao Son Coal Mine.

In the figure above, the red line represents the elastic modulus measured by the LWD device for Type 1 crushed stone mix (CPDD1) according to TCVN 8858:2012, with a value of E-LWD – CPDD1 = 85 MPa. Comparing this with the red line, the following observations can be made:

- For the temporary road L1 = 1.3 km:

+ In the section from Km 0+.00 to Km 0+500 m, there are two points, No. 1 and No. 5, corresponding to the mileage markers km 0+0.0 and km 0+250, where the elastic modulus value E-LWD is lower than the elastic modulus E-LWD of CPĐD1.

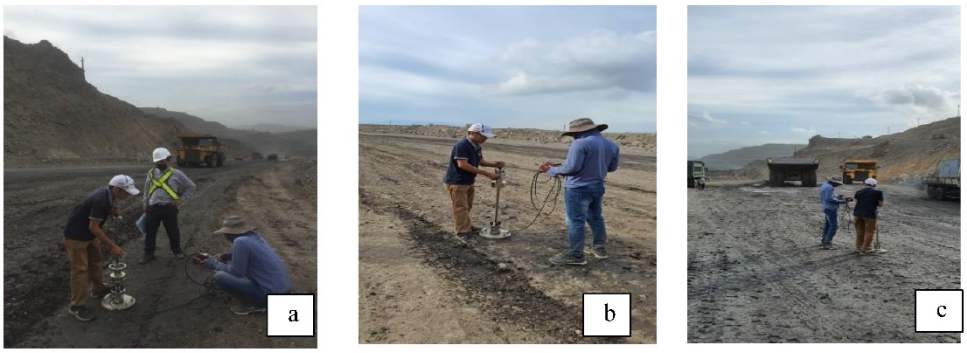
+ In the section from Km 0+500 to Km 1+300, there are four points: 12, 13, 14, and 16 corresponding to the survey stations Km 0+600, Km 0+750, Km 0+950, Km 1+150, and Km 1+200, where the elastic modulus E-LWD is lower than that of CPĐD1

- For the fixed and semi-fixed road section L2 = 4 km, at the Km 3+0.00 milestone, the E-LWD value at this location is lower than the E-LWD value of Type 1 CPDD.

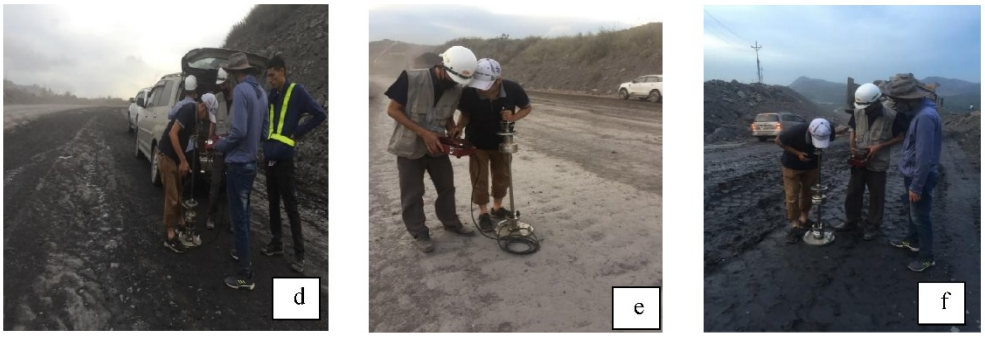
- The results of the field tests measuring E mentioned above show that the pavement strength is very high in some areas (>200 MPa, Figure 1.22e); this applies to the fixed road sections leading to the waste dump. However, as shown in the graph in
2.21 reveals localized weaknesses on the temporary and semi-permanent road sections. Even on the permanent sections, there are spots of soft, rubbery subsidence, such as at Point 28 (E = 37 MPa), which was confirmed by a field survey (Figure 1.22f).

- Observing the test results in Figure 1.22 and the data presented in Figure 1.21 reveals that, when examined across the cross-sections and along the route of the Cao Son mine road, the elastic modulus—which characterizes the pavement's load-bearing capacity—is non-uniform, with significant variation among the measured values.

Therefore, when planning repairs or upgrades, the first step is to address all local weaknesses by excavating and replacing them with graded materials that have a compaction degree and an elastic modulus measured by LWD equipment > 130 MPa. Next, apply a layer of CPDD-M that meets the technical requirements to fulfill the functional requirements of the pavement (total functional score DS = [60–130]—Section 1.52, and RR = 2% as closely as possible—Section 1.53).



Measurement of the elastic modulus of the temporary pavement (in the quarry) on the test section



Measurement of the elastic modulus of the permanent/semi-permanent pavement (outside the mine) of the test section

Figure 1.22. Test to determine the elastic modulus using LWD equipment on the Cao Son mine road

1.6.3.2. Test results for determining the CBR bearing capacity of the subgrade using a DCP device.

The CBR test results are presented in Table 1.18 and Figures 1.23, 1.24, and 1.25 below. An image of the DCP test is shown in Figure 1.26

Table 1.18. Results of the mine road surface survey using the LWD test

No.	Measurement Point	Route	Coordinates		CBR, (%)
			X	Y	
1	1	C-B	2,328,157.13	452,926.93	12
2	2		2,328,142.87	452,927.77	12
3	3		2,328,136.79	453,023.98	24
4	4		2,328,149.15	453,029.24	24
5	5		2,328,078.98	453,135.34	12
6	6		2,328,069.40	453,127.30	24
7	7		2,328,030.41	453,188.45	24

No.	Measurement Point	Route	Coordinates		CBR, (%)
			X	Y	
8	8		2,328,043.00	453,196.78	29
9	9		2,328,004.20	453,283.28	29
10	10		2,327,996.45	453,284.83	24
11	11		2,327,989.29	453,289.10	24
12	12	B-A	2,327,930.74	453,232.68	24
13	13		2,327,945.30	453,227.10	24
14	14		2,327,970.70	453,049.77	24
15	15		2,327,956.76	453,046.36	29
16	16		2,328,250.57	453,689.40	24
17	17		2,328,235.95	453,694.38	24
18	18		2,328,076.44	453,396.17	24
19	19		2,328,068.60	453,408.52	24
20	20	A-A1	2,328,204.58	453,534.84	58
21	21		2,328,177.83	453,539.25	42
22	22		2,328,171.54	453,781.16	42
23	23		2,328,185.38	453,786.51	49
24	24		2,328,142.65	453,922.41	49
25	25		2,328,130.03	453,915.11	58
26	26		2,328,028.45	454,077.51	29
27	27	B-B1	2,328,039.71	454,086.41	58
28	28		2,327,966.01	454,204.41	49
29	29		2,327,953.11	454,198.25	58
30	30		2,327,874.98	454,324.62	49

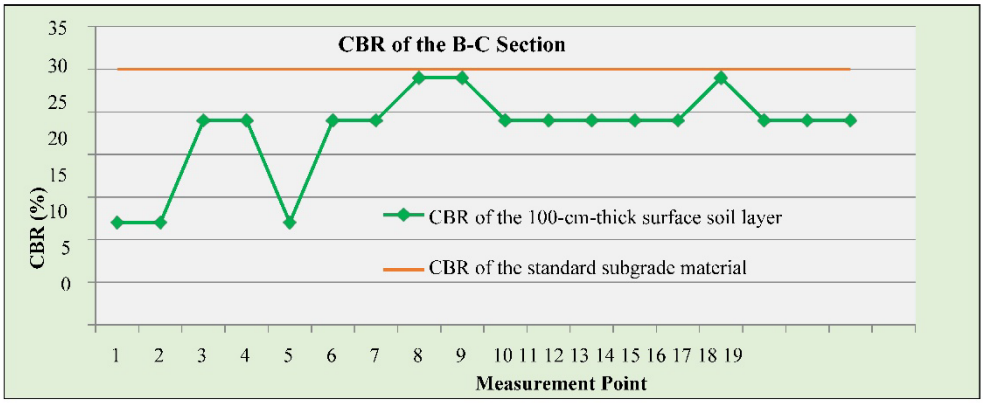


Figure 1.23. CBR test results for the B-C section

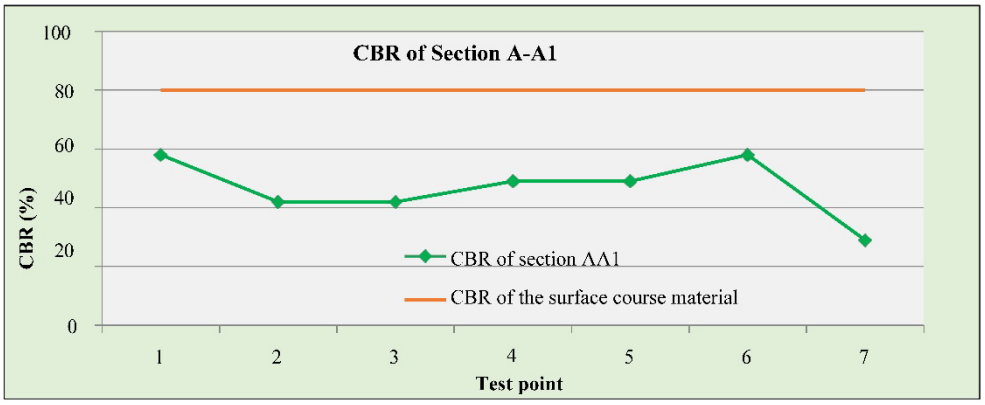


Figure 1.24. CBR test results for the A-A1 section

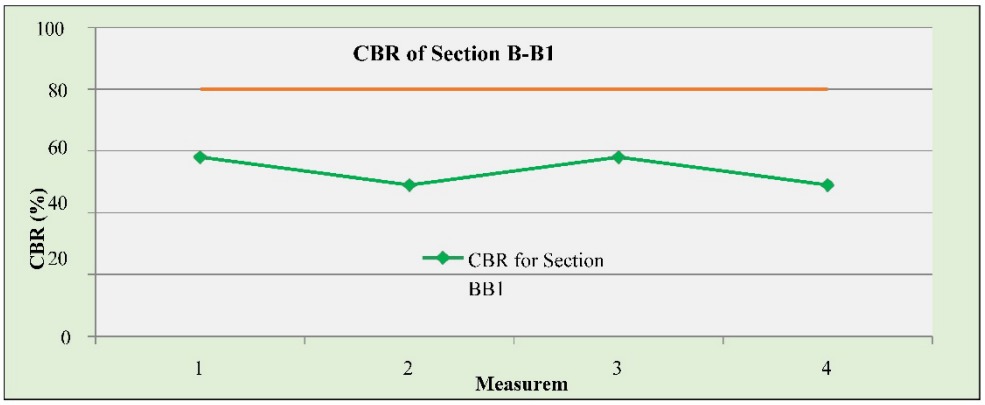


Figure 1.25. CBR test results for the B-B1 section

Remarks:

- For the temporary B-C road section: the soil layer with a depth of 100 cm or less from the road surface has a very low CBR, < 30%, because it was not properly compacted and the material consists mainly of soil and rock excavated from the cut that does not follow a proper gradation. This soil layer is primarily compacted by the transport vehicles themselves. Consequently, it lacks density and strength. Even the slightest exposure to water (rain or dust suppression spraying) can easily cause ruts, potholes, heaving and settlement, and muddy patches where tires get stuck. A CBR value of <30% means this soil layer does not meet the requirements for a road subbase in a standard pavement structure. In some locations, the CBR is as low as 10%, which is equivalent to the technical requirements for a standard road subbase.

- For the permanent routes A-A1 and semi-permanent routes B-B1: the soil layer with a depth of 20 cm from the road surface has a higher CBR value compared to the temporary route B-C because these routes have been regularly compacted by the very vehicles

operating within the mine. However, because the material does not follow proper gradation standards, the road surface lacks sufficient compaction and strength (CBR < 80%), which is the direct cause of localized weak spots prone to rubber-induced subsidence, particularly when water (from rain or dust suppression) seeps beneath the roadbed.

- Considering all road sections as a whole, the CBR values range from [24–60]%.

- An analysis of the CBR test results reveals that the top soil layers of the road surfaces on all routes lack sufficient load-bearing capacity. In particular, when exposed to water, this leads to the formation of functional failures as described in sections 1.5.2 and 1.5.3. To repair and rehabilitate the mine roads, this topsoil layer (<1 m for the B-C route) and (approximately 20 cm for the A-A1 and B-B1 routes) must be removed, removed because it does not meet load-bearing requirements, or a new modern design method based on mechanical behavior must be applied to design a subgrade layer using blast-generated rock and soil with a reasonable thickness—sufficient to withstand the loads of transport vehicles.



Figure 1.26. Some experimental images from the DCP method for determining CBR

1.7. MAINTENANCE DESIGN

1.7.1. The significance of maintenance design and the minimum user-cost model.

Given the extremely heavy vehicle loads in mines, it is very difficult to construct a mine road system with a long service life without the need for maintenance. If such a system were possible, the construction costs would be very high. Furthermore, since mine roads typically have a surface layer made of loose rock and soil materials (specifically blasted rock), under the influence of heavy vehicle loads and adverse weather conditions such as sun and rain, damage is inevitable during mining operations (Section 1.4.3 and Table 1.10).

However, to prevent this damage from occurring, the road must be maintained, which entails maintenance costs. To achieve economic efficiency in transportation, these costs must be balanced against the benefits gained from reduced vehicle operating costs resulting from the road surface being consistently maintained at a high quality. This is the core principle of *the* Minimum Total Road-Users Cost *model*, illustrated in general terms in Figure 1.27 below, which serves as the basis for **maintenance planning** or **maintenance design**.

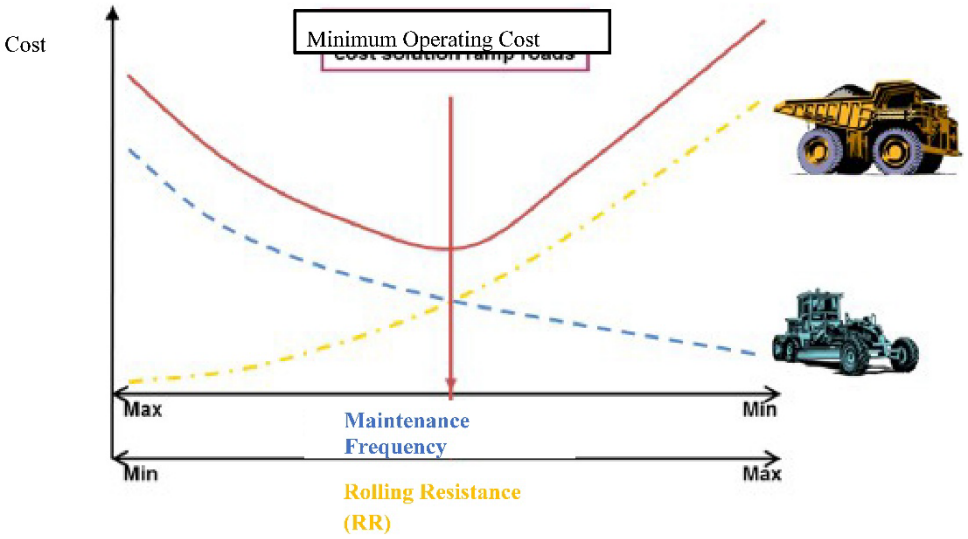


Figure 1.27. Model for minimizing road user costs

1.7.2. Maintenance Design Principles.

The principle of maintenance design is to determine ***a reasonable maintenance frequency*** so that the number of maintenance operations is minimized while still ensuring pavement quality. Pavement quality here is quantified through rolling resistance (RR), meaning

there are only five types of damage: potholes, rutting and undulations, loose and dislodged material, tire ruts, and large exposed stones on the pavement. These types of damage are also the primary factors directly affecting vehicle operating costs (including fuel, replacement parts, and tire wear). Road maintenance costs are calculated based on the productivity of motor graders and water sprayers. When the two costs—vehicle operating costs and maintenance costs—intersect at a point where the mine owner's (or, in this case, the road user's) operations achieve technical and economic efficiency—that is, when the road user's operating costs are minimized at the most optimal maintenance interval. The unit of this time point is days—that is, the number of days from the last maintenance to the next maintenance.

The general principle for determining the minimum operating cost is as follows:

Step 1: Identify the types of costs:

- **Vehicle operating costs** = Fuel costs + Tire costs + Replacement parts costs, including labor costs for replacement.
- **Road maintenance costs** = Grader costs + Water sprinkler truck costs
- **Road usage operating costs** = Operating costs + Road surface maintenance costs.

Note: All of the above cost categories are determined based on the rolling resistance (RR) cost calculation model, the results of which are presented in Section 1.5.4, Figure 1.18, and the number of days since the last maintenance (maintenance frequency), as proposed by Roger Thompson [2].

Step 2: Determine the minimum road usage cost

- Determine the road usage cost based on the number of days since the last maintenance
- Determine the minimum value of this cost.

Step 3: Determine the most appropriate time to perform maintenance (optimal maintenance frequency)

- Calculate the difference between the road usage cost values and the minimum value of this cost.
- Plot the variation of this difference on a graph: the vertical axis represents the difference (in millions of VND), and the horizontal axis represents the maintenance frequency (in days).
- Based on the graph above, determine the optimal maintenance frequency (in days since the last maintenance).

1.7.3. Design a maintenance plan for the test road sections at the Cao Son mine.

1.7.3.1. Maintenance Design Data

The data required for maintenance design is presented in Tables

1.19 and 1.20 below:

Table 1.19. Road section parameters and surface course materials

Parameter / Road Section	AA1	AA2	AB	BB2	B2C	Renovation
Length (m)	417	275	555	341	711	555
Width (m)	20	22	18	17	17	18
Longitudinal Slope (%)	5	0	3.5	8	10	3.5
Estimated speed (km/h)	27	21.5	26.2	23.8	22.1	26.2
Average daily freight volume (thousand metric tons/day)	410	500	335	235	235	500
Shrinkage	140	170	160	180	150	110
Mix Design Coefficient	40	40	42	43	45	25
PI	12	15	11	9	13	0
CBR (100% Mod)	50	80	25	25	21	100

Note: The rehabilitated section is segment AB after the pavement surface material has been upgraded to meet standard specifications

Table 1.20. Parameters for vehicles used in design calculations

Parameter	CAT 777D
Engine power (kW)	746
Transmission efficiency (%)	80%
Braking efficiency (%)	115%
Vehicle curb weight - EVM (t)	90.4
Gross Vehicle Mass (GVM) (t)	163.4
Speed limit (loaded/unloaded) (km/h)	35
Replacement Parts Cost (x10^6), VND	125,000
Engine operating hours (x10^3)	10
Daily vehicle utilization rate (%)	70
Cost of one tire (VND)	400,000,000
Cost of 1 liter of fuel (VND)	25,000
Labor cost per hour (VND)	90,000
Labor beta coefficient	0.45
Parameter	**Grader**
Effective blade length (Le-Lo) (m)	3
Number of graders	6
Road surface area maintained per hour per meter of effective grader blade width ($m^2/h/m$)	6,000
Daily grader utilization rate (%)	70
Operating cost of a grader per hour (VND)	5,500,000
Specifications	**Water Sprinkler Truck**
Effective water spray width (m)	10
Number of water spray vehicles	6
Road surface area watered in 1 hour per 1 m of road width ($m^2/h/m$)	10,500
Daily utilization rate of water spray trucks (%)	70.00%
Operating cost of a water-spraying vehicle per hour (VND)	3,500,000

1.7.3.2. Calculated cost results

Detailed calculations of various cost categories for different road segments are presented in the attached appendix. The results are presented below in the form of charts.

a. Vehicle operating costs (CAT777D): include fuel costs, tire costs, and costs for replacement parts and labor. (Figures 1.28, 1.29, and 1.30)

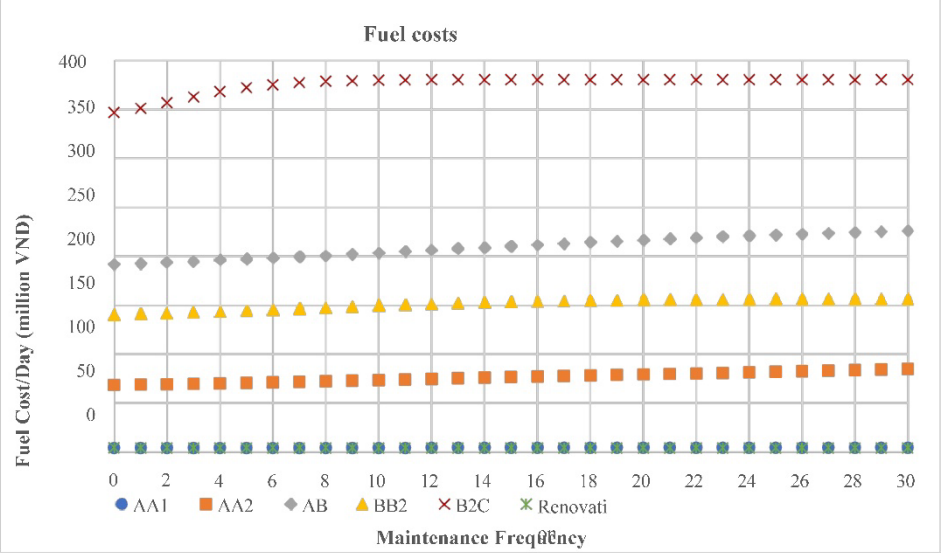


Figure 1.28. Daily fuel costs for the test sections

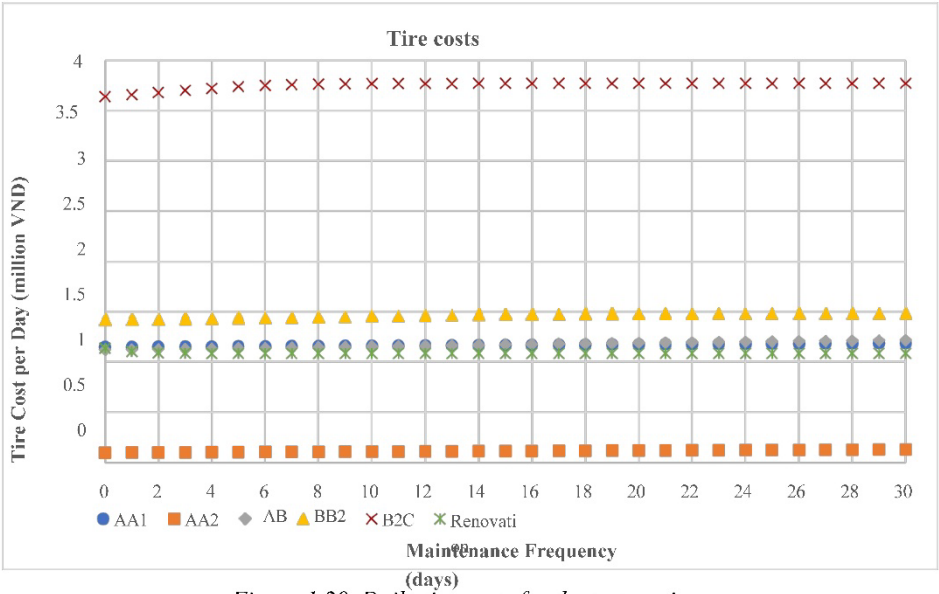


Figure 1.29. Daily tire costs for the test sections

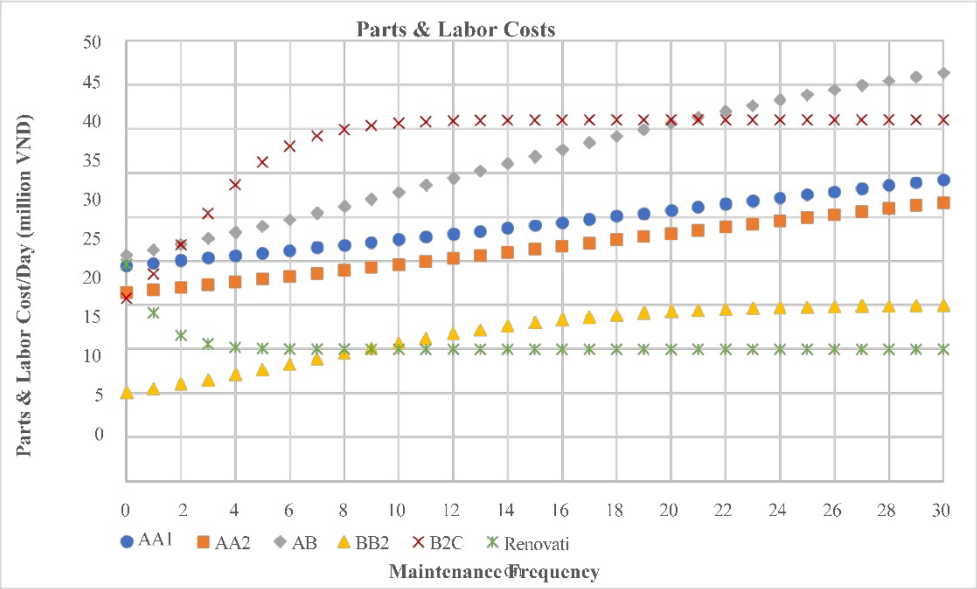


Figure 1.30. Daily parts and labor costs for the test sections

b. Road surface maintenance costs:

The results are presented in Figure 1.31

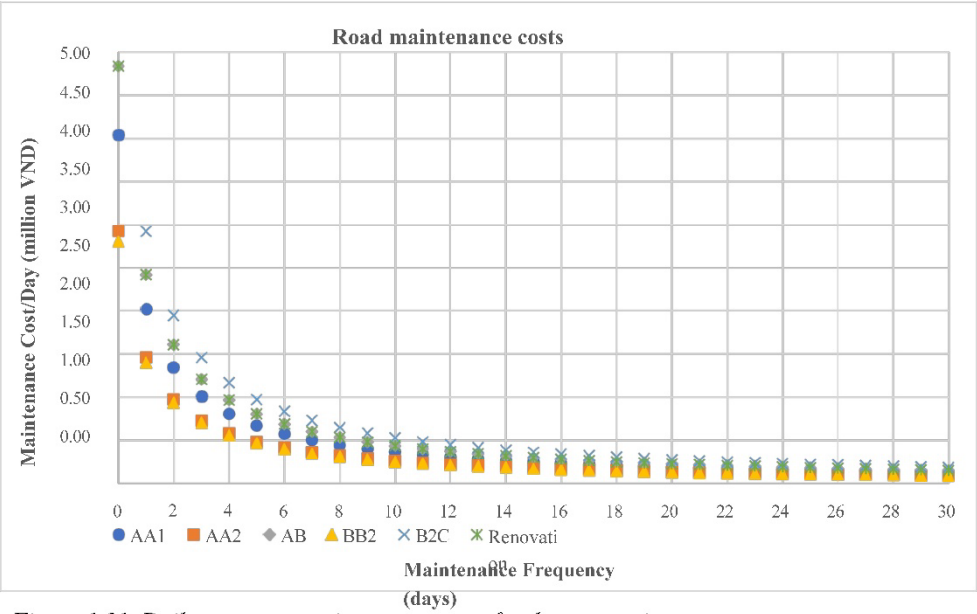


Figure 1.31. Daily pavement maintenance costs for the test sections

c. Road usage costs

The results are presented in Figure 1.32.

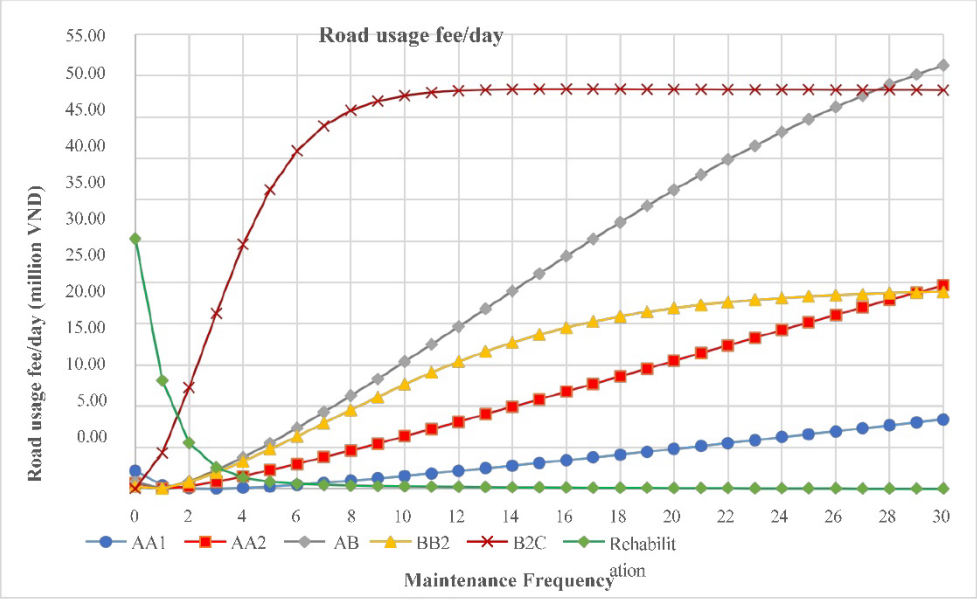


Figure 1.32. Daily road usage costs for the test sections

Examining Figure 1.32, we see (determining ***the maintenance frequency based on rolling resistance RR***)

- The optimal maintenance frequency for section AA1 is: 03 days.
- The optimal maintenance frequency for sections AA2, AB, and BB2 is: 1 day.
- The optimal maintenance frequency for section B2C is: 0 days, meaning daily.
- The optimal maintenance frequency for the upgraded AB section is: 8 days.

Comparing with Figure 1.14, which determines ***maintenance frequency based on the total functional score (DS)***, the following applies:

- Section AA1: maintenance frequency (based on rolling resistance RR) is [0.5–1] days earlier
- Section AA2: maintenance frequency (based on rolling resistance RR) is [2.5–3] days earlier
- Sections AB and BB2: maintenance frequency (based on rolling resistance RR) is [1.5–2] days earlier
- Section B2C: maintenance frequency (based on rolling resistance RR) is 2.0 days earlier.
- Renovated AB section: maintenance frequency based on rolling resistance (RR) equals maintenance frequency based on total functional score (DS): 08 days

Thus, to operate and use the mine haulage road in an economically and technically efficient manner, it is necessary to determine the maintenance frequency based on rolling resistance (RR)—a factor that directly affects vehicle operating costs and pavement quality

of the road surface. A reasonable maintenance interval is the number of days from the last maintenance to the next maintenance, such that both vehicle operating costs and road surface maintenance costs are minimized.

1.8. MONITORING TRAFFIC VOLUME, VEHICLE TYPES, AND SPEEDS ON THE ROAD SECTION PREPARED FOR REHABILITATION

Traffic volume, vehicle types, and travel speeds on the road section scheduled for reconstruction are measured using time-lapse photography. Cameras are installed at the beginning and end of the route to capture vehicles passing through these points and record the time (Figure 1.33).

The implementation team monitored and recorded the traffic volume, vehicle types, and speeds on the A-A1 and A-B-B2-C sections prior to the start of the first shift on May 25–28, 2021. At the time of monitoring on May 25, the weather was dry, and the road surface was watered to suppress dust every 2 to 3 hours of operation. On May 26, before the first shift, there was a light shower, leaving the road surface damp and relatively slippery at the start of the first shift.

The results of monitoring traffic volume, vehicle types, and speeds are as follows:

- Section A-A1: One-way traffic volume was 100–120 trips per hour, including both large-capacity trucks (55–96 metric tons) from the mine and 36–40 metric-ton trucks from contracted third-party companies. Most of the soil and rock waste transported by truck from the Cao Son mining site passes through this section to the Bàng Nâu waste dump. The average speed of loaded trucks traveling downhill is 25–27 km/h, while unloaded trucks traveling uphill average 20–33 km/h, with an overall average of 22.9–30.6 km/h. See Table 1.21 for details.

- Section A-B-B2-C: Traffic volume is low—ranging from 50 to 75 trips per hour—primarily consisting of 55–96-metric-ton vehicles from the mine transporting coal and rock from levels -20 to the bottom of the quarry to the coal storage yard, the rock crushing plant, and the Bàng Nâu waste dump. The average speed of loaded trucks going uphill is 17–20 km/h, and the average speed of unloaded trucks going downhill is 32–40 km/h, with an average of 26.2–28.6 km/h. See Table 1.21 for details.



Vehicle entering Point A Vehicles exiting Point A1

Figure 1.33. Timed measurements of vehicles entering and exiting on the A–A1 section on May 25, 2021

Table 1.21. Traffic volume and vehicle speeds by vehicle type on existing road sections

No.	Vehicle Type	Vehicle weight, metric tons	Vehicle Speed, km/h					
			Section A-A1			Section A-B-B2-C		
			Average traffic volume, trips/h	Downhill section with load A→A1	Uphill, no load: A1→A	Average traffic volume, trips/h	Loaded uphill direction C→A	Unloaded downhill direction A→C
1	CAT777	96	12	25.4	20.4	28	18.6	34.9
2	HD785	91	5	25.6	23.8	9	19.2	35.0
3	CAT773	58	4	27.8	32.3	5	17.1	40.1
4	HD465	55	7	27.7	33.5	28	20.2	32.1

- Section A-A2 has the highest traffic volume (120–160 trips/hour) and includes all types of vehicles operating in the mine. Vehicles traveling through this section include trucks transporting rock and soil from level -20 and above in the West and Southwest areas to the rock crushing plant, the Bàng Nâu waste dump, and rock and soil from the bottom of the pit being dumped into the crushing plant. Due to the short length of this section and the fact that vehicles travel only on a portion of it—and because this is the area for entering and exiting the crushing plant—the research team did not conduct a speed survey on this section.

- Section B-B1 is located on the route connecting the transport depots to the quarry; vehicles traveling on this section are primarily empty trucks moving between the transport depots and the quarry and vice versa.

Results from vehicle speed monitoring on these sections prior to renovation show that: under dry conditions, the average vehicle speed meets or exceeds the average technical speed calculated in the Labor Standards and Productivity of Key Open-Pit Coal Mining Equipment, issued pursuant to Decision No. 2411/QĐ-TKV dated December 31, 2019, by the Vietnam Coal and Mineral Industries Group (Standard 2411). However, during heavy rain, when the road surface becomes muddy, the vehicles' speed reaches only 60–70% of the standard.

1.9. CONCLUSION OF CHAPTER 1

The area selected for road improvement is the intermediate section connecting the mining site to the rock crushing plant and the Bàng Nâu waste dump. In terms of location, the road sections include both in-mine and out-of-mine roads; in terms of type, they include permanent, semi-permanent,

and temporary roads.

The existing road surface prior to rehabilitation was constructed and maintained using a method of spreading a layer of selected rock and soil from blasted rock at the mine. During use, common **damage** includes potholes, ruts, heaving and subsidence, unevenness, mud and slush during rain, and dust during dry weather, as well as exposed large rocks, which reduce productivity and increase tire wear.

The aforementioned defects are closely related to **the quality of the pavement surface material**. Pavement materials are not only selected qualitatively from blasted rock but must also undergo quality control based on technical specifications such as ***Gc, Sp, PI, DR, CBR,*** Dmax, etc., to prevent the aforementioned defects from occurring and to ensure that the transportation road functions safely for traffic, is tire-friendly, and is efficient in operation and maintenance.

The evaluation of road surface quality is conducted by calculating ***the total DS (Functional Score)***. Roughly speaking, the total DS is an integer that quantifies road surface quality based on the following principle: The smaller the integer, the better the road surface quality, and the road's functions are ensured. Conversely, the higher the integer, the poorer the road surface quality, and the road's functions deteriorate rapidly and are not guaranteed. The minimum DS value is 5 and the maximum is 275. DS values are determined by evaluating the scores of 11 types of damage (Section 1.5.1) based on two criteria: "severity" and "extent." The rating scale for these two criteria ranges from 1 to 5. Based on the above calculation rule, if DS < 60, the road surface is in good condition and does not require maintenance. If 60 ≤ DS ≤ 130, the road surface is still suitable for vehicle traffic, but maintenance should be performed if possible (especially for values close to 130) to ensure the road's functionality. And if DS > 130, maintenance is mandatory. ***Applying this to the Cao Son mine road*** shows: For temporary roads, the DS value is approximately [81–117]. For semi-permanent roads, it is [83–115]. For permanent roads, the range is [90–126]. When CPDD-M is used—a material that meets the technical requirements for the surface course—the DS value ranges from [66–101].

In addition to quantifying pavement quality, the DS functional score is also used to determine ***the maintenance frequency***—or the number of days required to perform pavement maintenance activities—to ensure the quality and functionality of the pavement. Applying this to the Cao Son mine road shows that: For temporary roads, the maintenance frequency is approximately 2 days. For semi-permanent roads, it is [2.5–3.0] days. For permanent roads, it is approximately [3.5–4.0] days. If CPDD-M—a material that meets the technical requirements for surface course materials—is used, the maintenance frequency

can be extended to approximately [7.5–8.0] days.

Rolling resistance -RR is a technical parameter used to evaluate ***transportation costs***, including factors such as transport productivity ($m^3$of excavated soil and rock per shift), fuel costs (gasoline, diesel, etc.), maintenance costs, replacement parts, and tire wear, among others.The higher the rolling resistance, the higher the transportation costs; conversely, the lower the rolling resistance, the lower the transportation costs, resulting in greater transportation efficiency. The standard rolling resistance value is RR = 2%; when the road surface has this rolling resistance, transportation efficiency is considered optimal.

To quantify the rolling resistance RR, it is necessary to determine ***the Total Roughness Score (RDS)***, which is an integer value. This integer is determined based on the evaluation of scores for five types of damage (Section 1.5.2) according to two criteria: "severity" and "extent." The rating scale for these two criteria ranges from 1 to 5. The minimum RDS value is 5, and the maximum is 125. Once the RDS is determined, the rolling resistance (RR) is calculated using the model proposed by Roger Thompson. ***Applying this model to the Cao Son mine road*** shows that the rolling resistance (RR) varies over time (since the last road maintenance) and depending on the load applied to the road surface: After 30 days of operation *without* road *maintenance*: for temporary roads, the RR value increases from 2.6% to 3.83%. For semi-permanent roads, it increases from 2.59% to 3.89%. For permanent roads, it increases from 2.86% to 3.59%. When CPDD-M—a material that meets the technical requirements for surface course materials—is used, the RR value does not increase but decreases from 2.93% to 2.32%.

Although both technical criteria—the total DS functional score and the total RDS roughness score—allow for an assessment of the operational quality of the pavement. However, to evaluate ***transportation efficiency***, the RDS parameter is used because the total RDS score can be converted into rolling resistance (RR), a factor closely linked to vehicle operating costs, pavement maintenance costs, and road usage costs. These are the costs that constitute ***maintenance design***. Accordingly, maintenance design involves determining ***a*** reasonable ***maintenance interval*** (in days)—that is, the number of days required from the last maintenance to the next maintenance at which road usage costs are minimized. ***Applying the maintenance design model to the Cao Son mine road*** shows that the maintenance interval for section AA1 is 3 days. For sections AA2, AB, and BB2, it is 1 day. Section B2C requires daily maintenance (0 days), and section AB, after being rehabilitated and upgraded, requires a minimum of 8 days.

Even if the quality of the pavement surface material is ensured but the load-bearing capacity of the underlying layers is not, the road surface

will still make vehicle traffic unsafe and fail to ensure transportation efficiency. Therefore, to evaluate the load-bearing capacity of the pavement, two technical parameters are used: ***the elastic modulus E*** and ***the CBR load-bearing capacity***, measured using the corresponding testing equipment, LWD and DCP. The test results for both of these parameters show: For temporary roads, CBR values <25% do not meet the requirements for a subbase layer in pavement structures; in fact, some points have a CBR of 12%, which is equivalent to the bearing capacity of the subgrade in a conventional pavement structure. The elastic modulus E values fluctuate over a very wide range of [67–132] MPa (excluding outlier measurements). This demonstrates that the load-bearing capacity of the road surface varies greatly and is inconsistent. The average value is 98 MPa, which is less than 130 MPa—the minimum value required to design a subbase layer of reasonable thickness capable of withstanding the load. Similarly, for semi-permanent roads, E varies within the range [56–88] MPa, with a characteristic value of 80 MPa; a CBR value <30% does not meet the requirements for a subbase layer in the pavement structure. For rigid pavements, E ranges from [37–216] MPa, with a characteristic value of 131 MPa; a CBR value <60% does not meet the requirements for the surface course of a mine road.

Results from monitoring ***traffic volume, vehicle types, and speeds*** show that: Section A-A1 has a one-way traffic volume of 100–120 trips per hour. The average speed of loaded trucks descending the slope is 25–27 km/h, while the average speed of unloaded trucks ascending the slope is 20–33 km/h, with an average of 22.9–30.6 km/h. For the A-B-B2-C section: traffic volume is low, ranging from 50 to 75 trips per hour, consisting primarily of vehicles weighing 55 to 96 metric tons. The average speed of loaded trucks traveling uphill is 17 to 20 km/h, while unloaded trucks traveling downhill average 32 to 40 km/h, with an overall average of 26.2 to 28.6 km/h. Under dry conditions, the average speed of trucks meets or exceeds the standard. However, during heavy rain, when the road surface becomes muddy, the speed of trucks reaches only 60–70% of the standard.

CHAPTER 2. MONITORING AND EVALUATION OF THE PREPARATION AND CONSTRUCTION PROCESS FOR THE PROJECT

After the contract between Cao Son Coal Joint Stock Company – TKV and INFRASOL Co., Ltd. was signed, on May 7, 2021, the contractor began assembling equipment to implement the Plan. A summary of the preparation and implementation process for the Plan is as follows:

- On May 7, 2021, the Contractor began assembling equipment, including the crushing and grinding station system and auxiliary equipment;

- Crushing operations for the CPĐD-M section were carried out from May 12, 2021, to May 30, 2021;

- From June 3, 2021, to August 8, 2021, the contractor conducted pilot construction on the left half of the 125-meter section A-A1, completed sections A-A1 and B-B1, as well as a portion of section B-B2, and laid the CPĐD-M base course for section A-A2. The construction process faced many adverse factors, such as the COVID-19 pandemic and the monsoon season with heavy rainfall, resulting in construction progress and quality falling short of design specifications. On August 16, 2021, the contractor issued Official Letter No. 168/IFS-CS requesting Cao Son Coal Company to suspend implementation of the Improvement Plan.

- On September 29, 2021, the Vietnam Coal and Mineral Industries Group issued Official Letter No. 608/TTĐHSX-KCM regarding the temporary suspension of the Road Improvement Plan to enhance road quality at the Cao Son Coal Mine.

- On October 13, 2021, General Director Dang Thanh Hai presided over a meeting regarding the implementation of the Road Improvement Plan at the Cao Son Coal Mine. According to the General Director's conclusions in Official Letter No. 175/TB-TKV dated October 29, 2021. The design consultant consortium—comprising Asia-Pacific Engineering Consulting Company and the Vinacomin Institute of Mining Science and Technology—conducted supplementary surveys of the sections of the route that have not yet been constructed. Based on this, the design consultant consortium proposed several revisions and additions to the Plan to ensure quality in accordance with requirements.

- While awaiting approval of the revised design, from December 5, 2021, to January 12, 2022, the contractor carried out repairs and finishing work on the sections that had been left unfinished. By January 28, 2022, the parties agreed to accept and put into use sections A-A1, A-A2, and B-B1.

- After the revised design plan was approved, from March 5, 2022, to May 19, 2022, the contractor carried out construction on the remaining sections, including: the semi-permanent sections A-B and B-B2, and the temporary section B2-C. The parties agreed to accept and put these sections into use starting May 25, 2022.

2.1. MONITORING AND EVALUATING THE CONSTRUCTION PREPARATION PROCESS

2.1.1. Monitoring and evaluating site preparation work (receiving elevation benchmarks, determining the centerline of the road, etc.)

On May 5, 2021, Cao Son Coal Joint Stock Company – TKV and INFRASOL Co., Ltd. signed Contract No. 3691/HĐ-TCS-KH for the construction and improvement of road quality at the Cao Son coal mine. The contract period is 60 days from the effective date of the contract and upon the client's handover of a site ready for construction to the contractor.

2.1.1.1. Site Preparation Process

The construction sites for the road improvement sections were handed over to the contractor in three phases by Cao Son Coal Joint Stock Company - TKV, in coordination with the design consultant—a joint venture between Asia-Pacific Engineering Consulting Company and the Vinacomin Institute of Mining Science and Technology—and the supervision consultant—the Quang Ninh Institute of Construction Planning and Design.

The first handover of the A-A1 and B-B2 sections took place on May 18, 2021. According to the Meeting Minutes dated May 18, 2021, regarding the handover of the construction sites for sections A-A1 and B-B2 under the Road Improvement Plan to Enhance Road Quality at the Cao Son Coal Mine, the site boundaries and survey markers for these sections were handed over to the Contractor as follows:

- The section from A to A1 is 0.417 km long and 17 m wide, with a total of 12 boundary markers; the coordinates of these markers are listed in Table 2.1.

Table 2.1. Coordinates of Boundary Markers for the A-A1 Route

No.	Marker Name	Coordinates of the Markers	
		X (m)	Y (m)
1	A	2,328,025.973	453,241.159
2	1	2,328,031.574	453,217.526
3	2	2,328,036.554	453,193.117
4	3	2,328,046.720	453,170.277
5	4	2,328,064.271	453,143.592

No.	Survey Point Name	Coordinates of the markers	
		X (m)	Y (m)
7	6	2,328,109.526	453,077.624
8	7	2,328,129.139	453,042.868
9	8	2,328,143.914	453,005.697
10	9	2,328,152.102	453,966.544
11	10	2,328,152.845	453,926.690

6	5	2,328,086.756	453,110.510	12	A1	2,328,147.655	453,887.028

- The section from B to B2 is 0.341 km long and 17 m wide, with a total of 8 boundary markers; the coordinates of the markers are listed in Table 2.2.

Table 2.2. Coordinates of the B-B2 Route Boundary Markers

No.	Marker Name	Coordinates of the Markers		No.	Survey Point Name	Coordinates of the markers	
		X (m)	Y (m)			X (m)	Y (m)
1	B	2,328,169.477	453,486.209	5	4	2,328,193.520	453,644.210
2	1	2,328,177.118	453,525.430	6	5	2,328,195.550	453,684.127
3	2	2,328,183.758	453,564.812	7	6	2,328,195.774	453,724.126
4	3	2,328,188.201	453,604.565	8	B2	2,328,194.508	453,769.513

Second handover of the construction sites for sections A-A2, A-B, and B-B1 on June 30, 2021. According to the Meeting Minutes dated June 30, 2021, regarding the handover of construction sites for the A-A2, A-B, and B-B1 road sections under the Road Improvement and Quality Enhancement Plan at the Cao Son Coal Mine, the site boundaries and markers for these sections were handed over to the Contractor as follows:

Section A-A2 is 0.275 km long, and Section A-B-B1 is 0.555 km long; the width of each section is 17 m. A total of 4 boundary markers were handed over, with their coordinates listed in Table 2.3.

Table 2.3. Coordinates of Boundary Markers for Sections A-A2 and A-B-B1

No.	Marker Name	Coordinates of the Markers	
		X (m)	Y (m)
1	A	2,328,026.0	453,241.2
2	A2	2,327,965.4	452,984.0
3	B	2,328,169.5	453,486.2
4	B1	2,328,129.1	453,042.9

Phase 3 – After the revised design was approved, the construction sites for sections A-B, B-B2, and B2-C were handed over on April 1, 2022. According to the Meeting Minutes dated April 1, 2022, regarding the handover of construction sites for the A-B, B-B2, and B2-C road sections under the Road Improvement and Quality Enhancement Plan at the Cao Son Coal Mine, the site boundaries and survey markers for these sections were handed over to the Contractor as follows:

- The section from A to B is 0.244 km long, with a road width of 17 m; a total of 03 boundary markers were handed over, with their coordinates as shown in Table 2.4.

Table 2.4. Coordinates of Boundary Markers for the A-B Route

No.	Marker Name	Coordinates of the Markers	
		X (m)	Y (m)

No.	Survey Mark Name	Coordinates of the markers	
		X (m)	Y (m)
1	A	2,328,026.0	453,241.2
2	1	2,328,089.2	453,368.6
3	B	2,328,169.5	453,486.2

- The section from B to B2 is 0.341 km long, with a road width of 17 m. There are a total of 3 boundary markers, whose coordinates are listed in Table 2.6.

Table 2.5. Coordinates of the B-B2 Route Boundary Markers

No.	Marker Name	Coordinates of the Markers	
		X (m)	Y (m)
1	B	2,328,169.5	453,486.2
2	2	2,328,190.3	453,628.6
3	B2	2,328,194.5	453,769.5

- The section from B2 to C is 0.711 km long, with a road width of 15–17 m. There are a total of 5 boundary markers, whose coordinates are listed in Table 2.6.

Table 2.6. Coordinates of Boundary Markers for the B-B2 Route

No.	Marker Name	Coordinates of the Markers	
		X (m)	Y(m)
1	B2	2,328,194.5	453,769.5
2	3	2,328,165.5	453,944.6
3	4	2,328,095.3	454,087.8
4	5	2,327,989.0	454,255.8
5	C	2,327,833.4	454,329.6

2.1.1.2. Assessment of Site Preparation Work

- Regarding the handover schedule: Cao Son Coal Joint Stock Company – TKV has carried out the work in accordance with the schedule and actual conditions at the construction site;

- Regarding the construction site for each section: The construction site consists of roads currently in use at the mine, constructed using traditional methods. Due to prolonged use, the road surface has deteriorated, and some areas have not been leveled as specified in the design plan;

- Regarding road parameters prior to construction: Most parameters, such as length and longitudinal slope, meet design specifications. However, the dimensions of the

at certain locations have not been cleared, and the cross-slope of the road is too shallow. In particular, in the area from Point B2 to km0+600 on the B2-C section, the roadbed width is only 15–16 m; during construction, both the road surface and the road widening must be carried out simultaneously.

2.1.2. Monitoring and evaluating the preparation of storage yards for raw materials, construction materials, equipment, and labor, as well as the supply of electricity and water

On May 6, 2021, Cao Son Coal Joint Stock Company – TKV handed over the site to INFRASOL Co., Ltd. for the installation of a rock crushing plant and material storage yards to support construction work as per the contract.

The storage yard for equipment, machinery, and additives is located within a portion of the CPĐD-M block, and the crushing plant is situated at the base of the Khe Chàm III waste dump, near Point A1 (coordinates X: 2,328,167–2,328,244; Y: 452,790–452,885 – Coordinate system VN2000, central meridian 107°45", zone 3°). See Figure 2.1 for an overview of the site plan.



Figure 2.1. The contractor organizes the clearing and grading of the CPĐD-M crushing plant and stockpile area

The remaining CPĐD-M material is stockpiled at two storage yards on level +20 within the mine site (Figure 2.2).



Figure 2.2. Two CPĐD-M stockpile areas within the mine site

Overall, the stockpiling areas and the crushing plant are located near the construction access road, ensuring smooth traffic flow and providing sufficient space to store equipment and accommodate the entire volume of 20,172.0 m³ of CPĐD-M.

All construction equipment uses diesel fuel, which the Contractor supplies using 3-metric-ton trucks. Water for the crushing operations is drawn from the mine's water supply pipeline near the site where the crushing station is located; water for road construction is obtained by the Contractor in coordination with Cao Son Coal Company directly from the mine's wastewater source using a 16 m³ tanker truck.

2.1.3. Monitoring and evaluating the mobilization of vehicles, machinery, equipment, and construction personnel at the site

Equipment mobilization is carried out in phases depending on the construction schedule. Starting May 30, 2021, INFRASOL Co., Ltd. began mobilizing equipment to commence construction. Some equipment was mobilized to the yard shown in Figure 2.3; the total number of equipment units mobilized throughout the entire construction process is shown in Table 2.7.






Figure 2.3. Mobilization of the CPĐD-M crushing plant and construction equipment Table 2.7. Equipment for the construction of the Project

No.	Equipment Type and Specifications	Unit of Measure	Quantity	
			Per Contract	Actual
1	Gravel spreader 50÷60 m³/h	units	1	1
2	Dump trucks > 10 metric tons	units	3	2
3	Steel-wheeled roller > 10 metric tons	units	1	1
4	Water trucks > 16 m^3	units	1	1
5	Self-propelled vibratory compactor > 20 metric tons	units	1	1
6	Pneumatic-tire rollers > 18 metric tons	units	1	1
7	Additive-spraying truck > 10 m^3	units	1	2
8	Dust blower 20 m^2/h	unit	1	0
9	Hand-held soil compactor	units	2	0
10	Stone crushing plant > 75 metric tons per hour	unit	1	1
11	Reclaiming scraper with a capacity of > 560 HP	unit	1	1
12	Cement spreader > 16 m^3	units	1	1
13	Tanker truck for transporting additives > 12 m^3	units	1	1
14	Grader > 108 CV	unit	1	1
15	Sheep-leg vibratory roller, vibration force 25–35 metric tons	unit	1	1
16	Single-wheel steel vibratory roller, vibration force 25–35 metric tons	unit	1	1
17	12-metric-ton two-wheel steel vibratory roller	unit	1	0
18	Leveling machine	unit	1	1

Contractor's personnel assigned to manage and execute the plan—see Table 2.8.

Table 2.8. Management and Construction Personnel for the Plan

No.	Job Position	Number of People	
		Per Contract	Actual
1	Commander	1	1
2	Construction Foreman	1	1

3	Supervision, Engineering, Quality Control (KCS)	1	1
4	Construction Engineering	1	1
5	Officer in charge of traffic safety and environmental protection	1	1
6	Officer in charge of payments	1	1
7	Technical Worker	20	20
	Total	**26**	**26**

Tables 2.7 and 2.8 show that the Contractor has deployed a relatively sufficient number of vehicles, machinery, quality-assured equipment, and personnel to meet the requirements for implementing the Plan.

2.1.4. Monitoring and evaluating the process of installing signs and markers to indicate the construction zone

Before commencing construction of the Plan, the Contractor installed traffic signs and markers to ensure traffic safety in the construction area. The number of signs and markers is correct and sufficient according to the signed contract (Table 2.9); see Figure 2.4 for some marker posts and reflective strips on the construction site. Additionally, the Contractor installed supplementary signs indicating the location of the Project's construction area at the beginning and end of the road (Figure 2.5).

Table 2.9. Number of Signs and Markers for Traffic Safety Measures

No.	List of Equipment and Personnel for Traffic Safety	Unit	Quantity	
			According to Plan	Actual
1	Reflective tape	m	400	400
2	D50 steel posts, 1.3 m long, 3 mm thick	pieces	150	150
3	M150 concrete—standard column	m^3	1.836	1.836
4	Round sign, D = 0.9 m	each	2	2
5	Triangular sign D = 0.7 m	piece	6	6
6	Sign 440 KT (80×30) with 2 posts	piece	2	2
7	Construction Site Sign 441 (Dimensions 260×180) 2-post	piece	2	2



Figure 2.4. Signposts and reflective markers placed at the construction site (Plan)



Figure 2.5. Construction zone signs—Plan

2.1.5. Monitoring and evaluating the production and manufacturing process of CPDD-M

2.1.5.1. Monitoring the crushing and transportation of CPDD-M

- *Functions of CPDD-M Material*

The primary function of CPDD-M is to create a road surface layer with low rolling resistance that is vehicle-friendly. Within the pavement structure, CPDD-M serves as a maintenance layer and is not included in structural calculations. Accordingly, CPDD-M must ensure ease of construction, the ability to repair and minimize damage, and ease of replacement, repair, and upgrading when road surface maintenance is required. To achieve this, CPDD-M must meet the technical requirements specified in Table
2.10 and Figure 2.6.

- *Crushing and Transportation of CPDD-M*

The contractor hired LICOGI
16. The equipment set consists of 5 machines, connected in the following order: one MC110Z EVO jaw crusher, one MCO9 EVO cone crusher, and one MS703 EVO screen. Auxiliary equipment includes one hydraulic excavator with a bucket capacity of 1.2 m^3 for loading rock feed and one wheel loader for stockpiling and loading onto transport trucks (Figure 2.7).



Figure 2.7. The CPĐD-M crushing and screening system installed at the Cao Son mine

Basic technical specifications of the equipment in the crushing and screening system include

Next
:

1. KLEEMANN MC 110 Z EVO Rock Crushing and Screening Plant - Mobicat Series, jaw crusher: Crushing capacity 330 metric tons/hour; Direct drive from the engine; Inlet dimensions of the crushing chamber: width × depth = 1,100 × 700 mm; Shipping weight: 39,500 kg.

2. KLEEMANN MCO 9 EVO Rock Crushing and Screening Machine - Mobicone cone-type: Crushing capacity 270 metric tons/hour; Direct drive from the engine; Cone jaw size d = 970 mm; Shipping weight: 30,000 kg.

3. KLEEMANN MS 703 EVO - Mobiscreen Mobile Stone Screening Plant: Crushing capacity 350 metric tons/hour; 3-stage vibrating screen system; Top screen width × length = 1,550 × 4,500 mm.

After site grading, installation of the crushing plant, and aggregate stockpiling, the Contractor began crushing operations for CPĐD-M on May 12, 2021. Due to insufficient storage capacity at the crushing and screening area, starting May 19, 2021, the contractor began transporting CPĐD-M from the storage area at the crushing and screening site to the +20-level storage area within the mine. The transport was carried out using 20-metric-ton dump trucks (Figure 2.8).



Figure 2.8. Loading and transport equipment for CPĐD-M

2.1.5.2. Evaluation of Crushed Product Quality

The particle size, particle size distribution, and particle size thickness of CPĐD-M are designed in accordance with the guidelines in the book "Mine Haul Roads: Theory and Practice" by Roger Thompson, published by CRC Press/Balkema.

To create a mine road surface that is friendly to transport vehicles, the CPĐD-M must have a maximum aggregate particle size D_{max}= 40 mm. With D_{max}= 40 mm, the particles are not large enough to cause tire cuts or potholes on the road surface. Furthermore, road maintenance and repairs after the road is put into service will be easier with a $D_{max}$of 40 mm.

The particle size distribution of the CPĐD used for mine roads, as per the technical guidelines of Roger J. Thompson, and the particle size distribution of the CPĐD-M produced at Cao Sơn are shown in Table 2.11 and Figure 2.9.

Table 2.11. Particle size distribution of CPĐD according to Roger Thompson

No.	Square screen mesh size, mm	Percentage passing through the screen, %	
		Technical Requirements	CPĐD-M produced in Cao Sơn
1	40	95–100	100.0
2	25	76–100	88.9
3	19.0	69–100	76.6
4	12.5	60–80	66.3
5	4.75	40–60	53.4
6	2.00	28–43	37.3
7	0.425	15–34	23.4
8	0.075	5–9	9.2

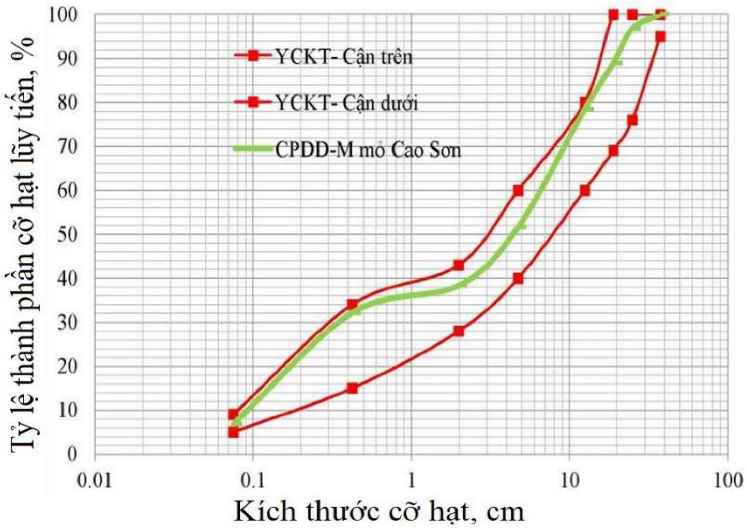


Figure 2.9. Particle size distribution of CPĐD-M produced at Cao Sơn

CPĐD-M at Cao Sơn is produced on a modern Kleemann production line; the rock for crushing is sourced on-site from various levels of the quarry. The rock consists primarily of two types of sandstone: yellow and black. The final product is sampled periodically (Figure 2.11). A summary of the technical specifications of the CPĐD-M produced in practice is presented in Table 2.12 and Figure 2.10 (see the Appendix for details).

Table 2.12. Technical Specifications of CPĐD-M Produced at Cao Sơn

No.	Technical Specification	CPĐD-M Standard		CPĐD-M Cao Son Mine	Test Method
		Upper Limit	Upper Limit		
1	D_{max}, mm	40		< 40 mm	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
2	Grading coefficient Gc	20	35	30	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
3	Shrinkage coefficient Sp	85	200	85	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
5	Yield Strength (LL), %	17	24	21	AASHTO T89-T90 / TCVN 4197: 2012
6	Plastic Limit (PL), %	12	17	16	AASHTO T89-T90 / TCVN 4197:2012
7	Plasticity Index (PI), %	4	8	5	AASHTO T89-T90 / TCVN 4197: 2012
8	Dust ratio, DR	0.4	0.6	0.4	AASHTO T27 / TCVN 7572-2: 2006
9	CBR soak at compaction 98% improved Proctor	> 80		85	AASHTO T193/TCVN 12790: 2020

	density, %			

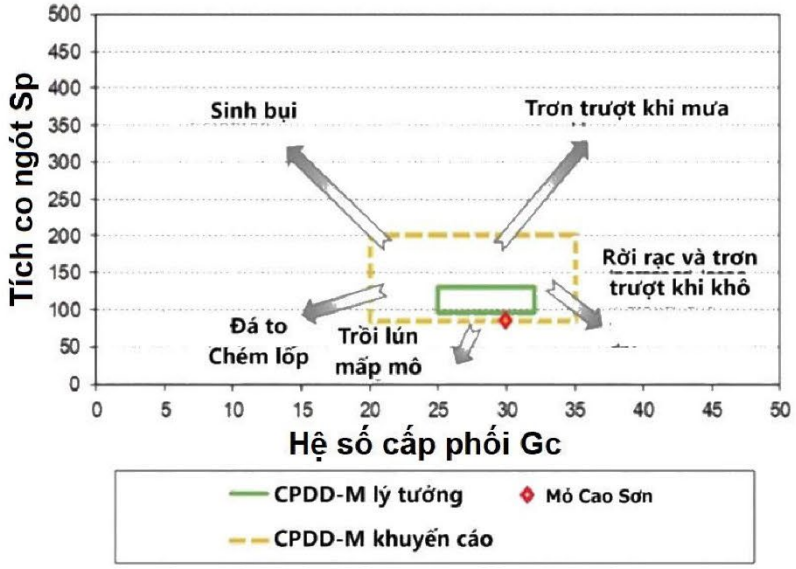


Figure 2.10. CPĐD-M at the Cao Sơn quarry



Figure 2.11. Sampling for moisture content testing and particle size analysis of CPĐD-M

Table 2.12 shows that CPĐD-M produced at the Cao Sơn quarry meets all technical requirements for parameters 01 through 09. Figure 2.10 shows that CPĐD-M (red diamond) falls within the dashed rectangle. According to Roger Thompson,

this is the recommended limit range for materials used in the surface course of transportation roads to prevent damage that leads to pavement degradation and a rapid increase in rolling resistance.

- Evaluation of material size and CPĐD-M layer thickness: Analysis results and on-site construction monitoring indicate:

+ Regarding the aggregate particle size of the CPDD-M: The CPDD-M produced at Cao Son complies with R. Thompson's guidelines and meets the design standards specified in the Plan. However, under tropical rainfall conditions, the CPDD-M material is prone to slumping and becoming slippery if the drainage system is not designed in a coordinated and proper manner.

+ Regarding the thickness of the CPĐD-M layer: The purpose of CPĐD-M in the road pavement structure is to serve as a maintenance layer and is not considered part of the structural design. Therefore, the thickness of the CPĐD-M layer is designed based on the pavement configuration. Accordingly, for temporary roads, the thickness is 100 mm, and for permanent or semi-permanent roads, the thickness is 200 mm. Note that this thickness refers to the thickness after compaction.

2.1.6. Monitoring and evaluating the CPDD-M pilot construction section

2.1.6.1. Construction process of the pilot section

On June 3, 2021, the contractor, in coordination with Cao Son Coal Company, selected a 125-meter-long section on the left half of Route A-A1, from Pile 3 (km0+55) to Pile 8 (km0+160), for the pilot construction. The main pilot construction activities included:

- Loading and transporting CPDD-M from the storage yard to the construction site using a hydraulic excavator and dump trucks;

- Leveling uneven areas while placing Layer 1 with a thickness of 10 cm, resulting in a total CPĐD-M thickness of 10–25 cm, using a stone spreader (Figure 2.12);

- Compacting the first layer to the required density while taking samples to determine the optimal density and moisture content;

- Place the second layer, 15 cm thick, using a paver;

- Compact the second layer to the determined optimal moisture content (Figure 2.12);

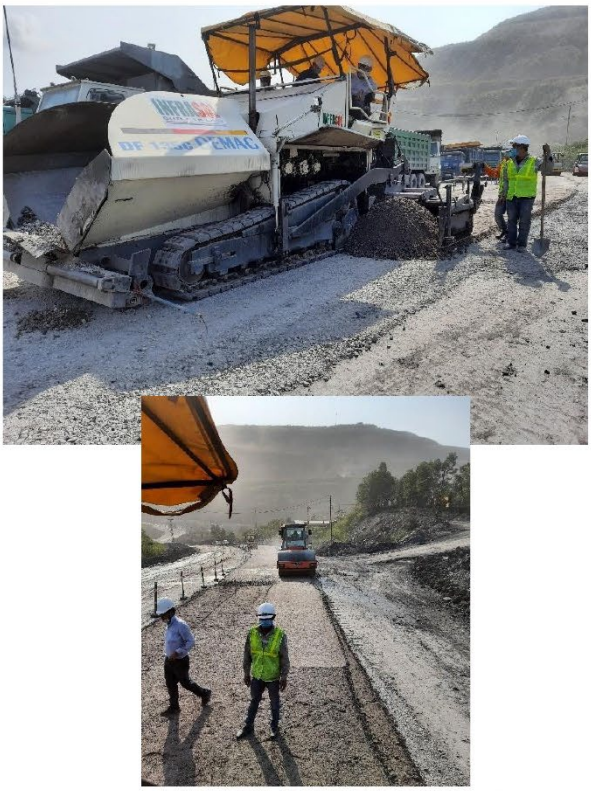


Figure 2.12. Pilot paving and compaction on section A-A1

- Prepare the construction surface by applying a dust-suppressing additive using two methods: tilling to a depth of 5–10 cm with a grader and spreading a 5–7 cm layer of CP-M using a paver (Figure 2.13);





Figure 2.13. Site preparation for dust-suppressing additive application

- Pilot application of dust-suppressing additive and compaction after application (Figure 2.14).



Dust-suppressing additive application



Sampling of dust-suppressing additive



Quantifying the additive

Figure 2.14. Application and quantitative sampling of dust-suppressing additive

2.1.6.2. Evaluation of the Final Report on the Pilot Construction Section

The pilot construction process yielded the following lessons learned:

- To achieve the design density, each layer of CPĐD-M should be 10–25 cm thick and compacted 10–15 passes using a steel-wheel vibratory roller with a vibration force of 25–35 metric tons and an

moisture content of 6–8%. The pavement can be put into service immediately after compaction.

- Spreading with a graded mix paver offers the following advantages: fewer passes; CPĐD-M layer thicknesses are precise according to the design, with deviations controlled to within centimeters; and optimal uniformity of the CPĐD-M mix. However, several shortcomings have also arisen: the existing road surface at the quarry is uneven, so the paving process requires significant time for adjusting the aggregate layer thickness; construction progress is slow.



Figure 2.15. Compaction after pilot application of the additive

- The dust-suppressing and road-hardening additive, when applied directly to the compacted CPĐD-M surface to prevent runoff, must be applied at a rate of < 0.3 kg/m². At the design rate of 1 kg/m², the 3–5 cm-thick CPĐD-M surface layer must be loosened before application. To achieve a loose surface prior to application, the contractor tested two methods: tilling to a depth of 5–7 cm using a tire-tracked grader from the quarry and spreading a 5–7 cm layer of CPĐD-M using a paver. Final compaction is performed one day after applying the additive to allow sufficient time for it to fully penetrate.

The construction parameters for the pilot section are summarized in Table 2.13.

Table 2.13. Construction Parameters for the Pilot Section

No.	Parameter	Unit	Value		Notes
			Design	Actual	
1	Pilot lane width (1/2 of the total lane width)	m	8.5	8–10	
2	Thickness of the CPĐD-M layer	cm	25	25–40	
3	Apply dust-suppressing additive using the following method: till to a depth of 5–7 cm using the mine's wheeled grader	kg/m²	1.0	1.0	
4	Apply dust-suppressing additive by spreading a 5–7 cm layer of CPĐD-M using a spreader	kg/m²	1.0	1.0	

Remarks: The width of the 1/2-width pilot section varies according to actual conditions to accommodate traffic management. The actual thickness of the CPĐD-M layer is greater than the design value due to the uneven roadbed, requiring significant leveling (average 20 cm). The results of the pilot construction involving the application of dust-suppressing additives showed that all parameters met design specifications for both methods. However, application via machine-tilled spreading was more efficient, whereas the method of spreading a 5–7 cm layer of CPĐD-M resulted in CPĐD-M spillage and made compaction difficult due to the material's sticky nature.

2.2. MONITORING AND EVALUATION OF THE CONSTRUCTION PROCESS

2.2.1. Monitoring and Evaluation of the Construction Process for Temporary Road B2-C

In accordance with the proposed structural adjustments, compared to the original design, the structure of the B2-C temporary road section has been modified as follows: an additional CPĐD-B subbase layer with a thickness of 25–40 cm has been added, and the thickness of the CPĐD-M layer has been reduced to 10 cm. Locally weak sections are still being removed to a thickness of ≥ 50 cm depending on the area, similar to the original design.

2.2.1.1. Monitoring the Paving of the CPĐD Layer

- *Monitoring and evaluating the spreading of the CPĐD-B layer*

CPĐD-B material is selected from blast waste rock at the mine; the primary quality specifications for the CPĐD-B layer are as follows: D_{max}= 130–150 mm, with no more than 20% of the aggregate passing through a 2-mm sieve; other specifications are presented in Table 2.19.

Table 2.14. Required physical and mechanical specifications for CPĐD-B material

No.	Technical Specification	Technical Requirement	Test Method
1	2 mm sieve loss, %	< 20 %	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
2	Bulk density, g/cm^3	> 2	AASHTO T85/TCVN 7572-4: 2006
3	Axial compressive strength with lateral expansion, MPa	100	TCVN 7572-10: 2006
4	Number grindingWear Wear Los Angeles, %	< 20 %	AASHTO T96/ TCVN 7572-12: 2006
5	Content of weathered, soft, and weak particles	< 1%	TCVN 7572-17:2006
6	Maximum nominal diameter, Dmax	< 2/3 of the construction layer thickness	

After the revised design plan was approved, starting March 5, 2022, the Contractor organized the stockpiling and screening of CPĐD-B to ensure compliance with design standards, and on April 1, 2022, began construction by spreading and compacting the CPĐD-B layer.

The Contractor coordinated with Cao Son Coal Company to excavate and sort CPĐD-B at the mine using Cao Son's excavators, and transport it using the Contractor's self-dumping trucks. Stone screening was performed at the stockpile site using the Contractor's TLGN excavator.

The spreading of the CPĐD-B layer on the B2-C section was carried out using a single-pass paver with a thickness of 25–35 cm, with construction taking place from April 11 to April 23, 2022, following the completion of the B-B2 section (Figure 2.16). Construction monitoring revealed that the actual thickness of the CPĐD-B layer in many areas exceeded the design specification due to the need to compensate for unevenness to ensure the flatness of the existing road surface. Additionally, on the B2-C section, there is a 30-meter-long area (from Km0+770 to Km0+800) with an unstable subgrade; the cause is believed to be that this section runs through the rupture zone of the F.L-L fault (Figure 2.17). Furthermore, beneath this area, the head of Quarry 13-1 has been mined down to the
-160, with a high mine wall, leading to the displacement of the entire wall and the narrowing of the transport layer.



Figure 2.16. Construction of CPĐD-B on Section B2-C

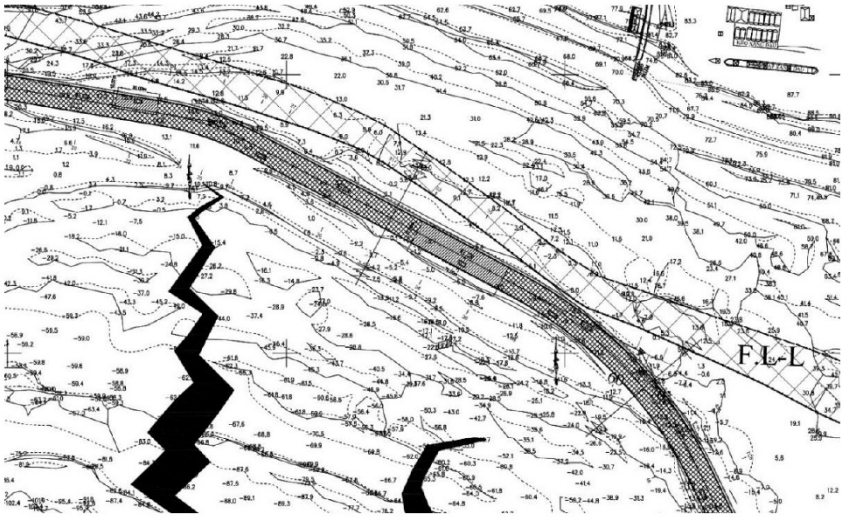


Figure 2.17. Area where the strata surface slippage occurred

- *Monitoring and evaluation of CPĐD-B compaction work*

The graded material after leveling was compacted using a 25-metric-ton single-wheel smooth-steel vibrating roller. CPĐD-B was dry-compacted (without moistening), with 7 to 10 passes. After compaction, the section was put into use and further compacted by the mine's trucks (Figure 2.16).

When constructing through sections with unstable subgrade, the contractor had to make multiple repairs by pouring additional CPĐD-B material and allowing vehicle traffic to compact the surface to ensure the required density. Cao Sơn Coal Company also organized for mine equipment to excavate and widen the road surface, ensuring the design width.

The compaction process, following the compaction plan shown above, revealed that after preliminary compaction, the density of the CPĐD-B layer did not meet the design requirements; when traffic was allowed, tire ruts of 2–3 cm remained. After two days of traffic, the subgrade stabilized, and no additional ruts appeared.

- *Monitoring and evaluation of the CPĐD-M layer spreading*

After the road was opened to traffic to allow the CPĐD-B subgrade to stabilize its settlement and reach the design strength (E ≥ 130 MPa) on May 18 and 19, 2022, the contractor organized the placement of CPĐD-M along the entire B2-C section. The spreading of the CPĐD-M layer, with a thickness of 10 cm as per the design, was carried out using a paver (Figure 2.18) and was constructed in a single layer.



Figure 2.18. Paving of CPDD-M on the B2-C section

The paving work on this section proceeded relatively smoothly because the subgrade consisted of a CPĐD-B layer with the required flatness and compaction as per the design, eliminating the need for additional aggregate to compensate for unevenness. See Table 2.15 below for the construction parameters for the temporary B2-C section:

Table 2.15. Construction Parameters for the Temporary Section B2-C

No.	Parameter	Unit	Value		Notes
			Design	Actual	
1	Road width, m	m	17.0	17	
2	Thickness of the CPĐD-B layer	cm	25	25–35	
3	Thickness of the CPĐD-M layer	cm	10	10	
4	Flatness		Absolute flatness	Existing Road Surface	
5	Longitudinal Grade	%	0.81–8.00	0.80–8.00	
6	Transverse slope	%	3	3–4	

Remarks: After Cao Son Coal Company conducted grading work, the road right-of-way was widened as per the design; The actual thickness of the CPĐD-B layer is greater than the design specification due to an uneven subgrade, requiring significant leveling; The thickness of the CPĐD-M layer, having been laid over the CPĐD-B subbase that had been compacted to a level surface, was relatively uniform, resulting in minimal need for leveling adjustments. The roadbed surface handed over by the investor to the contractor was the existing road surface, with unevenness typically ranging from 5 to 7 cm, and in some cases, potholes as deep as 10 to 20 cm. After construction, the surface achieved the design-specified flatness; upon completion, the longitudinal and transverse slope parameters met the design specifications.

- *Monitoring and Evaluation of CPĐD-M Compaction*

After leveling with a grader, the CPĐD-M layer was compacted using a compaction pattern similar to that used during the pilot construction on section A-A1, employing a single-drum steel vibratory roller with a vibration force of 25–30 metric tons, compacted 10–15 passes with moisture application. After compaction was completed, the road surface density was tested and evaluated using the DCP test; see Table 2.16 for the test results.

Table 2.16. Summary of DCP measurement results for the B2-C section

TT	Location	Field CBR—converted from DCP test results according to ASTM D6951/D6951M, %	Notes
1	Point 01	100	Required CBR for mine roads in some countries with developed mining industries worldwide: > 80 %
2	Point 02	100	
3	Point 03	100	
4	Point 04	100	
5	Point 05	100	
6	Point 06	100	

No.	Location	Field CBR—converted from DCP test results per ASTM D6951/D6951M, %	Notes
7	Point 07	100	
8	Point 08	100	

Test results show that the in-situ CBR index—converted from DCP test results in accordance with ASTM D6951/D6951M—reached 100%, exceeding the design requirement (>80%).

- *Monitoring, evaluation, and inspection of elevation, flatness, cross-slope, longitudinal slope, compaction, and uniformity of the CPĐD material*

Dimensional parameters (elevation, flatness, cross-slope, longitudinal slope, etc.) during the spreading process are directly adjusted from the stone paver using elevation markers and measuring rods mounted on the machine (Figure 2.19). For the CPĐD-M spreading technology using a grader, the thickness of the aggregate layer is preliminarily determined based on the planned construction area. A truck with a 16 m^3 hopper capacity is used to dump the specified volume of aggregate over the entire construction area, which is then leveled by the grader. After compaction, these parameters are rechecked using a straightedge. Before and after construction, dimensional parameters are checked using a leveling instrument and a straightedge (Figure 2.20) throughout the process of spreading and compacting the CPĐD layers.



Figure 2.19. Elevation markers and a straightedge on the paver



Figure 2.20. Checking and adjusting elevation parameters during construction

Moisture content is controlled from the storage yard by using water trucks to directly spray water onto the yard, while on-site moisture tests (Figure 2.21) ensure that the optimal moisture content of 6–8% is always achieved before spreading. After spreading and preliminary compaction, if the moisture content does not meet requirements, additional watering is performed using a truck before final compaction (Figure 2.22). The uniformity of the CPĐD-M material is controlled by the mixing unit of the paver and verified through on-site testing, similar to the procedures for previous sections, as detailed in Section 2.2.4.4.



Figure 2.21. Moisture content test at the CPĐD-M storage yard



Figure 2.22. Supplemental watering prior to final compaction

2.2.1.2. Construction of drainage ditches

According to the signed contract, the roadside drainage work is to be carried out by Cao Son Coal Joint Stock Company – TKV. Prior to handing over the construction sites for the road sections, Cao Son Coal Company organized the construction of ditches along both sides of the road using the mine's TLGN excavators; the soil and rock excavated from the ditches were used to build the inner embankments, while the excess soil and rock were loaded onto trucks and transported to the waste dump. By the time of completion (May 2022) on the B2-C section, Cao Son Coal Company had constructed two parallel drainage ditch systems. The main drainage ditch, which serves the entire area of the upper levels, has a bottom width of 1.0–1.5 m; its inner bank is the mining face slope, and its outer bank is a retaining embankment constructed from material excavated from the ditch. Outside the retaining embankment is a perimeter drainage ditch for the road surface, with a bottom width of 0.4–0.5 m and a height of 0.4–0.6 m. Every 50 to 100 m, a cross-drain is provided to divert water from the edge drain to the main drainage channel. Refer to Figure 2.23 for construction procedures and the completed drainage channels. Monitoring results show that the drainage channel parameters at the time of the entire road's completion met or exceeded design specifications.



Figure 2.23. Construction of the longitudinal ditch and the completed ditch on Route B2-C

2.2.2. Semi-permanent Road Section A-B1

The A-B1 road section is divided into two segments: A-B and B-B1. Segment B-B1 was paved with a CPĐD-M layer with a total thickness of ≥ 25 cm, applied in two layers from July 25 to August 6, 2021. The construction technology uses a mix-spreader similar to that used during Phase 1 of the pilot section, road surface maintenance and repairs, and drainage ditch construction in December 2021. According to the original design, the A-B section has a CPĐD-M pavement structure with a thickness of 25 cm and dust-suppressing additive application, similar to the structure of the A-A1 section. However, the operational experience with the A-A1 section indicated that this structure did not meet the desired quality standards. Therefore, the Group directed Cao Son Coal Company to coordinate with the design consultant. According to the revised design for the A-B section, a 40-cm-thick CPĐD-B base course using materials available at the mine will be added, followed by

laying the CPĐD-M layer and applying the additive as per the original design.

2.2.2.1. Crushing and Transportation of CPĐD-M

The crushing and transportation of CPĐD-M were not carried out concurrently with the construction of the route sections but were performed during a single period (May 12 to June 3, 2021) for the entire volume of CPĐD-M. For details, see Section 2.1.5.1.

2.2.2.2. Monitoring the Paving of the CPĐD Layer

1. Monitoring and Evaluation of CPĐD-B Layer Construction

The grading of CPĐD-B is performed using a grader, divided into 2–3 layers with each layer's thickness ≤ 20 cm, for a total average thickness of 40 cm as per the design (Figure 2.24). The material in each layer is compacted using a single-drum vibrating roller with smooth steel drums and a load capacity of 25 metric tons. CPĐD-B is compacted dry (without watering), with 7 to 10 passes. After the material is spread and compacted to the design thickness, mine vehicles and other traffic are allowed to pass over the surface to further consolidate it.



Figure 2.24. Grading of the CPDD-B subbase layer

Monitoring of the CPĐD-B layer construction on Route A-B showed that after preliminary compaction to allow mine equipment to travel over it, some areas still exhibited tire ruts of 2–4 cm. After two days of traffic, the base layer stabilized and no further deformation was observed on the road surface.

2. Construction of the CPĐD-M Layer

The paving of the CPĐD-M layer on the A-B1 section was carried out in three phases. Phase 1—construction of the B-B1 section from July 26, 2021, to August 8, 2021, using a paver to lay the aggregate mixture in two layers with a total thickness of ≥ 25 cm. Phase 2 – The contractor repaired damaged areas on the B-B1 section by re-paving with CPĐD-M to a thickness of 10–25 cm on this section on January 2 and 3, 2022.

Phase 3 – After completing the CPĐD-B construction and allowing traffic to reach the design strength, the contractor will lay CPĐD-M on the A-B section from May 3 to 4, 2022. CPĐD-M in Phases 2 and 3 was laid in a single 25-cm-thick layer using a paver (Figure 2.25).



Figure 2.25. Paving CPĐD-M on the A-B section

3. Monitoring and evaluating the compaction of CPĐD-M

The compaction of CPĐD-M was carried out using a compaction plan similar to that used for the pilot section, employing a steel-wheel vibratory roller with a vibration force of 25–30 metric tons, performing 10–15 passes while maintaining an optimal moisture content of 6–8%. After compaction is complete, traffic can be allowed immediately; as mine trucks pass over the section, tire ruts are less than 1 cm deep (Figure 2.26).

The compaction of the pavement layer was also tested using the DCP method and LWD equipment. The test results for compaction and elastic modulus on the A-B1 section are shown in Tables 2.17 and 2.18; for details, see the Appendix. Dimensional parameters are shown in Table 2.19. The compaction test results indicate that, with the applied compaction schedule, the pavement compaction meets design specifications.



Table 2.17. Summary of DCP measurement results for the A-B1 section

No.	Location	Field CBR – converted from DCP test results per ASTM D6951/D6951M, %	Notes
1	Point 01	100	Required CBR for mine roads in some countries with developed mining industries worldwide: > 80 %
2	Point 02	100	
3	Point 03	100	
4	Point 04	100	
5	Point 05	100	
6	Point 06	100	
7	Point 07	100	
8	Point 08	100	

Table 2.18. Results of elastic modulus measurements using LWD equipment on section A-B1

No.		Static Modulus of Deformation, MPa	Dynamic Modulus of Deformation, MPa	Notes
1	Point 01	388.5	407.2	Poisson's ratio = 0.3; Compression plate diameter
2	Point 02	377.8	392.9	
3	Point 03	335.0	351.5	
4	Point 04	333.3	359.3	
5	Point 05	318.0	339.8	

No.		Static Modulus of Deformation, MPa	Dynamic Modulus of Deformation, MPa	Notes
6	Point 06	318.3	334.6	D = 0.3 m

4. Monitor, evaluate, and inspect the elevation, flatness, cross-slope, longitudinal slope, compaction, and uniformity of the CPĐD material

Inspections of elevation, levelness, cross-slope, longitudinal slope, moisture content, and uniformity of the base course material were conducted throughout the spreading and compaction process using a leveling instrument and a straightedge, similar to the procedures followed during the construction of previous sections. See Table 2.19 for dimensional specifications.

Table 2.19. Construction Specifications for Section A-B1

No.	Parameter	Unit	Value		Notes
			Design	Actual	
1	Road width	m	17.0	17–18	
2	Thickness of the CPĐD-B layer	cm	40	40–50	
3	Thickness of the CPĐD-M layer	cm	25	25–40	
4	Flatness before installation		Absolute flatness	Existing road surface	
5	Longitudinal Slope	%	2.96–8.00	2.96–8.00	
6	Transverse slope	%	3	3–4	

The data in Table 2.19 show: The road width is 1 m wider than the design in certain areas (Point B intersection); this section must be widened during construction to improve safety for vehicles making U-turns; The actual thickness of CPĐD-B on the A-B section and CPĐD-M on the B-B1 section is greater than the design value due to an uneven subgrade, requiring significant leveling (the intersection lacks drainage, so water frequently overflows). After construction, the surface flatness met the design specifications; the longitudinal slope was constructed according to the design; during the initial phase, the transverse slope in many areas was only 0%, failing to meet the design requirements; upon completion, the transverse slope of 3–4 met the design specifications.

2.2.2.3. Construction of Drainage Ditches

Similar to other sections, the longitudinal ditches on the A-B1 section were also excavated using the mine's excavators. Upon completion, the ditches had a bottom width of 0.4–0.5 m and a depth of 0.4–0.6 m, as per the design.

Monitoring of the ditch construction on this section showed that the catchment area

for this section is not large, and the completed ditch dimensions are fully capable of draining all water during heavy rain. However, the three-way intersection at Point B is the lowest elevation point along the route, but the left-hand ditch at this location lacks a drainage outlet, causing water to overflow onto the road surface. Furthermore, the presence of a frequent groundwater seepage point in this area further increases the volume of water overflowing at this location (Figure 2.27). During the construction of the CPĐD-M layer, the contractor proactively excavated and placed large-sized stones at the drainage culvert and installed steel pipes across the road; however, this did not fully resolve the issue.



Figure 2.27. Water pooling and overflowing at the intersection at Point B

2.2.3. Semi-permanent road section B-B2

2.2.3.1. Crushing and Transportation of CPĐD-M

The crushing and transportation of CPĐD-M were not organized in conjunction with the construction of individual road sections but were carried out simultaneously (May 12 to June 3, 2021) for the entire volume of CPĐD-M. For details, see Section 2.1.5.1.

2.2.3.2. Monitoring and Evaluation of CPĐD Layer Construction

1. Monitoring and Evaluation of Grading and Spreading

Phase 1 – After completing the B-B1 section, the Contractor will construct the B-B2 section over a 50-meter length starting from the B intersection toward point B2 during the period from August 4 to August 8, 2021. The CPĐD-M paving work was carried out using a material spreader, with a two-layer spreading process similar to that used during the pilot section construction. Due to adverse factors such as weather and the pandemic, the

Contractor proposed suspending construction to evaluate and adjust the design to better suit actual conditions.

Phase 2 – After the proposed structural adjustments for the road section were approved, the contractor resumed construction on the B-B2 section. The adjusted structure for the B-B2 section also included a 40-cm-thick CPĐD-B layer and a 25-cm-thick CPĐD-M layer, similar to the structure of the A-B section. Construction of the CPĐD-B layer was carried out immediately following the work on the A-B section from April 9 to April 11, 2022, using a bulldozer to spread the aggregate mixture in 2 to 3 layers, with each layer no more than 20 cm thick.

After preliminary compaction and opening to traffic to enhance the compaction of the CPĐD-B layer, on May 5 and 6, 2022, the contractor spread the CPĐD-M layer on Section B-B2. The spreading and compaction of the CPĐD-M layer were performed using a grader in a single construction pass. The construction of the pavement layer on this section proceeded relatively smoothly because the CPĐD-M material was laid on the previously constructed CPĐD-B base, which ensured adequate compaction and smoothness. Consequently, the construction time was short, and the material thickness was relatively uniform (25 cm) as per the design.

2. Monitoring and evaluating the compaction of the CPĐD layers

After spreading, the CPĐD-B layer was compacted without watering using a steel-wheel vibratory roller, with 7–10 passes per layer. Following preliminary compaction, traffic was allowed to pass to further enhance the compaction of the aggregate layer.

Compaction of the CPĐD-M layer was also carried out using a similar procedure to that used on the pilot construction section. A steel-wheel vibratory roller with a vibration force of 25–30 metric tons was used, with 10–15 passes.

The compaction of the pavement layer was evaluated using the DCP test and LWD equipment. See Table 2.20 for the compaction test results. The test results show that the pavement compaction meets the design requirements.

Table 2.20. Summary of DCP measurement results for section B-B2

No.	Location	Field CBR – converted from DCP test results per ASTM D6951/D6951M, %	Notes
1	Point 01	100	Required CBR for mine roads in some countries with developed mining industries worldwide: > 80 %
2	Point 02	100	
3	Point 03	100	
4	Point 04	100	

No.	Location	Field CBR—converted from DCP test results per ASTM D6951/D6951M, %	Notes
5	Point 05	100	
6	Point 06	100	
7	Point 07	100	
8	Point 08	100	

3. Monitor, evaluate, and inspect the elevation, flatness, transverse slope, longitudinal slope, compaction, and uniformity of the CPĐD material

Geometric parameters such as width, thickness, elevation, flatness, cross-slope, and longitudinal slope are controlled during the construction of the CPĐD-B layer using a tape measure, straightedge, and leveling instrument. See Table 2.21 for the inspection results of these parameters.

Table 2.21. Construction parameters for the semi-permanent section B-B2

No.	Parameter	Unit	Value		Notes
			Design	Actual	
1	Road width, m	m	17.0	17–18	
2	Thickness of the CPĐD-B layer	cm	40	40–55	
3	Thickness of the CPĐD-M layer	cm	25	25	
4	Flatness before installation		Absolute flatness	Existing Road Surface	
5	Longitudinal Slope	%	5.69–8.00	5.59–8.00	
6	Transverse slope	%	3	3–4	

The data in Table 2.21 shows that the road width at the intersection (Point B) must be widened to improve safety for vehicles making U-turns; The actual thickness of the CPĐD-B layer is greater than the design specification due to an uneven subgrade, requiring significant leveling (The cause of the exposed subgrade at the intersection has not been fully resolved, resulting in frequent water runoff); The thickness of the CPĐD-M layer, having been laid over the CPĐD-B subbase that had been compacted to a level surface, is relatively uniform, resulting in minimal need for leveling adjustments; after construction, the surface flatness meets design specifications; the longitudinal and transverse gradients were constructed in accordance with the design.

2.2.3.3. Construction of Drainage Trenches

Trench excavation on the B-B2 section was carried out simultaneously and similarly to the B2-C section. The drainage system also includes a main trench with a bottom width of

1.0–2.0 m; the excavated soil and rock are used to form a retaining embankment, with a side ditch having a bottom width of 0.4–0.5 m located outside the embankment. Every 50–100 m, the retaining embankment is cut to form a transverse ditch draining into the main ditch.

Monitoring results of the ditch construction process on the B–B2 section show that, with the designed dimensions, the longitudinal ditch ensures adequate drainage for the road surface and the surrounding area during the rainy season. The ditch on the B–B2 section is located in a relatively stable area with a steep longitudinal slope, resulting in a long service life and minimal need for dredging.

2.2.4. Fixed Road Section A-A1

2.2.4.1. Crushing and Transportation of CPĐD-M

The crushing and transportation of CPĐD-M were not carried out concurrently with the construction of the road sections but were performed during a single period (May 12 to June 3, 2021) for the entire volume of CPĐD-M. For details, see Section 2.1.5.1.

2.2.4.2. Monitoring the Paving of the CPĐD-M Layer

The CPĐD-M paving work on Section A-A1 is carried out in two phases. Phase 1 runs from June 17 to June 21, 2021 (after completion of the pilot section), and Phase 2 runs from December 5 to December 8, 2021.

1. Monitoring and evaluation of the spreading and grading

- Phase 1: The paving work was performed using a stone aggregate paver with a capacity of 50–60 m^3/h. CPĐD-M was laid in two layers, similar to the pilot construction. The total thickness of Layer 1 and the leveling of depressions ranged from 10 to 35 cm; Layer 2 was spread to a thickness of 15 cm (Figure 2.28).



Figure 2.28. Spreading and compaction of the second layer, 15 cm thick, on section A-A1

- Phase 2: Following the temporary commissioning period (from August to

December 2021). Since final acceptance had not yet been granted, Cao Son Coal Company had not organized maintenance in accordance with the design maintenance procedures, leading to the appearance of some damage on the road section; therefore, the contractor continued to perform supplementary construction and repairs on this section. Prior to spreading the CPĐD-M material, the contractor proactively surveyed and removed the subbase layer that did not meet requirements using an excavator in certain areas showing signs of subsidence and rubber buildup (Figure 2.29).



Figure 2.29. Removal of the subbase layer that did not meet specifications on section A-A1

Based on lessons learned from Phase 1 construction using a paver, the contractor's team performed the spreading operation in this phase using a wheeled grader. The CPĐD-M was spread in a single layer with a thickness of 10–20 cm (Figure 2.30).



Figure 2.30. Grading and spreading for Phase 2 on Section A-A1

Monitoring of the spreading process showed that the CPĐD-M spreading technology using a grader overcomes the limitations of construction with a paver, namely:

faster construction time, suitability for uneven roadbeds on mine roads, and thickness, cross-slope, and longitudinal slope parameters that meet design specifications. The drawbacks of using a grader are that multiple passes are required to achieve the specified thickness and design-required flatness.

2. Monitoring and Evaluating the Compaction of CPĐD Layers

Compaction work in both phases was performed after each paving layer using two single-drum steel-wheel vibratory rollers with a vibration force of 25–35 metric tons. Each layer was compacted 10–15 passes, followed by running mine vehicles over the surface and watering it; the area was then recompacted with the rollers the following day.

After final compaction, the compaction degree of the pavement layer was tested using a dynamic penetration hammer (Figure 2.31) and an LWD device. The test results for compaction degree obtained using these devices are shown in Tables 2.22 and 2.23; see the Appendix for details.



Figure 2.31. Compaction testing on section A-A1 using the CBR index with a dynamic penetration hammer

Table 2.22. Summary of DCP measurement results for the A-A1 section

No.	Location	Field CBR—converted from DCP test results per ASTM D6951/D6951M, %	Notes
1	Point 01	100	Required CBR for mine roads in some countries with developed mining industries worldwide: > 80 %
2	Point 02	100	
3	Point 03	100	
4	Point 04	100	
5	Point 05	100	
6	Point 06	100	
7	Point 07	100	

No.	Location	Field CBR—converted from DCP test results per ASTM D6951/D6951M, %	Notes
8	Point 08	100	

Table 2.23. Results of elastic modulus tests using the LWD device

No.		Static Modulus of Deformation, MPa	Dynamic Modulus of Deformation, MPa	Notes
1	Point 01			Poisson's ratio = 0.3; Compression plate diameter D = 0.3 m
2	Point 02			
3	Point 03			
4	Point 04			
5	Point 05			
6	Point 06			
7	Point 07			
8	Point 08			

The results in Tables 2.22 and 2.23 show that the compaction of the completed pavement layer meets or exceeds design specifications.

3. Monitoring, evaluation, and inspection of elevation, flatness, cross-slope, longitudinal slope, compaction, and uniformity of the asphalt concrete material

Elevation, flatness, cross-slope, and longitudinal slope were continuously monitored throughout the construction process using a leveling instrument and a straightedge. The road alignment parameters are summarized in Table 2.24.

Table 2.24. Construction Parameters for Section A-A1

No.	Parameter	Unit	Value		Notes
			Design	In Practice	
1	Road width, m	m	17.0	17–18	
2	Thickness of the CPĐD-M layer, cm	cm	25	25–50	
3	Flatness before Flatness before laying CPĐD-M		Absolute level	Existing road surface	
4	Longitudinal slope	%	0.44–7.10	0.44–7.10	
5	Transverse slope	%	3	3	

The data in Table 2.24 shows that: Dimensional parameters such as width, length, and longitudinal and transverse slopes were constructed in accordance with design specifications; the subgrade

provided by the project owner to the contractor is the existing road surface, with unevenness typically ranging from 5 to 7 cm; in some cases, there are potholes with depths of 10 to 15 cm. During construction, the contractor must apply CPĐD-M filler at these locations to ensure the road surface is level.

2.2.4.3. Construction of the Dust-Suppression and Road Surface Hardening Layer

The application of dust-suppressing additives on the remaining portion of the A-A1 section was also divided into two construction phases: In Phase 1, the contractor applied dust-suppressing additives across the entire area at the three-way intersection at Point A on July 3–4, 2021. Phase 2 involved reapplying the dust-suppressing additive to the entire A-A1 section on January 11–12, 2022 (Figure 2.33).

The construction site was prepared by using a grader to roughen the road surface to a depth of 1–3 cm (Figure 2.32).



Figure 2.32. Site preparation for dust-suppressant application using a grader



Figure 2.33. Application of dust-suppressing additive on the A-A1 section

The results of the additive application showed that using a grader to create a textured surface ensured an application rate of 1 liter/m²as designed, and the additive was fully absorbed without running off the road surface.

2.2.4.4. Construction of drainage ditches

The longitudinal ditches along the A-A1 section were also completed by Cao Son Coal Company prior to the placement of the aggregate mix. The area from Point A to the access road to the coal storage yard and the left-side ditch along the route, upon completion, has a bottom width of 0.5–0.7 m. On the right side, from the access road to the coal warehouse to the end of the route, there are two parallel ditches: a main ditch with a bottom width of 1.0–1.5 m and a side ditch adjacent to the road shoulder with a bottom width of 0.4–0.5 m. During construction, after each rainstorm, the contractor proactively cleared these ditches using a TLGN excavator (Figure 2.24).



Figure 2.34. The contractor organizes dredging of the ditches along sections A-A1 and A-A2

Monitoring of construction and maintenance of the ditches along the A-A1 section showed that the dimensions of the ditches upon completion met or exceeded design specifications. However, during use, the ditches often became silted up after each rainstorm, and the timely clearing of these ditches was not carried out, leading to water stagnation and poor drainage. In particular, at the two locations—the coal storage yard entrance and the mining workshop—where vehicles enter and exit and pass over the ditches, no culverts were installed, causing water to pool and overflow onto the road surface.

2.2.5. Fixed Road Section A-A2

2.2.5.1. Monitoring the laying of the cement-stabilized gravel layer

1. Materials (soil, rock, cement, additives, water, etc.)

Material sources include: CPĐD-M produced from mine waste rock; Thang Long PCB40 cement from Thang Long Cement Joint Stock Company, meeting the standard

TCVN 6260-2009; ***GEOSTAB*** soil and rock reinforcement additive (Figure 2.33) from Global Trade Marketing GTM-Australia, imported directly from Australia; water sourced from wastewater pumped from the Cao Sơn mine. Quality certification documents for input materials and supplies are provided in the Appendix.



Figure 2.35. Geostab cement-based soil and rock stabilizing additive stockpiled at the Cao Son coal mine

2. Crushing and spreading the aggregate before reinforcement

Spreading CPĐD-M before reinforcement: Due to the adverse factors mentioned above, the spreading of CPĐD-M on the A-A2 section prior to reinforcement was also carried out in two phases. Phase 1: From July 12–20, 2021, the contractor carried out the spreading of a CPĐD-M layer with a thickness of ≥ 20 cm using the same technological procedures and equipment as during Phase 1 of the A-A1 section (Figure 2.36). Phase 2, from December 9 to 28, 2021: The contractor carried out the re-paving of CPĐD-M with a thickness of ≥ 20 cm using a grader across the entire length of Route A-A2 (Figure 2.37) because the road surface had deteriorated due to use between the end of Phase 1 and the start of Phase 2. Construction specifications and parameters include:

- The moisture content of the CPĐD-M must be maintained at 6–8% throughout the transportation, grading, and compaction processes.

- The total thickness of the CPĐD-M, 25–40 cm, is divided into two construction layers.

- The CPĐD-M material is extended 25–100 cm on each side beyond the designed width of the subgrade.

- Assign laborers to assist the grader to minimize and promptly address any material segregation.

Inspections of elevation, flatness, transverse slope, and longitudinal slope are conducted throughout the construction process.



Figure 2.36. Spreading the CPĐD-M layer using a paver as reinforcement material on section A-A2



Figure 2.37. Re-spreading the CPĐD-M layer using a grader on section A-A2

3. Transportation and spreading of cement prior to reinforcement

Cement transportation and spreading prior to reinforcement: Cement is transported and spread evenly over the road surface at the design rate of 7%, equivalent to 41 $^{kg/m^2}$ using a 21-metric-ton specialized truck (Figure 2.38). The cement-spreading truck is equipped with a spreading device featuring a metering gauge that accurately indicates the amount of cement spread per unit area.



Figure 2.38. Specialized truck for transporting and spreading cement

4. Mixing the Geostab soil-stabilizing additive with water

Transportation of water and soil-stabilizing additive: The soil-stabilizing additive for soil and cement-stabilized rock is the GeoStab brand, manufactured by Global Trade & Marketing Pty. Ltd. in Australia and imported by Infrasol Co., Ltd. The additive is stored in specialized plastic drums weighing 224 kg each. Since the construction volume is not large (6 metric tons), the additive is transported to the staging area by box trucks.

Water for construction is sourced from the mine's treated wastewater, transported by a 16 m^3 water tanker to the staging area, and then manually mixed with the additive (Figure 2.39).

The admixture is retrieved from the staging area; a bucket loader is used to lift the admixture drums and dump them into the water tanker according to the design dosage. To assist in mixing the admixture into the water, the contractor, Infrasol, uses a small 12V 60W booster pump.



Figure 2.39. Mixing Geostab admixture with water in preparation for construction

5. Reinforcement Construction Work

The reinforcement work was performed using a specialized milling machine assembly. The assembly included: a 670 HP recycling milling machine manufactured by Wirtgen (Germany), a 16 m^3 water truck for mixing additives; a sheep's-foot vibratory roller, and a steel-wheel vibratory roller with a vibration force of 35 metric tons.

After spreading the cement, the recycling milling machine, along with the water truck carrying the additive mixture, performs milling to a thickness of 25 cm as per the design. The recycled milling machine simultaneously performs milling, crushing, mixing cement, water, and additives, spreading the mixture back onto the milled area, and leveling it (Figure 2.40). The particle size distribution of the reclaimed material, the milling depth on both sides of the machine, and the moisture content of the reinforced material are continuously monitored and adjusted to meet design specifications.



Figure 2.40. Reinforced milling using a milling machine combination

6. Compaction of the milled mixture

- Initial compaction: Use a sheep's foot vibrating roller to compact the material until the sheep's foot tracks are no longer visible on the surface of the material layer. Number of passes: 10–15 passes per point; compaction speed V ≤ 3 km/h (Figure 2.41). After compaction with a sheep's foot roller, use a self-propelled grader to immediately grade the surface of the material layer that has been initially compacted. The grader blade must level out the sheep's foot tracks while simultaneously creating the cross-slope, longitudinal slope, and road surface profile according to the design.

- Final compaction: Use a single-drum steel-wheel vibratory roller, a double-drum steel-wheel vibratory roller, and a pneumatic-tire roller to firmly compact and finish the graded material mixture layer. The number of passes is 10–14 (for all three machines). The final pass is performed without vibration (Figure 2.42).

+ During the grading and tire-tread roller compaction process, the surface layer

is kept moist by a mist-spraying water truck.

The compaction schedule for the construction section is summarized as follows:

- Vibratory roller: static weight 20T, vibration force 25–35T, 10–15 passes per point, speed 3 km/h;

- Smooth steel-wheeled vibratory roller: static weight 19.6T, 10–14 passes per point, average speed 3 km/h;

- Two-wheel steel roller: weight 12T, 10–14 passes per point, average speed 3 km/h;

- Pneumatic-tired roller: static weight 18T, 10÷14 passes evenly across the surface until the surface is fully compacted, average speed 6 km/h.



Figure 2.41. Compacting a scraped mixture using a sheep's-foot vibratory roller



Figure 2.42. Watering and compaction using a 10-metric-ton roller and a tire-tired roller

7. Monitoring the strength of the cement-stabilized soil-rock mixture

The strength of the cement-stabilized soil-rock mixture is tested through field and laboratory experiments (Figures 2.43 and 2.44).



Figure 2.43. Sampling to evaluate the strength of the cement-stabilized soil-rock mixture using the cast-specimen and core drilling methods

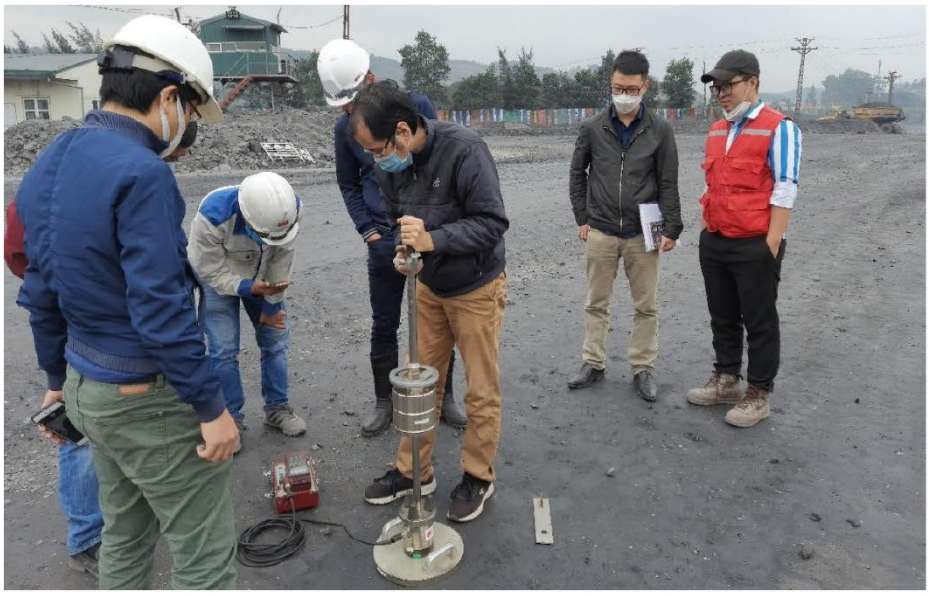


Figure 2.44. Measuring the elastic modulus as a function of the age of the reinforced subgrade using LWD equipment

The results of the reinforcement work on the A-A2 section show that, in terms of geometric dimensions, uniformity, and compaction, the completed road meets or exceeds design specifications. See Table 2.25 for the results of dynamic compaction tests and Table 2.26 for elastic modulus measurements using LWD equipment; see the Appendix for details.

Table 2.25. Summary of DCP Measurement Results for Section A-A2

No.	Location	Field CBR—converted from DCP test results per ASTM D6951/D6951M, %	Notes
1	Point 01	100	Required CBR for mine roads in some countries with developed mining industries worldwide: > 80 %
2	Point 02	100	
3	Point 03	100	
4	Point 04	100	
5	Point 05	100	
6	Point 06	100	
7	Point 07	100	
8	Point 08	100	

Table 2.26. Experimental results for measuring elastic modulus using LWD equipment

No.		Static Modulus of Deformation, MPa	Dynamic Modulus of Deformation, MPa	Notes
1	Point 01	388.5	407.2	Poisson's ratio = 0.3; Compression plate diameter D = 0.3 m
2	Point 02	377.8	392.9	
3	Point 03	335.0	351.5	
4	Point 04	333.3	359.3	
5	Point 05	318.0	339.8	
6	Point 06	318.3	334.6	

2.2.5.2. Monitoring the construction of the CPĐD-M layer

1. Crushing and Transportation of CPĐD-M

The crushing and transportation of CPĐD-M were not carried out concurrently with the construction of individual road sections but were performed during a single period (May 12 to June 3, 2021) for the entire volume of CPĐD-M. For details, see Section 2.1.5.1.

2. Spreading and Compaction of the CPĐD-M Layer

After allowing sufficient time for the reinforced subgrade to stabilize and the cement to fully hydrate, the Contractor will carry out the placement of a 25 cm thick CPĐD-M pavement layer on the A-A2 section from January 6 to 10, 2022. Spreading was performed using a grader, and compaction was carried out using a smooth-wheeled vibratory roller, following the same procedure as during Phase 2 construction on the A-A1 section (Figure 2.45). Refer to Table 2.27 for a summary of the construction parameters.



Figure 2.45. Grading and compaction of the CPĐD-M surface layer using a grader on the A-A2 section

3. Monitoring, evaluation, and inspection of elevation, flatness, cross-slope, longitudinal slope, moisture content, and uniformity of the CPĐD material

Similar to construction on other sections, elevation, flatness, cross-slope, and longitudinal slope are always checked and adjusted to match the design using a leveling instrument, straightedge, and benchmark stakes. See Table 2.27 for dimensional specifications.

The moisture content of the reinforced mixture and CPĐD-M is controlled at the storage yard by supplemental watering. The moisture content and uniformity of the material are tested using a field moisture test (Figure 2.46).





Figure 2.46. On-site inspection of depth and mix composition

Table 2.27. Construction parameters for section A-A2

No.	Parameter	Unit	Value		Notes
			Design	Actual	
1	Width of the base layer reinforced with CPĐD-M	m	17.0	17–22	
2	Thickness of the reinforced CPĐD-M layer	cm	20	20–50	
3	Thickness of the reinforced layer of cement and additives	cm	25	25	
4	Width of the reinforced roadbed	cm	17	17	
5	Thickness of the CPĐD-M layer	cm	25	25	
6	Dust-suppressing additive application	kg/m²	1.0	1.0	
7	Roadbed flatness prior to construction		Absolute level	Existing road surface	
8	Longitudinal Slope	%	0.49–2.24	0.49–2.24	
9	Transverse slope	%	3	3	

The data in Table 2.27 show that, regarding the road width at the intersection (Point A), the construction must be widened beyond the design specifications to increase safety for vehicles entering and exiting the dam station. The remaining portion of the old roadbed outside the design scope was filled with selected material from blasted rock and soil at the mine; The actual thickness of the reinforced stone layer exceeded the design specification due to an uneven subgrade, requiring significant leveling; Thickness, compaction, uniformity, flatness, and moisture content were checked regularly. All parameters met or exceeded design specifications; Compaction and the application rate of dust-suppressing additives were maintained as per the design; Longitudinal and transverse gradients were constructed according to the design

2.2.5.3. Construction of the dust-suppression and hardening layer on the road surface

The surface preparation for applying the dust-suppressing additive was performed using a grader to remove mud spilled during the process and to create a textured surface (Figure 2.47).



Figure 2.47. Grading the surface to create a textured finish before applying the dust-suppressing additive

After the grader creates the textured surface, the contractor applies the dust-suppressing and hardening additive using a specialized tank truck across the entire road surface area of the A-A2 section (Figure 2.48). The construction results show that the method of scraping to create a rough surface and applying the dust-suppressing additive ensures the required density of 1 kg/m^2as specified in the design, and the additive does not run off the road surface. According to the manufacturer's instructions, vehicle traffic should not be allowed for 12 hours after applying the additive. However, due to production conditions, the site manager allowed vehicle traffic one hour after application.



Figure 2.48. Application of dust-suppressing hardening additive on the A-A2 section

2.3. SUMMARY OF QUALITY ASSESSMENT FOR ROAD SECTIONS

2.3.1. Regarding Construction Progress

According to Contract No. 3691/HĐ-TCS-KH dated May 5, 2021, between Cao Son Coal Joint Stock Company - TKV and INFRASOL Co., Ltd., the construction period for upgrading the road quality at the Cao Son coal mine was 60 days. However, the construction process encountered many adverse factors, both objective (weather, pandemic) and subjective (equipment breakdowns, corrective work, structural changes, etc.), forcing the contractor to carry out the work in three phases. The entire project was not completed until May 25, 2022. Thus, the construction period for the project was significantly longer than originally planned.

2.3.2. Regarding the construction specifications for the road sections

After construction was completed and all road sections were inspected and accepted for use, the inspection results showed that dimensional parameters such as length, width, cross-slope, longitudinal slope, and road smoothness met design specifications. However, the road width in many areas—such as the intersection at Point A,

Point B, the actual width was 1 to 3 meters wider than the design.

Regarding layer thicknesses: According to the design, the thickness of the CPĐD-M layer on sections A-A1 and B-B1 is 25 cm; the reinforced stone layer on section A-A2 is 20 cm; the CPĐD-B layer on sections A-B and B-B2 is 40 cm; and on section B2-C, it is 25 cm. However, due to the effects of rainwater and vehicle loads, the existing pavement surface prior to construction had eroded, particularly the top layer of fine soil (approximately 10 cm), which had been washed away. Furthermore, since the existing pavement consists of a stone mixture that does not follow proper gradation principles, this can easily lead to the formation of localized weak spots, particularly at points with large stones (D_{max}> 40 mm). In these areas, during construction, the contractor must backfill with graded aggregate to a thickness of 5–15 cm. Constructing the CPĐD-M with a thickness exceeding the design specifications in these localized areas not only increases costs for the contractor but also reduces the overall durability of the road.

Regarding the application rate of dust-suppressing and pavement-hardening additives: The contractor must apply the additives at a rate of 1 $^{kg/m^2}$as specified in the design. After applying the dust-suppressing additive, visual inspection shows that dust emissions during transportation are significantly reduced, similar to when water is applied, but the dust-suppressing effect lasts longer (1–3 days) before gradually diminishing. Notably, when the weather changes from rain to sunshine, the dust-suppressing additive layer becomes less effective or loses its effectiveness entirely.

Regarding drainage ditch specifications: Before and after road construction, the dimensions of the drainage ditches met design specifications (Table 2.28). During construction, due to the extended duration and actual conditions at certain times, the construction of the drainage ditches did not meet drainage requirements (at the B intersection, roads intersecting the coal storage yard on the A–A1 section, and the dam station on the A–A2 section… water overflowed onto the road surface). During construction, the contractor also proactively cleared the drainage ditches in areas where the aggregate layer had already been completed.

Table 2.28. Drainage Trench Construction Specifications for Road Sections

Section	Ditch Specifications	Unit	Value		Notes
			Design	Actual	
A-A1	Base width	m	0.4	0–1.5	
	Height	m	0.4	0–2.0	
A-A2	Base width	m	0.4	0.5–1.5	
	Height	m	0.4	0.4–0.6	
A-B	Base width	m	0.4	0.5–1.5	
	Height	m	0.4	0.4–0.6	
B-B1	Base width	m	0.4–1.0	0.5–1.5	

Track section	Groove parameters	Unit	Value		Notes
			Design	Actual	
	Height	m	0.4–1.0	0.4–0.6	
B-C	Base width	m	0.4	0.5–1.5	
	Height	m	0.4	0.4–0.6	

2.3.3. Regarding material dimensions and the thickness of the CPĐD-M layer

Analysis results and on-site construction monitoring show:

+ Regarding the aggregate particle size of CPĐD-M: CPĐD-M produced at Cao Sơn complies with Roger Thompson's guidelines and meets the design standards of the Plan.

+ Regarding the thickness of the CPĐD-M layer: The measured average elastic modulus (Mr) of the road surface for both fixed and semi-fixed sections was >130 MPa. Therefore, the thickness of the CPĐD-M layer along the route sections is appropriate.

2.3.4. Regarding Road Surface Quality

At the time of acceptance and when the road sections were put into use, the pavement quality met design specifications. However, during the initial construction phase (from June 2021 to August 2021), when there was prolonged heavy rain, many sections of the road surface developed unevenness and potholes; the surface experienced spalling and erosion, failing to meet the required quality standards. The following are identified as the main causes leading to the road's substandard quality:

- Maintenance work was not carried out in a timely manner due to the prolonged construction period and the fact that the road had not yet been officially accepted for use;

- Inadequate drainage caused the road's cross-slope during the initial phase to fall short of design specifications, resulting in water pooling and overflowing onto the road surface; water from areas where construction had not yet been completed across the full width of the road (outside the design scope) seeped in, weakening the CPĐD-M structure;

- Due to localized weak spots, potholes had already formed prior to the installation of the CPĐD-M, with road surface irregularities ranging from 5 to 15 cm, and in some cases up to 25 cm. At these locations, the contractor had to make compensatory fills using CPĐD-M during construction. The use of CPĐD-M for these fills was intended solely to achieve a level surface; not only did it fail to address the localized weaknesses, but it also increased non-compliance with the gradation requirements, leading to further structural deterioration.

CHAPTER 3. MONITORING AND EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE APPROACH

3.1. MONITORING AND EVALUATION OF EFFECTIVENESS FROM A TECHNICAL PERSPECTIVE

3.1.1. Monitoring and Evaluating Vehicle Speeds

According to the Labor Standards and Productivity System for Certain Key Open-Pit Coal Mining Equipment issued along with Decision No. 2411/QĐ-TKV dated December 31, 2019, by the Vietnam Coal and Mineral Industries Group (Standard 2411), the average speed is determined using the following formula:

$$V = \frac{366.97 \times \text{Rated Power (kW)} \times \text{Vehicle Utilization Efficiency (\%)} \times \text{Total}}{\text{Vehicle Weight (kg)} \times \text{Total Resistance (\%)}} \quad (3.1)$$

From formula (3.1), it can be seen that vehicle speed is inversely proportional to total road resistance; when rolling resistance decreases and total resistance decreases, vehicle speed increases accordingly.

To verify this, the research team monitored vehicle speeds using photographic methods, calculating the time vehicles entered and exited the road section before and after the improvement work. Due to practical constraints, speed monitoring was only conducted on the A-A1 section; A-B-B2-C at the following times: before construction on May 24–28, 2021; after construction on June 16–22, 2021, on the A-A1 section; and on May 25–28, 2022, on the A-B-B2-C section. Also, according to Cao Son Coal Company's safety regulations, the maximum speed with a load is 30 km/h and 35 km/h without a load; therefore, on the A-B-B2-C section, the team only monitored the speed of loaded vehicles traveling from C to A. See Tables 3.1 and 3.2 for the statistical results.

Table 3.1. Statistics on vehicle speeds on the A-A1 route before construction (May 24–28, 2021) and after construction (June 16–22, 2021)

No.	Vehicle Type	Average Traffic Volume, trips/h	Vehicle Speed, km/h						
			Downhill, loaded, A→A1		Uphill unloaded section A1→A		Average		
			Before TC	After TC	Before TC	After TC	Before TC	After TC	Difference, %
1	CAT777	12	25.4	28.7	20.4	24.1	22.9	26.4	15.4
2	HD785	5	25.6	28.8	23.8	28.3	24.7	28.5	15.6
3	CAT773	4	27.8	30.7	32.3	36.4	30.0	33.5	11.8
4	HD465	7	27.7	31.7	33.5	38.9	30.6	35.3	15.3

Table 3.2. Vehicle speed statistics on Route A-B-B2-C before construction (May 24–28, 2021) and after construction (May 25–28, 2022)

No.	Vehicle Type	Average Traffic Volume, trips/h	Vehicle Speed, km/h						
			Uphill with load, C→A		Unloaded descent A→C		Average		
			Before TC	After TC	Before TC	After TC	Before TC	After TC	Difference, %
1	CAT777	28	18.6	20.7	35.0	35.0	26.8	27.8	3.9
2	HD785	9	19.2	22.7	35.0	35.0	27.1	28.8	6.3
3	CAT773	5	17.1	19.9	35.0	35.0	26.0	27.5	5.5
4	HD465	28	20.2	22.8	35.0	35.0	27.6	28.9	4.7

The data in Tables 3.1 and 3.2 show that after construction under dry weather conditions, vehicle speeds increased by 3.9–15.4%, depending on the vehicle type, with an average increase of 14.3
%.

3.1.2. Monitoring fuel consumption efficiency

As noted in Section 1.1.2, the rehabilitated road sections account for a small portion of the mine's total transportation network. The project team collaborated with Cao Son Coal Company to identify methods for monitoring actual fuel consumption on the upgraded sections. However, the monitoring process encountered numerous difficulties and complexities, making it impossible to isolate fuel consumption levels. Therefore, the project team opted for a calculation method based on the research findings of RJ. Thompson

The fuel consumption of a truck (Q_f, liters/hour) is based on the ratio of the engine's total available power (D_L). The engine begins to accelerate and consume fuel when the overall gradient exceeds 0% [2]:

$$Q_f = 0.226 P_G \ (D_l + 0.03), \text{ liters per hour} \qquad (3.2)$$

$$D_i = \frac{2.72 V_{uf} \ GVM \ (i + RR)}{P_G \varepsilon_t \ \sqrt{1 + i^2}}, \% \qquad (3.3)$$

Here: V_{uf} - truck speed, km/h, determined by the formula **Error! Reference source not found.**; P_G - total engine power, kW; ε_t - transmission efficiency, $\varepsilon_t = 0.8$; GVM - gross vehicle mass, t; i - road gradient, %; RR - road rolling resistance, %.

See Table 3.3 for the results of fuel consumption calculations according to RJ. Thompson

Table 3.3. Fuel Consumption on Road Sections According to RJ. Thompson

Vehicle Type	Road Section	Transportation Direction	GR, %	Before construction				After construction				Percentage reduction in energy consumption during flow along the line, %
				V_{tt}, km/h	Total resistance, %	Energy consumption (Qf), liters/hour	Fuel consumption per trip on the route, liters	V_{tt}, km/h	Total drag, %	Fuel consumption (Qf), liters/hour	Fuel consumption per trip on the route, liters	
Vehicles 91–69 metric tons	Fixed (A-A1)	Loaded downhill	-3.33	25.39	0.00	5.2	0.09	28.67	0.00	5.2	0.08	11.44
		Uphill without load	3.33	25.60	5.33	216.5	3.53	28.79	5.83	215.7	3.12	11.39
	Fixed (A-A2)	Downhill load	0.01	30.00	2.01	127.3	1.17	30.00	2.49	99.1	0.91	22.19
		Uphill without load	-0.01	35.00	1.99	148.3	1.17	35.00	2.51	115.3	0.91	22.22
	Fixed Sale (A-B1)	Uphill load	1.38	30.00	3.38	179.4	3.32	30.00	3.88	151.1	2.80	15.74
		No downhill descent	-1.38	35.00	0.62	87.5	1.39	35.00	1.12	54.5	0.86	37.66
	Fixed-speed (B-B2)	Uphill load	6.61	18.60	8.61	234.9	4.31	22.68	9.11	264.0	3.97	7.84
		No downhill descent	-6.61	35.00	0.00	5.2	0.05	35.00	0.00	5.2	0.05	0.00
	Temporary (B2-C)	Loaded uphill	6.23	18.60	8.23	226.1	8.64	22.68	8.73	253.2	7.94	8.14
		No downhill descent	-6.23	35.00	0.00	5.2	0.11	35.00	0.00	5.2	0.11	0.00
		Entire route					**23.75**				**20.74**	**12.69**
Vehicles 55–58 metric tons	Fixed (A-A1)	Downhill load	-3.33	27.75	0.00	3.7	0.06	30.68	0.00	3.7	0.05	9.55
		Uphill without load	3.33	32.25	6.58	166.1	2.15	35.00	5.83	159.9	1.91	11.32
	Fixed (A-A2)	Downhill load	0.01	30.00	3.24	78.2	0.72	30.00	2.49	61.0	0.56	22.02
		Uphill without load	-0.01	35.00	3.26	91.1	0.72	35.00	2.51	71.0	0.56	22.08
	Fixed Sale (A-B1)	Uphill load	1.38	30.00	4.63	110.0	2.04	30.00	3.88	92.8	1.72	15.66
		No downhill descent	-1.38	35.00	1.87	54.0	0.86	35.00	1.12	33.8	0.54	37.26
	Fixed-speed (B-B2)	Uphill load	6.61	17.08	9.86	132.4	2.64	19.92	9.11	142.4	2.44	7.79
		No downhill descent	-6.61	35.00	0.00	3.7	0.04	35.00	0.00	3.7	0.04	0.00
	Temporary (B2-C)	Loaded on an incline	6.23	17.08	9.48	127.5	5.31	19.92	8.73	136.7	4.88	8.10
		No downhill descent	-6.23	35.00	0.00	3.7	0.08	35.00	0.00	3.7	0.08	0.00
		Entire route					**14.59**				**12.75**	**12.60**

3.1.3. Monitor and evaluate tire wear performance

The service life of truck tires depends on many factors, such as road surface quality, load capacity, tire pressure, and driver behavior... According to Caterpillar, 80% of tires are damaged before they wear down to the limit; the primary causes of tire damage are cuts from large, sharp rocks (45%) and cracks caused by load impact (30%) [5]. Therefore, it is very difficult to establish a relationship between tire wear and road quality.

According to RJ. Thompson, the tire wear rate can be determined using the following formula [2]: $TW = (62.52RR - 29.31 + 2\,|GR|)^{10^{-3}}$ (3.4)

Where: TW—Tire wear rate (tire wear per 1,000 km); GR—Longitudinal road gradient, % (positive values are used); RR—Rolling resistance, %.

Applying formula (3.4), the tire wear rates on road sections were calculated for the unimproved condition (RR = 3.25%) and the improved condition (RR = 2.0%); the calculation results are shown in Table 3.4.

Table 3.4. Rate of reduction in tire wear according to R.J. Thompson

No.	Road Segment	Length, km	Longitudinal Grade, %	TW, sets-of-tires/1,000 km with RR, %		units per run on the route with RR, %		Percentage reduction in tire wear after road rehabilitation, %
				2.0	3.25	2.0	3.25	
1	Fixed (A-A1)	0.417	-3.33	0.102	0.181	0.000246	0.000433	43.29
2	Fixed (A-A2)	0.275	-0.01	0.096	0.174	0.000348	0.000632	44.94
3	Fixed Sale (A-B1)	0.555	1.38	0.098	0.177	0.000177	0.000318	44.24
4	Fixed-rate (B-B2)	0.341	6.61	0.109	0.187	0.000320	0.000549	41.77
5	Provisional (B2-C)	0.711	6.23	0.108	0.186	0.000152	0.000262	41.94
	Entire route	**2.299**		**0.238**	**0.417**	**0.001243**	**0.002194**	**43.36**

Additionally, according to Standard 2048: Class II, III, and IV roads on fixed and semi-fixed sections with good pavement quality shall be upgraded to Class I, II, and III, respectively. With tire wear standards of 0.0046 sets per 1,000 metric-ton-kilometers for 55–58-metric-ton vehicles and 0.0025 sets per 1,000 metric-ton-kilometers for 91–96-metric-ton vehicles, the tire wear

on the road sections before and after rehabilitation, as shown in Table 3.5.

Table 3.5. Rate of Reduction in Tire Wear According to Standard 2048

No.	Road Section	Length, km	Current Road Class	Tire Wear, sets/run		Percentage reduction in tire wear after road rehabilitation, %
				Current road class	Upgrade by 1 grade	
1	Fixed (A-A1)	0.417	II	0.000526	0.000401	23.74
2	Fixed (A-A2)	0.275	II	0.000798	0.000608	23.74
3	Fixed Sale (A-B1)	0.555	II	0.000395	0.000301	23.74
4	Fixed-rate (B-B2)	0.341	III	0.000704	0.000643	8.60
5	Provisional (B2-C)	0.711	III	0.000338	0.000309	8.60
	Total route	**2.299**		**0.002760**	**0.002263**	**18.03**

3.1.4. Monitoring and evaluating the effectiveness of replacement parts

Vehicle maintenance and repair costs include the costs of replacement parts and labor for vehicle repairs and maintenance. These costs are related to the type, age, and usage of the vehicle, particularly road conditions. For mine roads, these costs are significantly lower than fuel consumption costs.

It is very difficult to determine the effectiveness of equipment maintenance and replacement parts for the road improvement plan to enhance road quality at the Cao Son Mine for the following reasons: The improved road section accounts for a small proportion of the entire route, while vehicle maintenance at the mine is organized periodically according to a construction plan based on TKV's material consumption standards.

Therefore, the effectiveness of replacement parts on the upgraded road section will be evaluated through productivity gains; see Section 3.2.1 for details.

3.1.5. Monitoring and Evaluating Vehicle Productivity

According to Standard 2411, the productivity of a truck shift is determined using the following formula:

$$N_{shift} = \frac{T_{shift} - T_{ck} - T_{gd}}{T_{chk}}, \text{ trips/shift} \quad (3.5)$$

Where: + T_{shift}, $T_{handover}$, $T_{interruption}$—corresponding to the duration of a production shift, shift handover time, and downtime during a shift, respectively, with values from Table 5; minutes; T_{cycle}—the time required to complete one transport cycle; minutes.

Substituting the values from the relevant data table into the formula above, the formula for calculating the productivity of a truck shift can be written as:

$$N_{ca} = \frac{330}{\frac{120\ L}{V} + t_x + t_m + t_{cđ}} \times V_o, \text{ m}^3/\text{shift} \quad (3.6)$$

Where: V—average technical speed of the truck, km/h; L—transport distance, km; t_x—time to load one truck, minutes; t_m—time for auxiliary operations, minutes; $t_{cđ}$—excavator waiting time, minutes; V_o— maximum capacity of soil and rock (in bulk form) in the truck bed, calculated based on payload, $V_o = Q/\gamma$, m^3; Q — truck payload, metric tons; γ — bulk density of soil and rock, metric tons/m^3.

Since the upgraded section accounts for a small proportion of the mine's total transport route and is a branching area—leading to the mining sites, into the crushing station, out to the Bàng Nâu waste dump, and back to the workshop—most transport vehicles only travel along a portion of the upgraded section rather than the entire route. Therefore, it is very difficult to assess the increase in productivity following the upgrade of these route segments.

Productivity gains are calculated based on the rate of productivity increase on the rehabilitated section and the overall productivity increase along the entire route, which includes the rehabilitated section. The input parameters for the calculation are based on the mining plan for the Cao Son Mine, Cao Son Coal Company, as shown in Table 3.6.

Table 3.6. 2022 Waste Dumping Plan for the Cao Son Mine

No.	Mining Area	Dumping Location	Volume of Soil and Rock, m^3	Volume Transported Through Reclaimed Sections					
				A-A1		A-B-B2-C		A-A2	
				Volume, m^3	Length, km	Volume, m^3	Span, km	Volume, m^3	Length, km
1	Vein 14-5	Bang Nau	13,115,000	13,115,000	8,221			13,115,000	8,221
		Bun ke	8,034,000					8,034,000	4,267
2	Layer 14-2	Brown Banyan	525,000	525,000	6,795			525,000	6,795
		Bun ke	374,000					374,000	1,593
3	Plate 13-1; 13-2	Brown Banyan	5,111,000	5,111,000	8,236	5,111,000	8,236		
		Bun ke	9,613,000			9,613,000	2,789		
4	Layer 12	Brown Banyan	905,000	905,000	7,988	905,000	7,988		
		Bun ke	1,979,000					1,979,000	2,050
		Total	**40,000,000**	**19,656,000**	**8,176**	**15,629,000**	**4,871**	**24,027,000**	**6,256**

Table 3.7. Truck Productivity After Road Improvement

No.	Parameter	Unit	Entire Mine		A-A1		A-B-B2-C		A-A2	
			55–58 metric tons	91–96 metric tons	55–58 metric tons	91–96 metric tons	55–58 metric tons	91–96 metric tons	55–58 metric tons	91–96 metric tons
1	Total volume of earth and rock transported through the rehabilitated road sections	10^3 m^3	8,000	32,000	3,931	15,725	3,126	12,503	4,805	19,222
2	Average technical speed of mining vehicles	km/h	22.1	21.12	22.1	21.12	22.1	21.12	22.1	21.12
3	Time required for auxiliary procedures	min	1.7	1.3	1.7	1.3	1.7	1.3	1.7	1.3
4	Excavator idle time	minutes	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5	Average travel distance	km	5.687	5.687	8,176	8,176	4,871	4,871	6,256	6,256
6	Transportation distance for the renovated section	km	2,299	2,299	0.417	0.417	1.363	1,363	0.275	0.275
7	Time to fill one car	minutes	3.95	6.18	3.95	6.18	3.95	6.18	3.95	6.18
8	Maximum soil and rock capacity	m^3	22.3	36.9	22.3	36.9	22.3	36.9	22.3	36.9
9	The mine's vehicle productivity before road improvements	m^3/shift	198.7	302.2	145.59	223.69	225.74	341.50	183.42	279.75
10	The mine's vehicle productivity during road improvements saw an average increase in speed of 14.3%		223.6	338.4	164.9	252.4	253.1	381.0	206.8	314.0
11	Productivity gains on the road improvement section	%	12.52	11.98	13.28	12.85	12.14	11.56	12.74	12.23
12	Vehicle productivity along the entire route when traveling through the improved road sections	m^3/shift	202.32	307.46	146.47	225.00	232.79	351.70	184.33	281.10
	Overall productivity increase along the entire route when traveling through the upgraded sections	*%*	***1.80***	***1.73***	***0.60***	***0.58***	***3.12***	***2.98***	***0.50***	***0.48***

3.1.6. Monitoring road quality based on service life

3.1.6.1. One month after construction was completed

One month after the road was put into service, the project team conducted a road quality assessment based on functional defects and measured rolling resistance on February 22, 2022, for routes A-A1, A-A2, and B-B1, and on June 23, 2022, for routes A-B, B-B2, and B2-C. See Figure 3.1 for some images of the actual pavement quality one month after commissioning.



Section B-B1 on February 22, 2022



Section A-A2 on February 22, 2022



Section A-B on June 23, 2022



Section B-B2 on June 23, 2022

Figure 3.1. Pavement quality one month after commissioning

1. Assessment of the current condition of the rehabilitated pavement based on DS (Defect Score) functional defects

Table 3.8. Summary of evaluation scores one month after construction based on functional defects (DS)

Assessment Date: February 22, 2022			Assessment Date: June 23, 2022		
No.	**Route**	**DS Score**	**No.**	**Route**	**DS Point**
1	A-A1	37	4	A-B	78
2	A-A2	76	5	B-B2	62
3	B-B1	39	6	B2-C	65

2. Assessment of the condition of the rehabilitated road surface based on the RDS (Roughness Defect Score)

Table 3.9. Summary of RDS (Roughness Defect Score) evaluation results 1 month after construction

Assessment Date: February 22, 2022				Assessment Date: June 23, 2022			
No.	**Route**	**RDS Score**	**RR, %**	**No.**	**Line**	**RDS Score**	**RR, %**
1	A-A1	21	2.6	4	A-B	45	2.9
2	A-A2	61	3.5	5	B-B2	34	2.65
3	B-B1	23	2.6	6	B2-C	35	2.67

3.1.6.2. Two months after construction was completed

1. Assessment of the condition of the rehabilitated road surface based on functional damage (DS) Table 3.10. Summary of assessment scores 2 months after construction based on functional damage

DS

Assessment Date: March 29, 2022			Assessment Date: July 28, 2022		
No.	**Route**	**DS Score**	**No.**	**Route**	**DS Point**
1	A-A1	102	4	A-B	94
2	A-A2	109	5	B-B2	88
3	B-B1	76	6	B2-C	86

2. Assessment of the condition of the rehabilitated pavement based on rolling resistance (RDS)

Table 3.11. Summary of evaluation scores 2 months after construction based on RDS rolling resistance

Assessment Date: March 29, 2022				Assessment Date: July 28, 2022			
No.	**Route**	**RDS Score**	**RR, %**	**No.**	**Line**	**RDS Score**	**RR, %**
1	A-A1	58	2.74	4	A-B	58	3.19
2	A-A2	77	3.74	5	B-B2	53	3.08
3	B-B1	43	2.86	6	B2-C	51	3.04

3.1.6.3. Three months after construction was completed

1. Assessment of the condition of the rehabilitated road surface based on functional damage (DS) Table 3.12. Summary of assessment scores 3 months after construction based on functional damage

DS

Assessment Date: April 7, 2022			Assessment Date: August 11, 2022		
No.	**Route**	**DS Score**	**No.**	**Route**	**DS Point**
1	A-A1	62	4	A-B	61
2	A-A2	114	5	B-B2	65
3	B-B1	57	6	B2-C	46

2. *Assessment of the condition of the rehabilitated pavement based on rolling resistance (RDS)*

Table 3.13. Summary of evaluation scores 3 months after construction based on RDS rolling resistance

Assessment Date: April 7, 2022				Assessment Date: August 11, 2022			
No.	**Route**	**RDS Score**	**RR, %**	**No.**	**Line**	**RDS Points**	**RR, %**
1	A-A1	46	2.74	4	A-B	34	2.7
2	A-A2	85	3.74	5	B-B2	34	2.7
3	B-B1	31	2.5	6	B2-C	27	2.52

3.1.6.4. Four months after construction was completed

1. *Assessment of the condition of the rehabilitated road surface based on functional damage (DS) Table 3.14. Summary of assessment scores 4 months after construction based on functional damage*

DS

Assessment Date: May 18, 2022			Assessment Date: September 29, 2022		
No.	**Route**	**DS Score**	**No.**	**Route**	**DS Point**
1	A-A1	70	4	A-B	61
2	A-A2	91	5	B-B2	78
3	B-B1	76	6	B2-C	85

2. *Assessment of the condition of the rehabilitated pavement based on rolling resistance (RDS)*

Table 3.15. Summary of evaluation scores 4 months after construction based on RDS rolling resistance

Assessment Date: May 18, 2022				Assessment Date: September 29, 2022			
No.	**Route**	**RDS Score**	**RR, %**	**No.**	**Line**	**RDS Score**	**RR, %**
1	A-A1	40	2.79	4	A-B	36	2.69
2	A-A2	59	3.5	5	B-B2	32	2.81
3	B-B1	43	2.86	6	B2-C	36	2.92

3.1.6.5. Five months after construction was completed

1. *Assessment of the condition of the rehabilitated road surface based on functional defects*

Table 3.16. Summary of evaluation scores 5 months after construction based on functional defects

DS

Assessment Date: June 23, 2022			Assessment Date: /10/2022		
No.	**Route**	**DS Score**	**No.**	**Route**	**DS Point**
1	A-A1	83	4	A-B	
2	A-A2	87	5	B-B2	
3	B-B1	75	6	B2-C	

2. *Assessment of the condition of the rehabilitated pavement based on rolling resistance (RDS)*

Table 3.17. Summary of evaluation scores 5 months after construction based on RDS rolling resistance

Assessment Date: June 23, 2022				Assessment Date: /10/2022			
No.	**Route**	**RDS Score**	**RR, %**	**No.**	**Line**	**RDS Score**	**RR, %**
1	A-A1	58	3.06	4	A-B		
2	A-A2	77	3.36	5	B-B2		
3	B-B1	43	2.95	6	B2-C		

3.1.6.6. Six months after construction was completed

1. *Assessment of the condition of the rehabilitated road surface based on functional defects (DS)* *Table 3.18. Summary of assessment scores 6 months after construction based on functional defects*

DS

Assessment Date: July 28, 2022			Assessment Date: /11/2022		
No.	**Route**	**DS Score**	**No.**	**Route**	**DS Point**
1	A-A1	82	4	A-B	
2	A-A2	104	5	B-B2	
3	B-B1	69	6	B2-C	

2. *Assessment of the condition of the rehabilitated pavement based on rolling resistance (RDS)*

Table 3.19. Summary of evaluation scores 6 months after construction based on RDS rolling resistance

Assessment Date: July 28, 2022				Assessment Date: /11/2022			
No.	**Route**	**RDS Score**	**RR, %**	**No.**	**Line**	**RDS Score**	**RR, %**
1	A-A1	45	2.45	4	A-B		
2	A-A2	66	3.26	5	B-B2		
3	B-B1	47	2.95	6	B2-C		

3.2. ASSESSMENT OF ECONOMIC EFFICIENCY

3.2.1. Transportation Costs on the Upgraded Road Segment

3.2.1.1. Method for Calculating Cost Factors

Transportation costs on the upgraded road section (C_{vt}) include: material costs, fuel costs, wages, social insurance, health insurance, unemployment insurance, labor union dues, Party activity funds, depreciation, and other costs. The general formula for calculating the transportation unit price is as follows:

$$C_{vt} = C_{vl} + C_{nl} + C_{tl} + C_{bh} + C_{kh} + C_{cpk} \text{ (VND/t.km)}$$

Where: C_{vl} - material costs; C_{nl} - fuel costs; C_{tl} - wages for direct labor, support staff, and workshop management; C_{bh} - social insurance, health

, trade union dues, and Party activities; C_{kh} - depreciation costs; C_{cpk} - other costs related to production in the workshop.

3.2.1.2. Material and Fuel Costs

Material and fuel costs are calculated using the formula: $C_{vl,nl}$ =

Quantity consumed × Unit price

- The quantity of materials and fuel consumed is calculated based on the variance from the standards issued by the Group, as specified in Section 3.1.

- The prices of materials and fuel are based on the prices in Quang Ninh as of the third quarter of 2022.

3.2.1.3. Wages, Social Insurance, Health Insurance, Unemployment Insurance, Labor Protection, and Labor Union Dues

Labor costs for workers included in the transportation unit price consist of wages and corresponding wage allowances based on the job grades of primary workers, secondary workers, support staff, and service personnel as required by technical specifications, as well as workshop management wages.

Social insurance, health insurance, and unemployment insurance are calculated based on wages as specified in Decision No. 246/QĐ-TKV issued on February 20, 2020. The insurance contribution rate included in the cost price is 23.5%. This includes: Social Insurance (BHXH): 17%, Health Insurance (BHYT): 3%, Work Injury Insurance (BH TNLĐ): 0.5%, and Unemployment Insurance (BHTN): 1%. Trade union dues: 2%. Party activity funds are calculated at 0.5
% of wages.

3.2.1.4. Depreciation Expenses (C_{kh})

Based on the provisions of Circular No. 45/2013/TT-BTC dated April 25, 2013, guiding the management, use, and depreciation of fixed assets, the average annual depreciation rate for fixed assets is determined and calculated per unit of product using the following formula:

$$\text{Average depreciation rate per unit of product} = \frac{\text{Original cost of the fixed asset}}{\text{Number of years of use} \times \text{number of products per year}}$$

The original cost of the asset used for depreciation is based on the Company's average price as of 2022.

3.2.1.5. Other expenses

(C_{cpk}) is calculated as a percentage of the direct costs listed above. See

Table 3.20 for the calculation results.

Table 3.20. Transportation costs on the rehabilitated road section

No.	Item	Unit	Unit Price	Standard	Transportation costs for route segments by distance			
					Entire Mine	A-A1	A-B-B2-C	A-A2
55–58-metric-ton trucks								
	Truck productivity in the complex	m^3/shift			202	146	232	184
		t.km/shift			3,023	3,149	3,824	3,033
		t.km/year			1,832,957	1,909,243	2,318,451	1,838,770
1	Materials				1,310	1,302	1,218	1,319
-	*Tire wear reduction rate*	*%*			*21.12*	*23.74*	*12.77*	*23.74*
-	*Tire wear*	*Bq/10³ t.km*			*0.0041*	*0.0041*	*0.0041*	*0.0042*
-	*Tires*	*Bq/10³ t.km*	*192,660,000*	*0.0042*	*791*	*799*	*787*	*801*
-	*Battery*	*set/10⁴hours*	*3,566,000*	*0.33*	*4*	*4*	*3*	*4*
-	*Lubricating oil*	*%*		*2.91*	*98*	*98*	*97*	*99*
-	*Engine Oil*	*%*		*0.22*	*7*	*7*	*7*	*7*
-	*Repair Parts*	*%*		*5.40*	*409*	*393*	*323*	*408*
2	Fuel consumption rate	%		6.31	0.1396	0.140	0.138	0.140
	Fuel	liters/metric ton-kilometer	24,180	0.140	3,376	3,384	3,348	3,385
3	Salary Grade 6/7	VND/km	488,372	1,506	243	234	192	243
4	Social Insurance, Health Insurance, Labor Union, Trade Union	per km	282,419	1,506	34	33	27	34
5	Depreciation expense	VND/km			947	909	748	944
6	Other expenses	VND/km	41,000	1.00	70	69	64	70
	Transportation cost	**VND/m³**			**89,458**	**127,542**	**92,128**	**98,651**
		VND/km			**5,980**	**5,930**	**5,598**	**5,994**

No.	Indicator	Unit	Unit Price	Rate	Transportation costs for route segments by distance			
					Entire Mine	A-A1	A-B-B2-C	A-A2
91–96-metric-ton trucks								
1	Truck productivity in the complex	m^3/shift			307	225	351	281
		t.km/shift			5,569	4,838	5,778	4,625
		t.km/year			3,376,300	2,933,010	3,502,979	2,804,057
1	Materials				1,202	1,251	1,182	1,268
-	*Tire wear reduction rate*	*%*			*21.12*	*23.74*	*12.77*	*23.74*
-	*Tire wear*	*Bq/10³ t.km*			*0.00245*	*0.00247*	*0.00243*	*0.00247*
-	*Tire*	*Bq/10³ t.km*	*352,000,000*	*0.0042*	*864*	*869*	*856*	*871*
-	*Battery*	*set/10⁴hours*	*3,566,000*	*0.33*	*2*	*3*	*2*	*3*
-	*Lubricating oil*	*%*		*2.91*	*45*	*45*	*44*	*45*
-	*Engine Oil*	*%*		*0.22*	*1*	*1*	*1*	*1*
-	*Repair Parts*	*%*		*5.40*	*290*	*333*	*279*	*349*
-	*Fuel consumption*			6.31	0.123	0.124	0.122	0.124
2	Fuel	liters/metric ton-kilometer	24,180	0.124	2,985	2,992	2,960	2,993
3	Salary Grade 6/7	VND/km	488,372	1,506	132	152	127	159
4	Social Insurance, Health Insurance, Labor Union, Trade Union	per km	282,419	1,506	19	21	18	22
5	Depreciation expense	VND/km			670	772	646	807
6	Other expenses	VND/km	41,000	1.00	54	57	54	58
	Transportation cost	**VND/m³**	**0.00**	**0.00**	**91,787**	**112,820**	**82,087**	**87,359**
		VND/km			**5,062**	**5,246**	**4,988**	**5,308**

3.2.2. Comparison of the renovated section and the current condition

3.2.2.1. Pavement Quality

After construction, pavement quality improved significantly in terms of the following parameters: smoothness, cross-slope, compaction, and rolling resistance; see Table 3.21 for details.

Table 3.21. Summary of road quality comparison before and after rehabilitation

No.	Parameter	Value	
		Before Construction	**After Construction**
1	Flatness	The road surface is typically uneven, with many potholes and ruts (depth 5–15 cm, width up to 5 m), and large stones exposed on the surface	The road surface is level, suitable for trucks operating on the road, with few areas of rutting.
2	Cross Transverse Slope	0–3%	3%
3	Compaction	Many localized areas have a CBR value of 50–70%; in some isolated areas, there are soft, subsiding sections with CBR = 30–40% and elastic modulus E < 130 MPa	CBR > 80%; elastic modulus E > 130 MPa
4	Rolling resistance	RR = 2.5–5.0%; in some areas, RR exceeds 10% after rain	RR = 2.0–2.5%

3.2.2.2. Traffic parameters

After construction under dry weather conditions, vehicle speeds increased by 8.5–17.7 %, depending on the vehicle type, with an average of 14.3%; fuel consumption for 55–58-metric-ton vehicles decreased by 6.31%, and for 91–96-metric-ton vehicles by 6.05%; transportation efficiency along the entire route increased by 1.80% for 55–58-metric-ton vehicles and by 1.73% for 91–96-metric-ton vehicles. See Table 3.22 for details.

Table 3.22. Summary of Comparative Transportation Parameters Before and After the Improvement Project

No.	Parameter	Unit	Value		
			Before Construction	**After construction**	**Difference, %**
1	Average speed	km/h	22.9–26.4	30.6–35.3	14.3
2	Fuel consumption (55–58 metric metric tons / 91–96 metric metric tons)	liters/10^3 metric tons-kilometers	156.1/166.2	133.3/142.3	6.31/6.05

3	Tire Wear Rate	BQ/1 trips	0.00276	0.00226	18.03
4	Transport capacity along the entire route (55–58 metric tons per vehicle / 91–96 metric tons)	m^3/shift	198.7/302.2	202.32/307.46	1.80/1.73

3.2.2.3. Transportation costs

1. Transportation unit price

Transportation costs before and after the renovation were calculated in the same manner as in Section 3.2.1. See Table 3.23 for the calculation results.

Table 3.23. Comparison of transportation costs before and after renovation

No.	Indicator	Unit	Unit Price	Standard Rate	Transportation Cost	
					Before construction	After construction
55–58-metric-ton truck						
1	Truck productivity in the complex	m³/shift			199	202
		t.km/shift			3,603	3,664
		t.km/year			2,184,674	2,221,659
2	Material				1,262	1,241
-	*Tire Wear Reduction Rate*	*%*				*21.12*
-	*Tire wear*	*Bq/10³ t.km*			*0.0042*	*0.0041*
-	*Tire tubes*	*Bq/10³ t.km*	*192,660,000*	*0.0042*	*809*	*795*
-	*Battery*	*set/10³hours*	*3,566,000*	*0.33*	*4*	*4*
-	*Lubricating oil*	*%*		*2.91*	*99*	*98*
-	*Engine oil*	*%*		*0.22*	*7*	*7*
-	*Repair Parts*	*%*		*5.40*	*343*	*337*
3	Fuel consumption rate	%		6.31	0.1404	0.1396
	Fuel	liters/metric ton-km	24,180	0.1404	3,395	3,376
4	Salary Grade 6/7	VND/km	488,372	1,506	204	201
5	Social Insurance, Health Insurance, Trade Union, Labor Union	per km	282,419	1,506	29	28
6	Depreciation expense	VND/km			794	781
7	Other expenses	VND/km	41,000	1.00	66	65
8	***Transportation cost***	***VND/m³***			**104,252**	**103,204**
		VND/t·km			**5,750**	**5,692**
91–96 metric tons						
1	Truck productivity in the complex	m³/shift			302	307
		t.km/shift			5,480	5,569
		t.km/year			3,322,258	3,376,300

No.	Indicator	Unit	Unit Price	Standard	Transportation Cost	
					Before construction	After construction
2	Materials				1,223	1,202
-	*Tire Wear Reduction Rate*	*%*				*21.12*
-	*Tire wear*	*Bq/10³ t.km*		*0.0025*	*0.0025*	*0.00245*
-	*Tire*	*Bq/10³ t.km*	*352,000,000*	*0.0025*	*880*	*864*
-	*Battery*	*set/10³hours*	*3,566,000*	*0.330*	*2*	*2*
-	*Lubricating oil*	*%*		*1.49*	*45*	*45*
-	*Engine oil*	*%*		*0.045*	*1*	*1*
-	*Repair Parts*	*%*		*5.40*	*294*	*290*
3	*Fuel consumption*			*6.31*		*0.123*
2	Fuel	liters/metric ton-kilometer	24,180	0.124	3,002	2,985
4	Grade 6/7 salary	VND/km	488,372	1,506	134	132
5	Social Insurance, Health Insurance, Trade Union, Labor Union	per km	282,419	1,506	19	19
6	Depreciation expense	VND/km			681	670
7	Other expenses	VND/km	41,000	1.0	55	54
8	***Transportation cost***	***VND/m³***			**92,723**	**91,787**
		VND/ton-km			**5,114**	**5,062**

The results in Table 3.23 show that, following the improvements, transportation costs along the entire route decreased by 66 VND/t.km for 55–58-metric-ton trucks and by 59 VND/t.km for 91–96-metric-ton trucks. The 2022 transportation volume for the Cao Son mine was 598 million t.km. Assuming the road surface is consistently maintained according to standard procedures and the rolling resistance is maintained at 2.0–2.5%, the savings in transportation costs over a 6-month period would amount to 18 billion VND.

2. Construction and Maintenance Costs

Construction and maintenance costs under the revised plan for road rehabilitation and quality improvement at the Cao Son coal mine are summarized in Table 3.24.

Table 3.24. Summary of Construction and Maintenance Costs

Section	Length, km	Area, m^2	Construction Cost, VND	Capital Expenditure, VND/m²	Maintenance cost (CPĐD-M portion, đ/m²/month

Section	Length, km	Area, m^2	Construction cost, VND	Initial investment, VND/m^2	Maintenance cost (CPĐD-M portion, đ/m^2 per month
A-A1	0.417	6,757	798,220,121	118,132	2,800
A-A2	0.275	4,686	1,912,443,594	408,119	
A-B	0.244	4,145	662,374,671	160,273	
B-B1	0.311	6,414	164,867,658	25,704	
B-B2	0.341	3,564	204,932,702	57,861	
B2-C	0.711	12,090	518,732,195	43,275	
Curbstone Installation			7,426,470		
Total	**2,299**	**37,656**	**4,268,997,410**		
Total construction and maintenance costs for 6 months, in VND					**4,901,547,410**

Thus, after deducting construction and maintenance costs, assuming the road is always maintained in accordance with standard procedures, the net profit from putting the renovated sections into use over 6 months is 13 billion VND.

CHAPTER 4. PROPOSED IMPLEMENTATION PLAN FOR APPLICATION THROUGHOUT TKV

4.1. TECHNICAL GUIDELINES FOR MINE ROAD REHABILITATION

Based on lessons learned during the construction and renovation of road sections and the effectiveness observed during use, to ensure the quality of all types of mine roads, the following solutions regarding technical guidelines for the design and construction of mine haulage roads are proposed:

4.1.1. Structural Solution:

4.1.1.1. Structural Design Principles Based on Mechanics:

The structure must be sufficiently load-bearing and easy to maintain. Accordingly, load-bearing capacity is demonstrated by ensuring that the vertical deformation at the roadbed crown is less than or equal to the allowable vertical deformation (Figure 4.1). Ease of maintenance is achieved through the design of the pavement surface layer thickness. This surface layer is not included in the structural design calculations for the roadbed.

4.1.1.2. Design Solution:

Based on the design philosophy outlined above, the proposed mine road pavement structure consists of two layers: **a maintenance layer/surface course** using CPDD-M and **a load-bearing layer/subbase** using CPDD-B or cement-stabilized soil/rock with stabilizing additives (Figure 4.1).

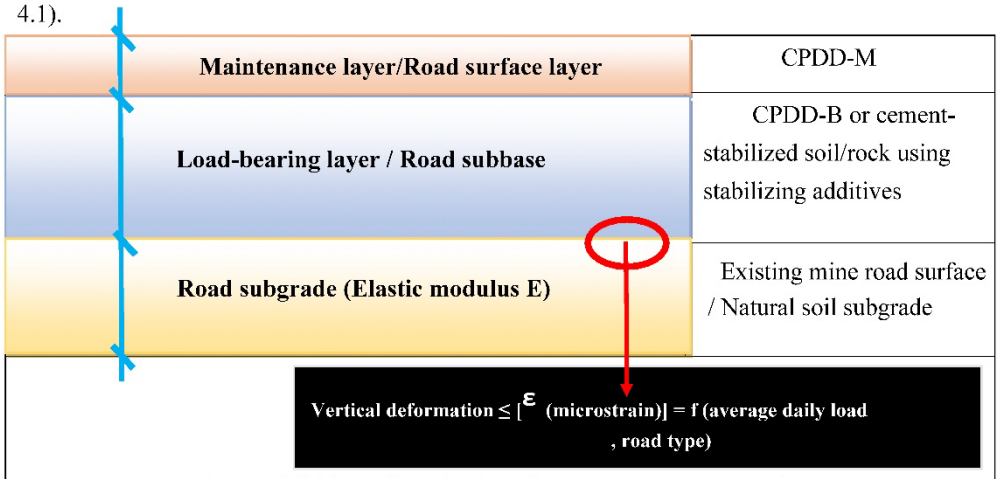


Figure 4.2. Typical road subgrade structure for mine roads.

- The maintenance layer ensures that the road surface remains in good condition, with low rolling resistance, allowing vehicles to travel safely, ensuring efficient transportation, and facilitating easy maintenance and repairs.

- The load-bearing layer protects the road subgrade from excessive deformation

in accordance with the design principles outlined above and to ensure that the maintenance layer performs its intended function within the road pavement structure.

The design of the structure essentially involves ***calculating the thickness*** of the two material layers mentioned above, where:

- ***The thickness of the maintenance layer*** is designed based on the following criteria:
  - For temporary roads: the average thickness is 100 mm
  - For semi-permanent/permanent roads: the average thickness is 200 mm

- ***The thickness of the load-bearing layer*** is calculated and designed based on mechanical principles using the specialized software CIRCLY 7.0 (Figure 4.3). This thickness depends on the elastic modulus E of the existing mine road surface or the natural subgrade; it also depends on the average daily traffic load on the mine road surface and the type of road (temporary, semi-permanent, permanent).

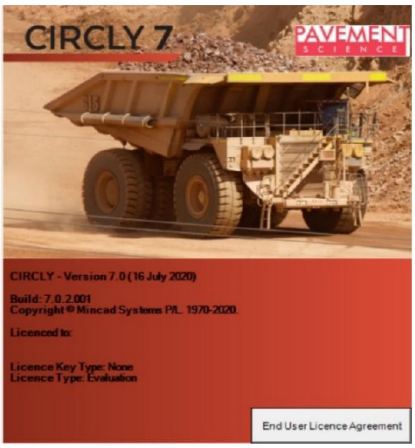


Figure 4.4. CIRCLY 7.0 software for design calculations of mine road subgrade structures

The actual thicknesses of the surface course and base course (calculated using CIRCLY 7.0) applied at the Cao Son coal mine are given in Table 4.1.

Table 4.1. Proposed road pavement structure

No.	Parameter	Unit	Values by Road Type		
			Fixed	Semi-fixed	Temporary
1	Elastic modulus (E) of the existing pavement	MPa	50–200		
3	Thickness of the CPDD-M surface layer	cm	20	10–20	10–15
4	Thickness of the cement-stabilized soil/rock subgrade layer	cm	0–25	-	
5	Thickness of the CPDD-B foundation layer	cm	25–50	25–60	25

A glance at Table 4.2 clearly shows that the thickness of the reinforced subgrade layer is much smaller than that of the CPDD-B subgrade layer (and is not significantly dependent on the elastic modulus of the existing mine road surface).

4.1.2. Material Solutions

4.1.2.1. Materials for the Surface Course

a. CPDD-M:

The primary surface layer material is ***CPDD-M***. This material is produced by crushing blasted rock waste extracted from large-diameter excavation faces with a maximum diameter (Dmax) of 40 mm (to prevent tire damage and facilitate maintenance).

To ensure the functions of the mine road surface (safety, user-friendliness, and minimization of damage), the CPDD-M surface layer material must meet the technical requirements specified in Table 4.3 below:

Table 4.4. Technical Requirements for CPDD-M Surface Course Materials

No.	Technical Specification	Technical Requirement	Test Method
1	Maximum particle size (mm)	40	AASHTO T27/TCVN 7572-2:2006
2	Grading coefficient (Gc)	20–35	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
3	Shrinkage product (Sp)	85–200	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006
4	Yield Strength (LL), %	17–24	AASHTO T89
5	Plastic limit (PL), %	12–17	AASHTO T90
6	Plasticity Index (PI)	4–8	AASHTO T89-90
7	Dust Ratio* (DR)	0.4–0.6	AASHTO T27
8	CBR at 98% AASHTO Mod	80	AASHTO T193/TCVN 12790: 2020
** The dust ratio is determined by:* $P_{0.075}/P_{0.425}$			

Additionally, for quarries located in areas with heavy rainfall, the percentage of particles passing through the 0.075 mm sieve should be limited to <10% to prevent muddiness during rain; conversely, in dry areas, this percentage should be >5% to prevent the pavement surface from becoming loose, flaking, or lacking cohesion.

Figure 4.4 below illustrates CPDD-M material meeting the technical requirements specified in Table 4.5, and Figure 4.5 illustrates the quality of the pavement surface using CPDD-M after proper compaction and construction in accordance with specifications.



Figure 4.5. CPDD-M meets standards



Figure 4.6. CPDD-M Pavement Meets Standards

b. Dust-suppressing additive

This is a liquid, polymer-based material that binds soil particles and aggregates on the road surface to prevent the dispersion of fine, small particles into the air. Additionally, the dust-suppressing additive binds soil and rock particles with a rubber-like film, providing the road surface with a waterproof, durable, and resilient layer (Figure 4.6)



Figure 4.6. Application of dust-suppressing additive at the Cao Son quarry

c. Lessons learned from the practical application of CPDD-M at the Cao Son quarry:

Although CPDD-M was produced to meet the standards specified in Table 4.6, the road surface is highly prone to becoming muddy during heavy rain or prolonged light rain over several days. This is partly due to the high water absorption of the crushed stone used in CPDD-M, and partly due to the lack of a surface drainage system for the road, as well as the absence of or inadequate design of roadside ditches, cross slopes, and longitudinal slopes to ensure proper drainage. To address this, one of the following methods or a combination thereof may be used:

- Apply a dust-suppressing additive with particle-binding properties directly to the surface of the CPDD-M layer. The application of the dust-suppressing additive must be performed using a specialized scraper, as shown in Figure 4.7; the scraper teeth of a grader must not be used.



Figure 4.7. Scraper teeth and the road surface after scraping, prior to applying the dust-suppressing additive

- Remove soft, weathered particles, as well as soil and clay particles, from the CPDD-M mixture, and limit the percentage of particles passing through a 0.075 mm sieve to less than 10%.
- In the case of coal mines in Quang Ninh Province that are frequently affected by storms and heavy rainfall, cement reinforcement of the surface layer may be considered for important fixed and semi-fixed road sections. Cement reinforcement must use Geostab-type polymer admixtures to prevent water from penetrating the CPDD-M mixture as well as seeping into the underlying subgrade. The compressive strength at 7 days of the cement-stabilized soil/rock mixture must reach a minimum of 1.5 MPa.
- Design the drainage system in coordination with the road subbase structure design.

4.1.2.2. Subbase Material

The subbase material is CPDD-B or cement-stabilized soil/aggregate using Geostab stabilizing admixture.

a. CPDD-B

CPDD-B material is selected from blast waste rock from the quarry; the main quality specifications for the CPDD-B layer are as follows: Dmax = 200–300 mm, with no more than 20% of particles passing through a 2-mm sieve; other specifications are presented in Table 4.7.

Table 4.7. Required physical and mechanical properties of CPĐD-B material

No.	Technical Specification	Technical Requirement	Test Method
1	2 mm sieve loss, %	< 20 %	AASHTO T27/TCVN 7572-2:2006
2	Bulk density, g/cm^3	≥ 2	AASHTO T85/TCVN 7572-4:2006
3	Axial compressive strength with lateral expansion, MPa	≥ 50	TCVN 7572-10: 2006
4	Los Angeles Abrasion Index, %	< 30 %	AASHTO T96/ TCVN 7572-12:2006
5	Glass Diameter nominal diameter , , Dmax	< 2/3 of the applied layer thickness, [200÷300] mm	AASHTO T27/TCVN 7572-2: 2006

Figure 4.6 below illustrates that CPDD-B material meets the technical requirements specified in Table 4.8, and Figure 4.8 illustrates CPDD-B used as a road subbase layer placed directly on the road subgrade and immediately beneath the CPDD-M surface course.



Figure 4.9. CPDD-B used as the load-bearing layer/subbase for a mine access road

b. Cement-stabilized soil/rock using Geostab admixture

Soil/aggregate used in mixtures reinforced with cement and Geostab admixture must have a Dmax of 40 mm. If soil is used, it should preferably be of the A1–A3 type according to the

of AASHTO M145. If rock is used, it must be crushed from blasted rock waste to a size of ≤ 40 mm to be suitable for the production of cement-stabilized rock (Figure 4.9).

The 7-day compressive strength of the cement-stabilized soil/rock mixture must be at least 4.0 MPa.



A1 soil at an elevation of +200 at the Cao Son quarry



CPDD-M produced at the Cao Son quarry



PCB 30 cement



Geostab polymer admixture



Cement-reinforced soil/rock & Geostab

Figure 4.9. Constituent materials of the cement- and Geostab-reinforced soil/rock mixture.

Some mechanisms of soil/rock reinforcement by Geostab additive.

- "Rubberband" mechanism: In addition to being bound by hydraulic bonds (due to cement hydration), soil/rock particles and/or cement particles are also enveloped and bound by a latex rubber-like film formed from the Geostab material

(Figure 4.10). This is the basis for the formation of highly flexible soil/rock-cement materials that resist cracking and water penetration due to the formation of monolithic concrete slabs.

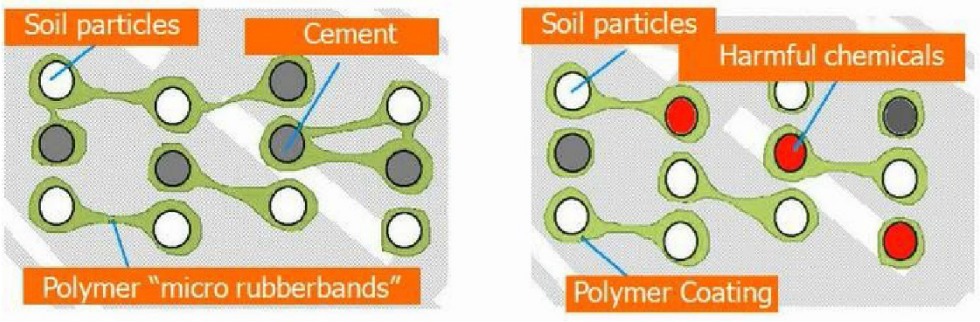


Figure 4.10. A rubber band-like membrane covering and binding soil/rock particles and/or cement particles

- The "water storage" mechanism of the Geostab additive during curing prevents the soil/aggregate-cement mixture from losing water through evaporation at high temperatures. As a result, the cement-stabilized soil/aggregate mass always retains sufficient water for cement hydration reactions to occur, facilitating the development of strength both immediately and over the long term. Furthermore, thanks to Geostab's water-retention capability, the cement-stabilized soil/rock mass minimizes the formation of cracks caused by shrinkage during the curing process. This helps prevent water infiltration through these cracks.

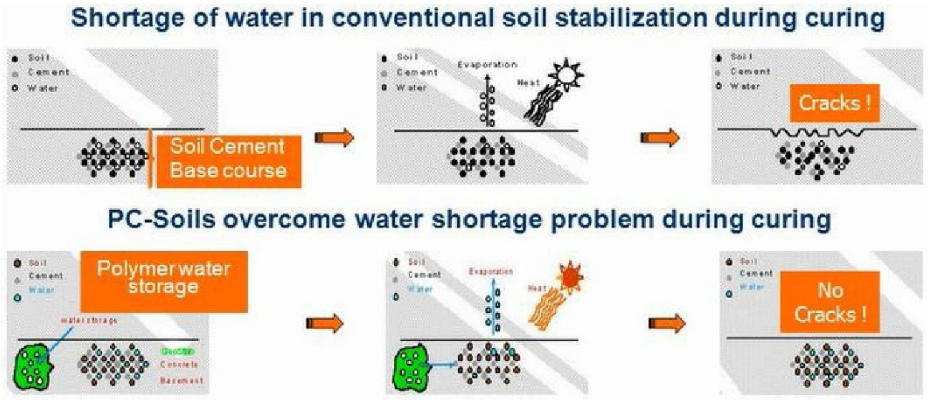


Figure 4.11. Water retention capacity during the curing process of Geostab helps prevent the soil-cement/rock mass from cracking due to shrinkage.

- The "micro-pores" formed within the cement-stabilized soil/rock mass help prevent water from seeping into or leaking out of the mixture due to capillary action. This mechanism allows the cement-stabilized soil/rock layers and Geostab additive to limit water seepage and infiltration both from above and below.

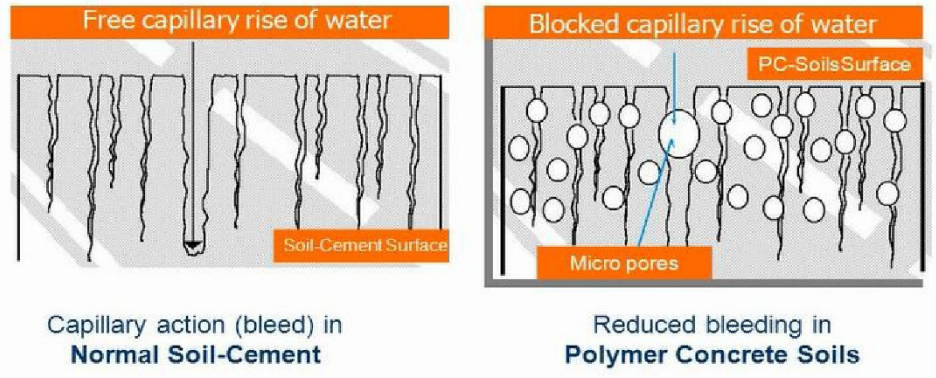


Figure 4.12. Micro-pores prevent water from seeping out or penetrating the geostab-reinforced soil-cement mixture.

Through the mechanisms described above, the soil/rock mixture reinforced with cement and Geostab additive, after a curing period (approximately 2–4 hours), will form monolithic concrete slabs that possess both strength and flexibility, making them suitable for use as mine road surfaces. This ensures load-bearing capacity as well as the ability to prevent water infiltration into both the reinforced soil/rock mass itself and the underlying layers of loose granular material. This helps extend the road's service life, minimize damage related to the road's functionality, and reduce rolling resistance.

c. Lessons learned from the practical application of CPDD-B and cement-stabilized soil/rock with Geostab additive at the Cao Son mine:

c.1. CPDD-B:

- Selecting blast rock with Dmax = [200–300] mm in large quantities is relatively difficult because the Cao Son coal mine is not equipped with a jaw crusher.

- The selection also relies on the engineer's subjective observations and judgment, making it very difficult to ensure the quality of this selection, which leads to difficulties in compaction and foundation layer construction, thereby making it very difficult to ensure quality. Additionally, the Cao Son coal mine is located in a region with heavy rainfall and high intensity, causing the CPDD-B subgrade—which is inherently a loose material—combined with inadequate compaction (due to oversized particle sizes > Dmax)—to be easily penetrated by water seeping down from above

as well as from below. Consequently, the CPDD-B will degrade very quickly, losing its strength and causing the road surface to experience heaving, unevenness, potholes, ruts, and tire track subsidence.

- Equipment suitable for compacting large-sized aggregates with a Dmax of up to 300 mm is currently lacking and not readily available in Vietnam. Experience in constructing with this type of material is still limited and insufficient.

- The use of CPDD-B at the Cao Son coal mine should be limited to temporary roads and locations where load-bearing conditions are not overly complex.

c.1.2. Cement-stabilized soil/rock and Geostab admixture.

- Soil and rock for reinforcement are readily available at the Cao Son coal mine (Figure 4.7). However, on the existing road surface, although these types of soil and rock are present, they are heavily mixed with oversized rocks that significantly exceed the Dmax value of 40 mm. Therefore, to proceed with construction, it is necessary to spread a layer of soil or rock with a minimum thickness of 20 cm over the existing road surface. Note that any unevenness must be leveled before spreading.

- Practical application on the 275-meter-long AA2 road section—a highly complex load-bearing section, particularly the section before the rock feed inlet to the crushing plant—demonstrates that soil/rock reinforced with cement and Geostab admixture possesses load-bearing capacity, although some sections did not meet expectations. To improve load-bearing capacity, it is essential to design a drainage system for the entire road surface. Additionally, the aggregate gradation can be improved by adopting the TCVN 8858:2022 standard, which calls for a higher proportion of coarse particles.

- Construction is simpler compared to CPDD-B due to the thinner placement thickness, as well as more standardized construction equipment that is readily available in Vietnam. There are contractors with extensive experience in using and operating this construction line, such as Infrasol.

- Scope of application: Cement-stabilized soil/aggregate mixed with Geostab admixture exhibits high plasticity due to Geostab's rubber-like membrane mechanism, thereby providing excellent crack resistance and preventing water infiltration that could damage the subgrade structure. Therefore, this material should be used on critical sections of rigid and semi-rigid roads, as well as in areas subject to complex loading conditions such as U-turns, curves, and locations where trucks unload rock at crushing plants.

- The advantage of cement-stabilized soil/rock combined with Geostab additives over CPDD-B lies in its water resistance, which creates a layer that acts as a waterproof barrier preventing water from seeping into the roadbed. This provides a significant advantage when

Construction at mines located in areas frequently affected by storms and prolonged heavy rains. Additionally, for mines with limited rock reserves where the overburden consists primarily of soil (e.g., bauxite mines), it is reasonable to construct the foundation using soil reinforced with cement and Geostab additives, ensuring continuous mining operations throughout the year, even during the rainy season.

4.1.3. Solutions for Construction and Construction Equipment.

4.1.3.1. Construction Solutions

a. Ensure Road Surface Drainage

- Clear the drainage system to ensure all surface water is drained before constructing the subgrade and pavement; maintain the dimensions of the ditches both during and after construction by dredging them regularly after each rain, especially before the rainy season;

- Ensure that the CPĐD-M road surface has a 3% cross-slope to direct water toward both sides of the longitudinal ditches; transition points with a 0% cross-slope must be located on sections with a longitudinal slope of ≥ 2%. The cross-slope is formed during the road base construction process and must meet design specifications before the aggregate layers are laid;

- The area outside the wheel track to the edge of the ditch must be reinforced with blasted rock from the quarry. The reinforced shoulder must have a slope of 3–6% toward the longitudinal ditch.

b. Ensure the flatness, strength, and settlement of the subbase layer immediately beneath the CPĐD-M

- To minimize localized weak areas and the need for supplementary filling in cases where the existing road surface is uneven or bumpy due to inadequate aggregate quality—such as the presence of large stones—it is essential to level and grade the existing road subgrade before constructing the aggregate layers. Leveling is performed using CPĐD-B (Figure 4.13), which consists of blasted rock from which oversized boulders (≥ 200 mm) have been removed.

- If the road surface is still undergoing settlement due to recent construction or contains numerous oversized rocks on the surface, absolutely no CPĐD layers may be installed.

- For CPĐD-M with D_{max}= 40 mm, install in two layers, with each layer's thickness not exceeding 150 mm. Compact firmly to a density of K98 and a CBR value of ≥ 80%.



Figure 4.13. Construction of the leveling and load-bearing layer using CPDD-B (Actual photo from the Cao Son mine)

- Use a tracked bulldozer to grade and perform preliminary compaction of CPĐD-B, followed by compaction with a steel-wheeled roller. If using a steel-wheeled vibratory roller weighing < 20 metric tons, only CPĐD-B layers with a thickness < 150 mm may be constructed. If using a steel-wheeled vibratory roller weighing > 23 metric tons, the construction thickness of CPĐD-B must be < 200 mm. Compaction of this type of CPĐD-B does not require wetting (dry compaction). Number of passes: until no deformation marks are visible.

Additionally, mine haul trucks or tracked bulldozers can be used for compaction by having them drive over the surface after preliminary compaction. However, in all cases, a steel-wheeled vibratory roller weighing >23 metric tons should be used to thoroughly compact CPĐD-B with Dmax = [200–300] mm, typically equal to two-thirds of the layer thickness.

4.1.3.2. Solutions for Construction Equipment

a. Rock crushers:

These include jaw crushers and impact or cone crushers. Jaw crushers are used to produce CPDD-B, while impact or cone crushers are used to produce CPDD-M.

For quarries where the primary material consists of large boulders, rock crushers are essential to produce a mixture with a full range of particle sizes and a Dmax that is not too large, ensuring ease of compaction. Additionally, rock crushers produce a mixture with a Dmax =40 mm, suitable for a vehicle-friendly road surface layer.

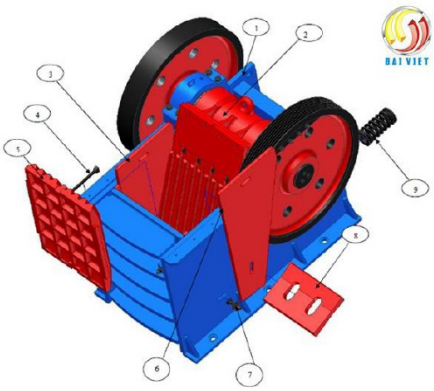


Figure 4.14. Jaw crusher



Figure 4.15. Impact/cone crusher

b. 23-metric-ton steel-wheeled vibratory roller

To compact the aggregate mix with Dmax = [200–300] mm, a 23-metric-ton steel-wheeled vibratory roller is required. The CPDD-B mixture can be preliminarily compacted using a steel-wheeled bulldozer available at the quarry.



Figure 4.16. Tracked bulldozer at the Cao Son mine



Figure 4.17. Steel-wheeled vibratory roller

c. Vehicles for cement-stabilized soil/rock and stabilizing additives.

For mines where the mined strata consist primarily of soil, a surface layer and subgrade made of cement-stabilized soil are appropriate. To construct mine roads using stabilized materials, it is necessary to equip the site with a set of construction equipment for in-situ soil stabilization (Figure 4.18). The main component of this system is the compaction machine, equipped with a rake drum and rake teeth that mix the soil/rock on the existing road surface with cement. Subsequently, water mixed with additives is sprayed into the rake drum through a

separate pipe. Immediately following this are the preliminary roller, heavy roller, and finishing roller to complete the road surface. Additionally, a cement spreader precedes the compaction machine.

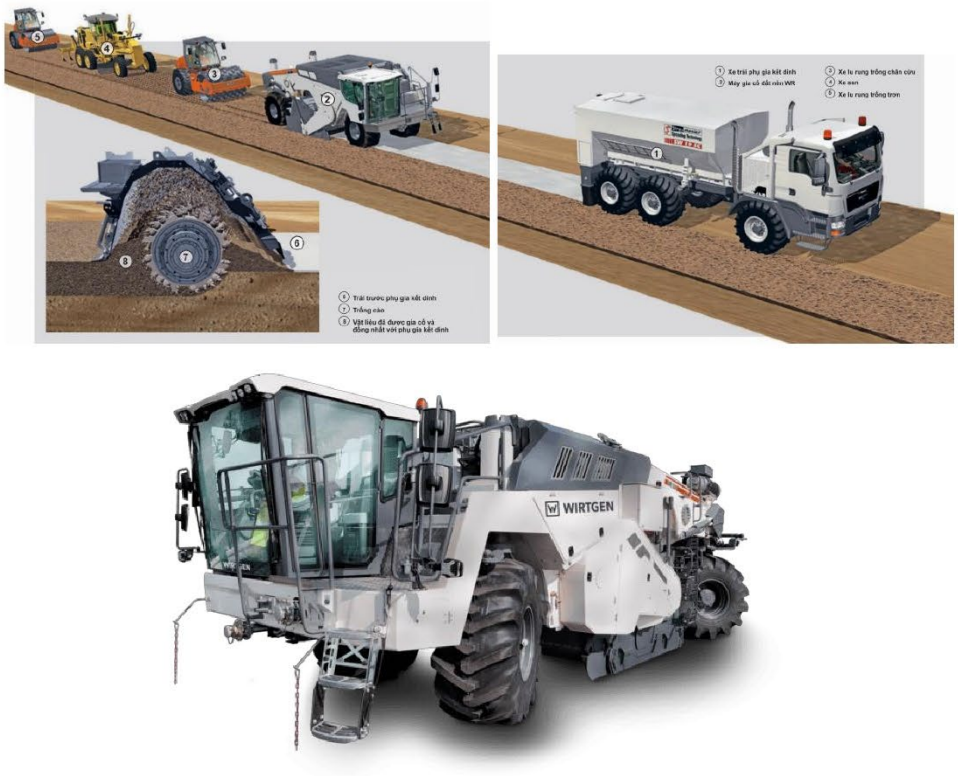


Figure 4.19. Construction equipment for cement-stabilized soil/rock with Geostab admixture



Figure 4.20. Infrasol's Wirtgen 240 stabilizer on the AA2 construction site

d. Rake equipment.

This equipment is used for pavement maintenance, particularly for spraying dust-suppressing additives.



Figure 4.21. Rake equipment used for maintenance

4.1.4. Road Surface Maintenance Solutions

To maintain pavement quality, maintenance must be performed immediately after construction is completed and the road is put into service. The maintenance process includes the following steps:

4.1.4.1. Assess damage based on the DS functional score and determine the maintenance frequency.

a. Assessing damage based on the functional score

The types of damage to be assessed include: potholes, rutting, wheel ruts, material spalling, coarse aggregate, dust, longitudinal cracks, shear cracks, alligator cracking, and dry and wet skid resistance. These defects are assessed by calculating the total defect score using the formula in Table 1.11. After calculating the DS score, compare it to the threshold values of 130 and 60:

- If any of the above types of damage exceed the maximum damage threshold [DSmax] or if DS > 130, maintenance must be performed immediately.

- If 60 < DS < 130 or one or more DS scores exceed [DS_{max}], maintenance must be performed immediately, but the road may still be open to traffic.

- If DS < 60 but one or more DS scores exceed [DS_{max}],

immediate maintenance, even though vehicles are still permitted to travel on the road.

Note: Since the functional characteristics of the road are closely related to drainage capacity and surface erosion of the pavement, in cases of poor drainage and erosion, specific measures must be taken to address and repair these two characteristics.

b. Determine the maintenance frequency based on rolling resistance (RR).

Determine the maintenance frequency based on the principle of minimizing road usage costs. The steps for determining the maintenance frequency are detailed in Section 1.7.2.

Figure 4.21 illustrates the maintenance frequency for road segments AA1, AA2, and BB2. Accordingly, the maintenance frequency for road segment AA1 is 3 days; for AA2 and BB2, it is 1 day.

In the event of rain or if any of the 11 types of damage have a DS value greater than [DSmax], maintenance must be performed immediately as specified in section a above, regardless of the maintenance frequency determined above.

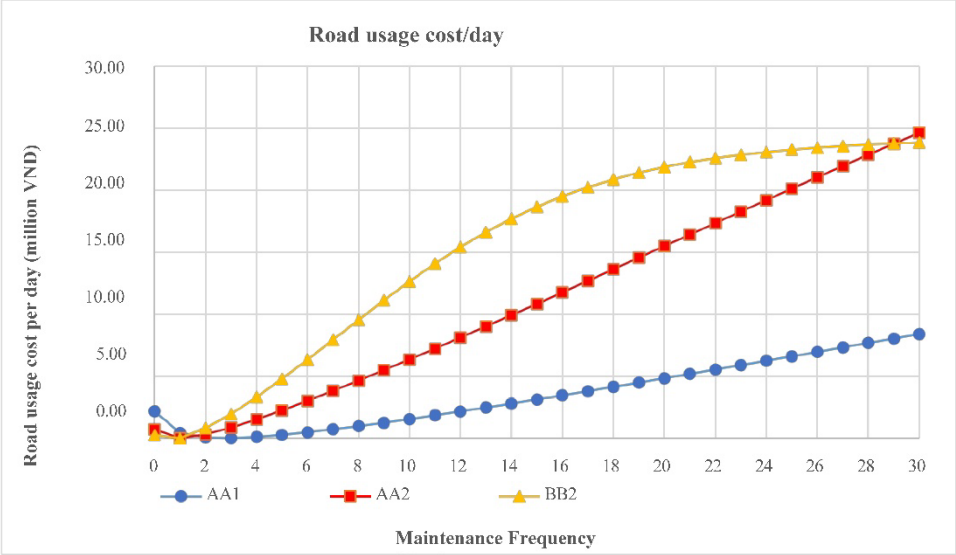


Figure 4.22. Determining maintenance frequency for road segments

4.1.4.2. Performing maintenance

a. Maintenance by spreading and compacting CPDD-M

In cases where the road subbase structure exhibits structural defects such as heaving, unevenness, rutting, potholes, ruts, tire track ruts, or localized subsidence, a survey must be conducted using DCP or LWD to determine the CBR or elastic modulus E. If

the CBR values are <80 or E < 150 MPa, the weak material layer must be excavated and removed, and replaced with CPDD-M material or another material such that, after compaction, CBR > 80 and E > 150 MPa. If necessary, the structure must be recalculated using CIRLY 7.0 software, with CPDD-B material used as the subgrade layer. Conversely, if none of the aforementioned damage is present, maintenance should be performed by spreading and compacting CPDD-M material in the following sequence:

1. Material preparation:

+ For road sections undergoing rehabilitation where the volume of CPDD-M used for maintenance is not large (5,000–7,000 m^3/year), the material may be sourced from blasted rock and soil at the mine. When applying this method extensively across the entire mine and other TKV mines in the region, consider investing in a crushing and screening system to ensure a stable supply of materials for long-term construction and maintenance.

2. Equipment System for Maintenance Work

To carry out maintenance work, the following equipment is required: an excavator with a bucket capacity (E) of 1 $m^3$for loading CPĐD-M and dredging ditches; a wheeled grader with scraper teeth for spreading the aggregate mix; and a water truck (to ensure the required moisture content during compaction). Self-propelled vibratory roller—static weight 23 metric tons—for compacting the aggregate mix.

b. Maintenance is performed using a grader.

Perform this maintenance for defects such as dry skidding, wet skidding, loose pavement, and spalling.

c. Dust suppression spraying maintenance.

Perform this maintenance for damage such as dusty road surfaces during dry, sunny weather or muddy, wet conditions during rain.

4.2. APPLICABILITY ON PERMANENT, SEMI-PERMANENT, AND TEMPORARY ROADS

4.2.1. For permanent road sections

The subgrade of permanent roads is typically well-stabilized after prolonged use; therefore, repairs to the surface and base layers will be carried out using the following specific solutions:

For routes with high traffic volume, on curves where vehicles turn, at locations where vehicles unload waste rock into the crushing plant, and where drainage is poor but the existing road surface is flat (with only damage involving large rocks, material spalling, and no undulations, rutting, or potholes), a layer of CPĐD shall be laid, reinforced with cement and the geostab polymer additive, with a finished elastic modulus E (measured using an

LWD) ≥ 250 MPa, with a thickness of 20–25 cm. The compressive strength, Rn, at 7 days of age, as determined in the laboratory, reaches 4.0 MPa. On top of the cement-reinforced CPDD-M layer, spread and compact a layer of cement-reinforced soil/aggregate with a thickness of 10–15 cm and Geostab additive, with Rn at 7 days reaching 1.5 MPa and E-LWD ≥ 200 MPa, to serve as the road surface or maintenance layer. If the road surface drains well and does not become slippery or muddy when wet, replace the cement-stabilized soil/aggregate layer with Geostab additive with an unreinforced CPDD-M layer 20 cm thick.

For existing road surfaces that are uneven, have significant settlement variations, or have localized weak spots, such as muddy areas, rubber deposits, potholes, ruts, significant heaving or settlement (> 10 cm), or poor drainage, localized treatment is required by excavating the material at the weak point to a depth of approximately 50–60 cm or to the design depth specified by the CIRLY 7.0 software, then backfilling with CPĐD-B to a thickness corresponding to the excavation depth. Next, lay a 20–25 cm thick layer of CPĐD-M reinforced with cement and Geostab polymer admixture to form a layer that prevents water penetration from the surface downward and has an E value (measured using LWD equipment) ≥ 250 MPa, serving as the surface layer or maintenance layer. If the road surface drains well and is not slippery or muddy when wet, replace the CPDD-M layer reinforced with cement and Geostab additive with an unreinforced CPDD-M layer 20 cm thick.

4.2.2. For semi-permanent sections

When the existing road surface is relatively flat and has good drainage (elastic modulus E ≥ 150 MPa or CBR index ≥ 80% with a cross-slope of 2–4%), simply place the CPDD-M directly to a thickness of 20–25 cm. The CPDD-M is divided into two layers, each with a thickness of 10–15 cm, for construction. Use a grader to evenly spread the material, and a roller with a load capacity of ≥ 23 metric tons to compact it firmly, with the number of passes calculated until no deformation appears on the road surface or the compaction quality specified in Figure 4.22b is achieved. During compaction, control the material moisture content within the optimal moisture range of ±2%.

If the existing road surface has defects such as heaving, unevenness, potholes, or standing water, the existing road surface must be repaired to prevent potholes, subsidence, or deep rutting (> 10 cm). The specific solution is to remove the subsided areas to the design depth (determined using CIRLY 7.0 software) and replace them with compacted CPĐD-B material. Flatness and cross-slope issues are corrected by spreading a layer of CPĐD-B with a thickness corresponding to the design depth, divided into 1 to 3 layers for construction. After the compaction of the CPĐD-B layer has stabilized, proceed to lay a layer of CPĐD-M with a thickness of 20–25 cm, grade and compact it with a steel-wheel vibratory roller ≥ 23 metric tons until

any deformation is visible or the surface of the layer achieves the quality level illustrated in Figure 4.22b. During compaction, monitor the material moisture content to maintain it within ±2% of the optimal moisture content.

4.2.3. For temporary road sections

A key characteristic of this road system is that it will be replaced after approximately 4 to 6 months, and no later than 1 year, as the mine expands deeper. To accommodate this characteristic, the technical solution is as follows:

The road base is scraped, crushed in place, or covered with a single layer of CPĐD-B at the design thickness; it is then graded and preliminarily compacted using a grader and a steel-wheel vibratory roller weighing ≥ 23 metric tons without moisture addition, with 7 to 10 passes. Additionally, a bulldozer weighing >45 metric tons and with 300 kW (D9 bulldozer) can be used for preliminary compaction; final compaction is performed using a similar roller with 10 to 15 passes, or a mining truck can be used to reinforce the subgrade for 1 to 3 days, depending on traffic volume. After the subbase has stabilized, spread a layer of CPĐD-M with a thickness of 10–15 cm and compact it firmly using a steel-wheeled vibratory roller weighing ≥ 23 metric tons until no deformation is observed or the surface quality meets the standard illustrated in Figure 4.22b. During compaction, control the material moisture content within ±2% of the optimal moisture content.

4.3. IMPLEMENTATION PLAN AT TKV MINES

Currently, most of TKV's open-pit mines have invested in graders to construct and maintain roads using traditional technology, which involves spreading and grading blasted rock and soil and compacting it using the mine's own transport vehicles. The Sin Quyền copper mine, however, has invested in a rock crushing plant and a roller to construct and repair roads. Based on the construction results of the road quality improvement plan at the Cao Son coal mine and the road quality at the Sin Quyền mine, the following implementation plan is proposed for large open-pit mines under TKV:

For copper mines: The construction and maintenance of roads using a combination of a crushing plant, graders, and rollers at the Sin Quyền Copper Mine has demonstrated that this technology is well-suited to the mine's natural and technical characteristics, resulting in a marked improvement in road surface quality. Therefore, it can be implemented at the Tả Phời Copper Mine on a similar scale. However, for road sections with poor drainage and subject to frequent water exposure, the method of soil/rock stabilization using cement and Geostab additives from Infrasol—as applied on Section AA2 of the Cao Sơn coal mine—may be considered for implementation. To ensure the overall quality of the road network at the copper mines, the solutions proposed in Section 4.1 should be considered.

for mine road rehabilitation plans, which include structural design solutions, material solutions, construction and equipment solutions, and maintenance solutions.

For bauxite mines or mines where the overburden consists primarily of soil, and where the road surface is significantly affected by water and severe mud during the rainy season, the soil stabilization technology using cement and Geostab additives—implemented on Section AA2 at the Cao Son Mine by Infrasol—is a suitable solution to address the issue, allowing for continued mining operations during the rainy months. Similar to the copper mines mentioned above, to ensure consistent road surface quality across the mine's road network, the solutions outlined in Section 4.1 should be considered.

For the open-pit coal mines in the Cam Pha region—where the strata being stripped consist primarily of rock and the roads have historically been constructed using blasted rock waste that does not follow proper gradation standards— with a Dmax significantly larger than the specified Dmax of [200–300] mm for the subbase layer and Dmax = 40 mm for the surface layer, and these layers have not been compacted to the required standards. In particular, the Cam Pha region experiences major storms annually, with heavy rainfall and high intensity. Combined with practical experience from the 2.3-km pilot construction section at the Cao Son coal mine and the statistical data below (Table 4.9)—the total length of all road types is approximately 150 km, of which the majority (74%) are temporary roads, while permanent roads account for only about 10 %, with the remainder being semi-permanent roads (15%). The proposed solution here is the one outlined in Section 4.1. In particular, the following issues should be noted:

- Invest in a rock crushing plant, including a jaw crusher to produce large volumes of CPDD-B and an impact/cone crusher to produce CPDD-M

- Invest in steel-wheeled vibratory rollers weighing over 23 metric tons to compact the CPDD-B and CPDD-M layers.

- The design of the road subbase structure must use CIRCLY7.0 software to accurately calculate the appropriate thickness of the CPDD-B layer

- For sections of fixed or semi-fixed roads with high traffic volume and complex load conditions (such as curves, U-turns, and parking areas for unloading waste rock at the crushing plant, etc.), particularly in areas with poor drainage where even light rain can easily cause mud, slush, and slippery conditions,it is necessary to apply soil/rock stabilization technology using cement and Geostab admixtures to enhance strength and water stability, as implemented on Section AA2 at the Cao Son quarry with a slight modification to increase the coarse-grained fraction content in compliance with the CPDD Dmax40 specification of TCVN 8858:2022.

- Consider using dust-suppressing additive technology that both suppresses dust and hardens

to partially remove the dust layer on the road surface, creating a water-blocking layer that limits water seepage into the underlying road base structure.

Table 4.10. Summary of Road Construction and Maintenance Volumes at Open-Pit Mines in the Cam Pha Region

No.	Mine Name	Parameter	Unit	Road Type			
				Temporary Road	Semi-permanent road	Permanent road	Total
1	Nai Pass	Total length	km	35.0	7.5	4.2	***46.7***
		Construction volume of CPĐD-M road pavement	m^3	60,000	32,000	18,000	***110,000***
		Volume Volume Foundation construction CPĐD-B	m^3	149,000	51,000	29,000	***229,000***
		CPĐD-M maintenance volume	m^3/year	144,000	93,000	75,000	***312,000***
2	Cao Son	Total length	km	43.5	8.5	7.3	***59.3***
		Construction volume of CPĐD-M road pavement	m	74,000	37,000	32,000	***143,000***
		Volume Volume Foundation construction for CPĐD-B	m	185,000	58,000	50,000	***293,000***
		CPĐD-M maintenance volume	m^3/year	178,000	107,000	132,000	***417,000***
3	Pile Six	Total length	km	32.5	8.0	3.2	***43.7***
		Construction volume of CPĐD-M road pavement	m	56,000	34,000	14,000	***104,000***
		Volume Volume Foundation construction for CPĐD-B	m	139,000	55,000	22,000	***216,000***
		CPĐD-M maintenance volume	m^3/year	135,000	98,000	58,000	***291,000***
	Cẩm Phả Open-Pit Mine Complex	*Total length*	*km*	*111.0*	*24.0*	*14.7*	**149.7**
		Construction volume of CPĐD-M road pavement	m^3	*190,000*	*103,000*	*64,000*	**357,000**
		Volume Volume Foundation construction CPĐD-B	m^3	*473,000*	*164,000*	*101,000*	**738,000**
		CPĐD-M maintenance volume	m^3/year	*457,000*	*298,000*	*265,000*	**1,020,000**

- Cement-based soil/rock stabilization technology using Geostab additives is a new

technology that requires state-of-the-art construction equipment and a high degree of automation

Highly specialized equipment, particularly the mixing machine, must ensure that soil and rock are thoroughly mixed with cement inside the mixing drum through the rake system and drum rotation speed. Additionally, the machine must be capable of moving while spraying water mixed with additives into the mixing drum to maintain the optimal moisture content specified in the design. Furthermore, this technology requires engineers to possess the necessary qualifications, capabilities, and experience. Therefore, to ensure the success of this technology in mine road projects, it is essential to engage contractors who meet the aforementioned requirements regarding machinery, personnel, capabilities, and experience.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The Vinacomin Institute of Mining Science and Technology, in collaboration with Cao Son Coal Joint Stock Company – TKV, monitored the entire process—from preparation and construction to acceptance and commissioning—of the Plan in accordance with the approved outline. The monitoring and evaluation of the Plan led to the following conclusions:

1. Road surfaces constructed and maintained using technology that involves spreading a layer of selected rock and soil from blasted rock at the mine often experience damage such as potholes and exposed large rocks during use, leading to reduced productivity and increased tire wear. Rolling resistance ranges from 2.5 to 4%, with an average of 3.25%; after heavy rain, rolling resistance in some areas can reach 4 to 5%. The elastic modulus is mostly <85 MPa, and the CBR index is <30%. When driving on these road sections under dry conditions, the average vehicle speed meets or exceeds the standard. However, during heavy rain, when the road surface becomes muddy, vehicle speeds reach only 60–70% of the standard.

2. Results of the Construction Process: In the initial phase, due to the impact of certain adverse external factors—such as weather (prolonged heavy rain) and the COVID-19 pandemic—as well as internal factors like an uneven site handover that required leveling with CPĐD-M, the progress and construction quality in the early stages did not meet design requirements. After completion, acceptance, and commissioning, the road's dimensional specifications and quality met design requirements. Specifically, the road width in many areas—such as the intersections at Points A and B—was actually 1 to 3 meters wider than the design specifications.

3. Effectiveness of the Solution:

- Regarding road quality in terms of service life: Upon completion, the quality parameters met the design specifications. However, during operation, Cao Son Coal Company conducted maintenance using traditional methods. With this technology, the road surface quality on sections with low traffic density was maintained for over 2 months, while in many areas with high traffic volume, it lasted less than 1 month, averaging 1 month.

- Regarding technical efficiency, evaluation results show that the average speed on the rehabilitated road sections (A-A1, A-B-B2-C) increased by 14.3%. As for efficiency in terms of fuel consumption, tires, and replacement parts, monitoring and evaluation faced significant challenges. Therefore, the implementation team used calculation methods based on TKV's standards and the proven experience of scientists worldwide. The calculation results show that, following the improvement work, the average fuel consumption along the entire route decreased by 1.55% for 55–58-metric-ton trucks and by 1.60% for 91–96-metric-ton trucks. Tire wear along the entire route decreased by an average of 2.20%. Truck productivity along the entire route increased by 1.15–1.2%.

- In terms of economic efficiency: after the improvements, transportation costs along the entire route decreased

103.5 đ/t.km for 55–58-metric-ton trucks and 98.6 đ/t.km for 91–96-metric-ton trucks. If the road surface is consistently maintained according to standard procedures, the profit generated from putting the upgraded sections into use for one month is 0.6 billion VND.

4. Implementation plan at the mines:

- Regarding structural design: It is essential to use specialized software for designing mine road pavements. Currently, worldwide—particularly in Australia—the CIRCLY 7.0 software is in use and recommended for mines in Vietnam.

- Regarding materials: Use selected soil and rock from blast sites (CPĐD-B) as a subbase layer with a thickness of 22–40 cm, compacted firmly on fixed or semi-fixed roads or in areas with weak subgrades to ensure flatness, cross-slope, and an elastic modulus (E) >150 MPa prior to CPĐD-M construction; Use rock and soil from quarries, crushed into CPĐD-M, as the road surface layer, spread to a thickness of 10–25 cm, and compacted using specialized steel-wheel vibratory rollers weighing >23 metric tons on all types of mine roads.

- Regarding construction and construction equipment:

- Always ensure the flatness, cross-slope, and longitudinal slope, as well as the strength of the aggregate layers; regularly clear drainage ditches to prevent water from pooling or overflowing on the road surface.
- To ensure a stable supply of CPĐD-M and CPDD-B, it is recommended to invest in a centralized crushing and screening plant with a capacity of 1.1 to 1.3 million m^3per year for the Cẩm Phả mining cluster, and a crushing and screening system of similar scale to the one at the Sin Quyền mine for the Tả Phời mine.
- To ensure compaction quality, it is proposed to invest in 1 to 3 steel-wheel vibratory rollers weighing over 23 metric tons for each mine to construct and maintain roads.

- Regarding maintenance:

- Maintenance should be performed by adding CPĐD-M compaction agent to compact the surface whenever functional defects exceed the recommended limits specified in the maintenance procedure. Spray water or dust-suppressing additives at a rate of 0.25–0.5 liters/m^2whenever dust levels exceed permissible limits.
- Consider determining maintenance frequency based on the minimum road usage cost, taking into account the road surface's rolling resistance.

- Soil/rock stabilization technology using cement and Geostab admixtures with an average thickness of 20–25 cm, having an elastic modulus E (measured by LWD equipment) ≥ 250 MPa and a compressive strength at 7 days, Rn ≥ 4 MPa, is suitable for fixed/semi-fixed road sections with high traffic volume and complex load conditions (curves, U-turns, parking areas for unloading waste rock at crushing plants, etc.), particularly in areas with poor drainage where even light rain can easily cause muddy, slippery conditions. This technology

is also fully suitable for bauxite mines and/or mines located in high-rainfall areas that suspend production during the rainy season, as well as mines where overburden removal at the excavation faces consists primarily of soil.

RECOMMENDATIONS

1. Waste rock at coal mines in the Inland region, particularly at the Na Duong coal mine and bauxite mines, has physical and mechanical properties that differ from those of rock and soil in the Quang Ninh region. Therefore, to ensure pavement quality, it is recommended that the Group conduct additional research on material sources, mix proportions, and implement pilot tests at these mines.

2. It is recommended that CPDD-M and CPDD-B technologies be applied in the construction, repair, and maintenance of mine roads in general. For mining areas affected by storms and heavy rains, where road surfaces are frequently exposed to heavy rainfall—resulting in the inability to operate during the rainy season—it is recommended to apply cement-stabilized soil/rock technology and Geostab additives to enhance strength and water stability. For road surfaces with consistently high dust levels exceeding permissible limits, it is recommended to consider using dust-suppressing additives.

3. Cement-stabilized soil/rock technology combined with Geostab additives is a new and modern technology that places high demands on construction machinery and equipment, as well as the qualifications, capabilities, and experience of the operating engineers. Therefore, it is recommended to select contractors with sufficient capabilities and experience to meet the requirements of this technology.

2. We respectfully request that the Vietnam Coal and Mineral Industries Group review and approve this Report as a basis for replicating this model at other mines.

APPENDIX

Appendix 1. Construction Monitoring Log for the Plan

Appendix 2. Logbook for Monitoring and Evaluating Road Damage Based on Service Life Appendix 3. Quality Documentation

Appendix B – Stakeholder Correspondence, Letters of Intent and Supporting Documentation

Purpose

This appendix provides a structured register for key correspondence and supporting documents associated with the development of the GeoStab Madagascar Road Stabilization Program. These records demonstrate the progression of stakeholder engagement, technical collaboration and Program development.

Contents

Letter of Intent from the Ministry of Public Works.

Letter of Intent from the Ministry of Public Works.





MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
****
Le Ministre

LETTRE D'INTENTION

OBJET : Programme d'Essais de Stabilisation Routière GeoStab, 2026.

Le Ministère des Travaux Publics, accuse réception de la proposition visant à entreprendre un programme d'essais sur le terrain de la technologie de stabilisation des sols GeoStab, appliquée à la construction routière.

L'objectif de ce programme d'essais est d'évaluer les performances de cette technologie dans des conditions réelles d'exploitation à Madagascar.

Nature du programme d'essais :

Le Ministère comprend et confirme que :

- Le programme d'essais sera réalisé sans aucun coût pour le Gouvernement de la République de Madagascar
- Ce programme n'entraîne aucune obligation financière, ni immédiate ni future
- Le Ministère n'est tenu de s'engager dans aucun projet futur ni dans aucun processus d'approvisionnement
- Le Ministère n'est soumis à aucune obligation d'adopter la technologie à l'issue des essais

Le rôle du Ministère se limite à l'observation, à l'engagement technique et à l'évaluation des résultats.

Mise en œuvre future (le cas échéant) :

Dans l'hypothèse où le programme d'essais démontrerait des résultats concluants, tout projet futur d'infrastructure routière intégrant la technologie GeoStab serait :

- Soumis à des procédures distinctes d'examen et d'approbation
- Conditionné à l'obtention de financements externes (tels que des partenaires internationaux de développement)
- Mis en œuvre conformément aux cadres standards de passation des marchés et de contractualisation

Objet de la présente lettre :

La présente Lettre d'Intention est émise uniquement afin de :

- Confirmer la volonté du Ministère de soutenir et d'observer le programme d'essais
- Faciliter la mise en œuvre des sections d'essai
- Permettre l'évaluation de la technologie dans les conditions locales

Caractère non contraignant :

La présente Lettre d'Intention :

- Ne constitue pas un engagement financier
- Ne crée aucune obligation contractuelle
- Ne vaut pas approbation ni adoption de la technologie
- N'engage pas le Ministère ni le Gouvernement à une quelconque action future

Fait pour et au nom du Ministère des Travaux Publics de Madagascar.

Nom : RAFEFIMANANA Sambilason Richard,

Titre : Ministre

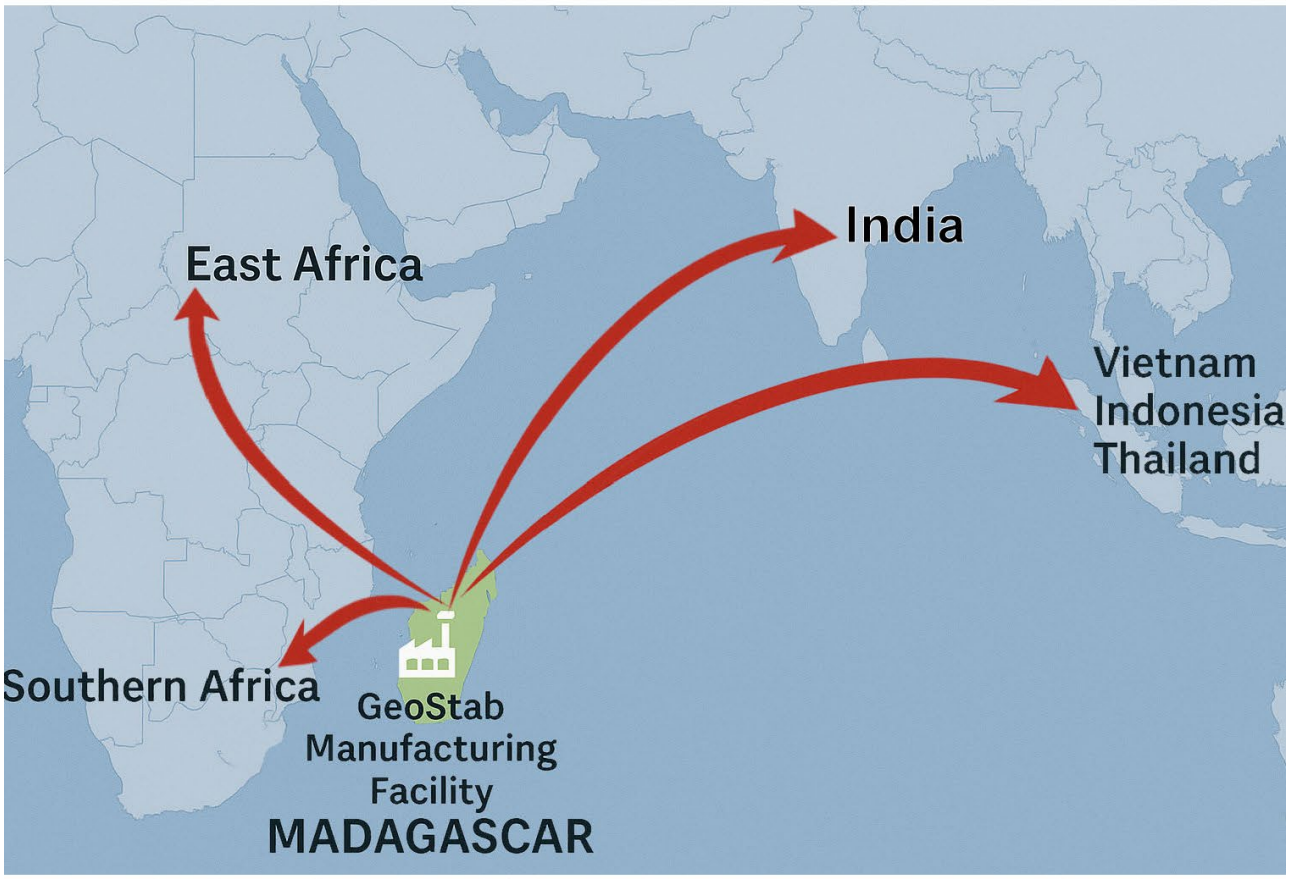
Ministère : Ministère des Travaux Publics

Signature :

Date :

0 8 MAI 2026




East Africa
India
Vietnam
Indonesia
Thailand
Southern Africa
GeoStab
Manufacturing
Facility
MADAGASCAR

LABORATOIRE NATIONAL DES TRAVAUX PUBLICS ET DU BATIMENT
Alarobia – Antananarivo MADAGASCAR
B.P. 1151 –Tél : 78 421 88 –E-mail : lntpb@moov.mg STAT 71201 11 1962 0 10005 - NIF 3 000043913 - RC Antananarivo 2003 B00769
CA-BNI : 00005 00001 02913740100 06 – Analakely – BFV SG : 00008 00015 02001007886 49 – Ankorondrano
Organisme certifié en ISO 9001 Version 2015

RESULTATS DES ESSAIS

N/Réf. : DOSSIER N° 25 DRDM / LS **23/01**

V/Réf. : **Devis N° D 25 DRDM/LS 60/A**

DEMANDEUR	: **MADGO SARL / GTM Group Australia**
OBJET	: Stabilisation de sol avec le produit GEOSTAB
ECHANTILLONS RECUS	: Dix (10) boites de produit GEOSTAB
DATE	: Jeudi 17 Avril 2025

Sauf demande expresse à la commande, les échantillons ne seront plus conservés après les essais

RESULTATS DES ESSAIS

****

Dossier : 25 DRDM/LS 23/01
Client : MADGO SARL /GTM GROUP

A - GENERALITES

- Objet : Stabilisation de sol avec le produit GEOSTAB
- Client : **MADGO SARL / GTM Group Australia**
- Référence : - **Devis N° D 25 DRDM/LS 60/A**
- Lieu d'exécution des essais : **LNTPB siège Alarobia Antananarivo**

B - ECHANTILLONS RECUS

Dix (10) boites bien fermés et protégés de produits stabilisants d'environ 1 kg chacun ont été remises par le Client au siège du LNTPB le 19 Mars 2025.

C - PRESTATIONS DU LNTPB

Essais réalisés :

- ✓ Identification de différents types de sol à l'état naturel dont :
  - Essai granulométrique par tamisage NF EN 17892 - 4
  - Essai Limite d'Atterberg NF EN 17892-12
  - Essai de compactage Proctor Modifié NF P 94-93
  - Essai de portance CBR à 4 jours d'immersion NF P 94-78
- ✓ Stabilisation des sols types avec le produit GEOSTAB selon le processus et dosage donnés par le Client.

D - RESULTATS

Résultats des essais des sols types à l'état naturel

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Types de sol	Identifications				Proctor modifié		CBR immersion	
	Dmax mm	% Fine	WL%	IP%	γd max KN / m3	Wopt %	Ip CBR 4 jours	Gft %
Argile	5.00	95	60	26	17.50	22.50	6	4.50
Argile limoneuse	5.00	80	54	22	17.20	18.40	11	2.90
Limon Argileux	5.00	66	46	17	18.45	17.90	15	2.65
Limon Sableux	5.00	42	33	12	18.60	11.50	24	0 30
Sable limoneux	5.00	30	26	7	19.10	8.60	30	0.10
Sable Argileux	5.00	36	30	13	19.40	13.20	26	0.26
Sable	5.00	3	-	-	17.20	6.20	20	0.00

Stabilisation des sols types avec le produit GEOSTAB

1- Processus de stabilisation et Dosage du produit GEOSTAB et Ciment

- Détermination de la densité maximale et teneur en eau optimale du sol à l'état naturel
- Détermination de l'indice portant CBR à 4 jours d'immersion du sol à l'état naturel
- Détermination de l'indice portant CBR à 4 jours d'immersion du sol traité
  - Sol + ciment (5% du poids du sol)
  - Produit GESOSTAB (5% du poids du ciment) dans la teneur en eau optimale

2- Résultats des essais des sols types stabilisés avec CIMENT + GEOSTAB

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Types de sol	Etat naturel		Stabilisé à 5% Ciment et 5% GEOSTAB	
	Ip CBR 4 jours	Gft %	Ip CBR 4 jours	Gft %
Argile	6	4.50	90	1.47
Argile limoneuse	11	2.90	116	0.42
Limon Argileux	15	2.65	116	0.47
Limon Sableux	24	0.30	160	0.02
Sable Limoneux	30	0.10	156	0.02
Sable Argileux	26	0.26	176	0.05
Sable	20	0.00	35	0.00

E - CONCLUSION

Le ciment utilisé pour la stabilisation est le ciment LOVA 32.5. Le produit GEOSTAB nécessite toujours l'utilisation de ciment pour stabiliser le sol.

Les sols types utilisés sont fournis par le LNTPB.

Les essais CBR réalisés sont directement imbibés dans l'eau après compactage (sans période de cure)

D'après les résultats, on peut déduire une nette amélioration de la portance des sols.

- Pour l'Argile, une augmentation de 9 à 90
- Pour l'Argile limoneuse, de 11 à 116
- Pour le Limon Argileux, de 15 à 116
- Pour le Limon Sableux, de 24 à 160
- Pour le Sable Limoneux, de 30 à 156
- Pour le Sable Argileux, de 26 à 176
- Pour le Sable, de 20 à 35

Il y a réduction du gonflement linéaire des sols.

Le produit GEOSTAB est très favorable pour les sols cohérents et peu favorable pour les sols pulvérulents ou sable

Antananarivo le 17 Avril 2025

Le Chef de Laboratoire Sols

ANDRIAMBELOMANANA Tahiry Mandranto

Le Directeur de Recherche, Développement et Commercial,

Le Chef de Département de Recherche Développement et Matériaux p.o.

LALAHERIMONA A.A. Patrick

Global Trade & Marketing

Imovative Technologies Doing it Locally, Globally

GeoStab

Sand / Soil / Clay Stabilization Technology

Proudly Australian




PROBLEM
Gravel/Dirt Road washout during wet season
Material Transport is an important concern
Cost is an important concern
Time is an important concern
Maintenance is an important concern
The Environment is an important concern


SOLUTION
GeoStab
A process that saves cost, time, Ongoing Maintenance and The Environment
Saving Cost
Saving Time
Saving Maintenance
Saving The Environment

Global Trade & Marketing Pty. Ltd.

GeoStab

Sand / Soil / Clay Stabilization Technology

Contents:

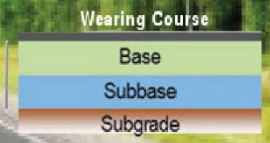
- Pavement Construction Overview
- Why Pavements Fail
- GeoStab Overview
- GeoStab Key Benefits
- Applications
- Design & Application Process
- Soil Stabilisation Process
- Selected Examples
  - Traditional 2-layer imported granular road failed in the wet season
  - Traditional 2-layer imported granular road failed in the wet and under heavy vehicle traffic
  - Highway Rehabilitation.
  - Site roads and hardstands inoperable in the wet season

Pavement Construction Overview

GeoStab

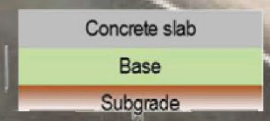
Flexible/granular pavement
Requires imported material
Cost depends on aggregate supply
Poor wet weather performance

Imported material



Rigid pavements
Concrete bases and wearing course
Expensive
Low maintenance
Performance dependant on base and subgrade

Imported Material often stabilised

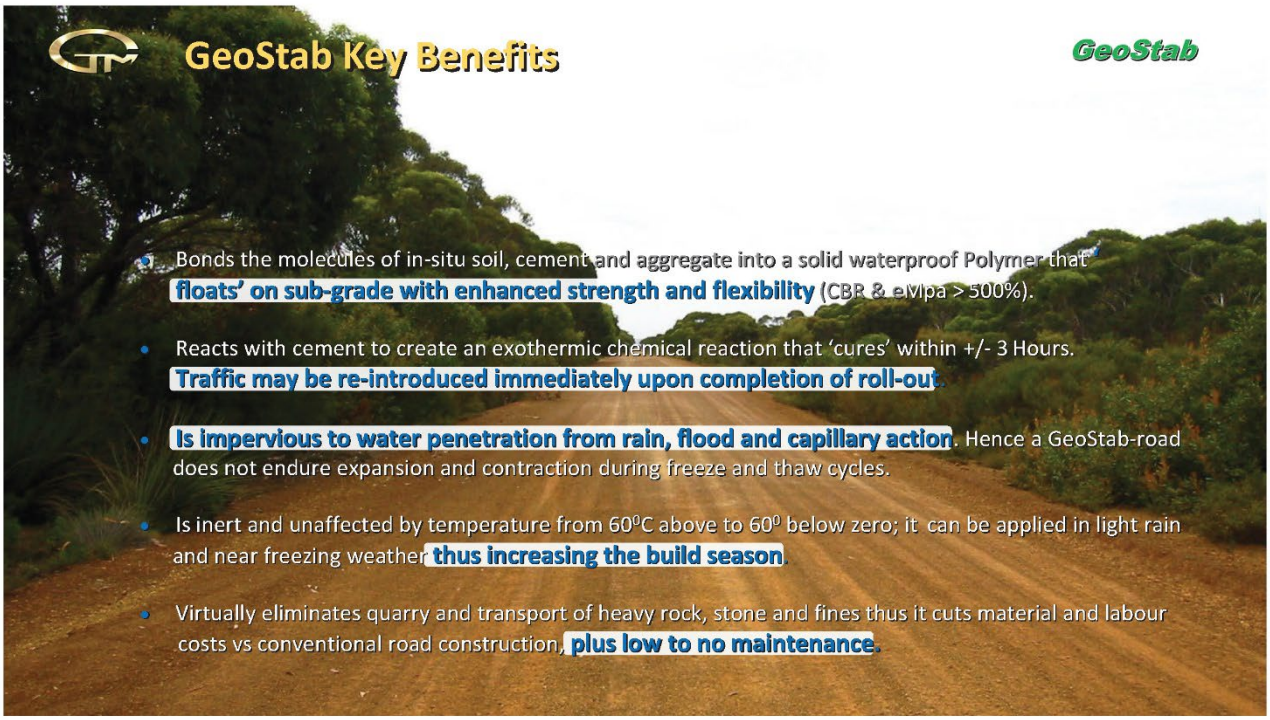


Cement-stabilised pavements
Can be used in rigid or flexible pavements
Requires additional equipment and materials
Can use recycled, site-won, or marginal materials
Improved wet weather performance

Recycled or Site-won material




Why Pavements Fail
GeoStab
Underlying soils – insufficient strength or shrink/swell reactivity in the subgrade.
Water – causes a loss of pavement mechanical strength. Free water within the pavement is 'pumped' up towards the surface by vehicular loading, drawing the finer particles out of the soil Matrix and providing space for lubricated particles to move.
Traffic and loading – excessive and poorly regulated traffic volume and loadings. Traffic effects are magnified in acceleration/deceleration zones.
Pavement materials – insufficient strength, unsuitable particle size distribution, or reactive materials.
Design – insufficient consideration of drainage, shoulders, cross falls, lane widths etc.
Construction – Lack of experience and equipment, poor QA and testing, particularly of moisture Content and compaction.
Temperature – causes expansion, contraction, and freeze-thaw in pavement and wearing Course. Large temperature variations accelerate failures.
Maintenance – primarily a failure to maintain the wearing course, leading to water ingress.


GeoStab Key Benefits
GeoStab
Bonds the molecules of in-situ soil, cement and aggregate into a solid waterproof Polymer that 'floats' on sub-grade with enhanced strength and flexibility (CBR & eMpa > 500%).
Reacts with cement to create an exothermic chemical reaction that 'cures' within +/- 3 Hours. Traffic may be re-introduced immediately upon completion of roll-out.
Is impervious to water penetration from rain, flood and capillary action. Hence a GeoStab-road does not endure expansion and contraction during freeze and thaw cycles.
Is inert and unaffected by temperature from 60°C above to 60° below zero; it can be applied in light rain and near freezing weather thus increasing the build season.
Virtually eliminates quarry and transport of heavy rock, stone and fines thus it cuts material and labour costs vs conventional road construction, plus low to no maintenance.

Applications

GeoStab

Roads
Subgrade, subbase, and base stabilisation for New construction and rehabilitation of temporary And permanent pavements

Hardstands
New construction and rehabilitation of laydown Yards, site set-up, stock yards, and related Infrastructure.

Heavy work platforms
Crane mats, piling platforms, drilling rigs.

Airports
Runways and associated aprons.

Railways
Stabilisation of subgrade and formation.

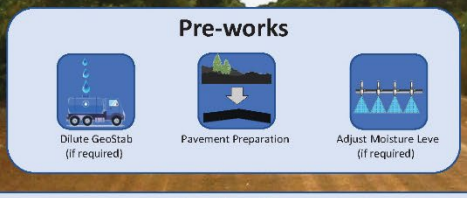
Waterways
Stabilisation of riverbanks, canals, viaducts, dam linings.

Concrete
GeoStab 300 (in development) will allow production of concrete using unwashed sands (beach, river sand, etc.) and unwashed aggregates using unclean water such as seawater while maintaining designed strength without fear of developing concrete cancer.

Design & Application Process

GeoStab



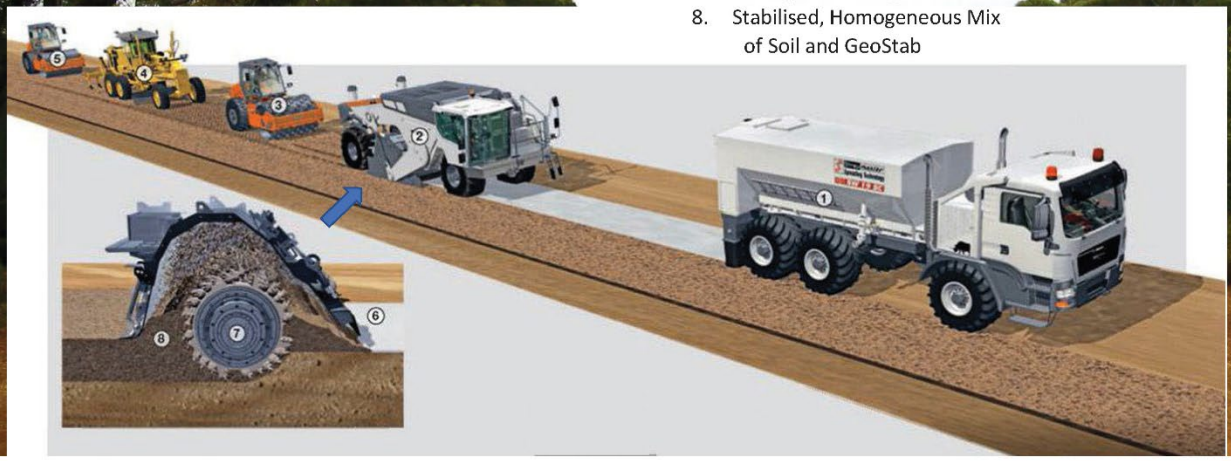




Soil Stabilisation Process

GeoStab

1. Binding Agent (cement) Spreader
2. Soil Stabiliser (also injecting GeoStab)
3. Sheep's foot Drum Compactor
4. Grader
5. Smooth Drum Compactor
6. Pre-Spread Binding Agent (cement)
7. Milling and Mixing Rotor
8. Stabilised, Homogeneous Mix of Soil and GeoStab



Main Mixing Equipment

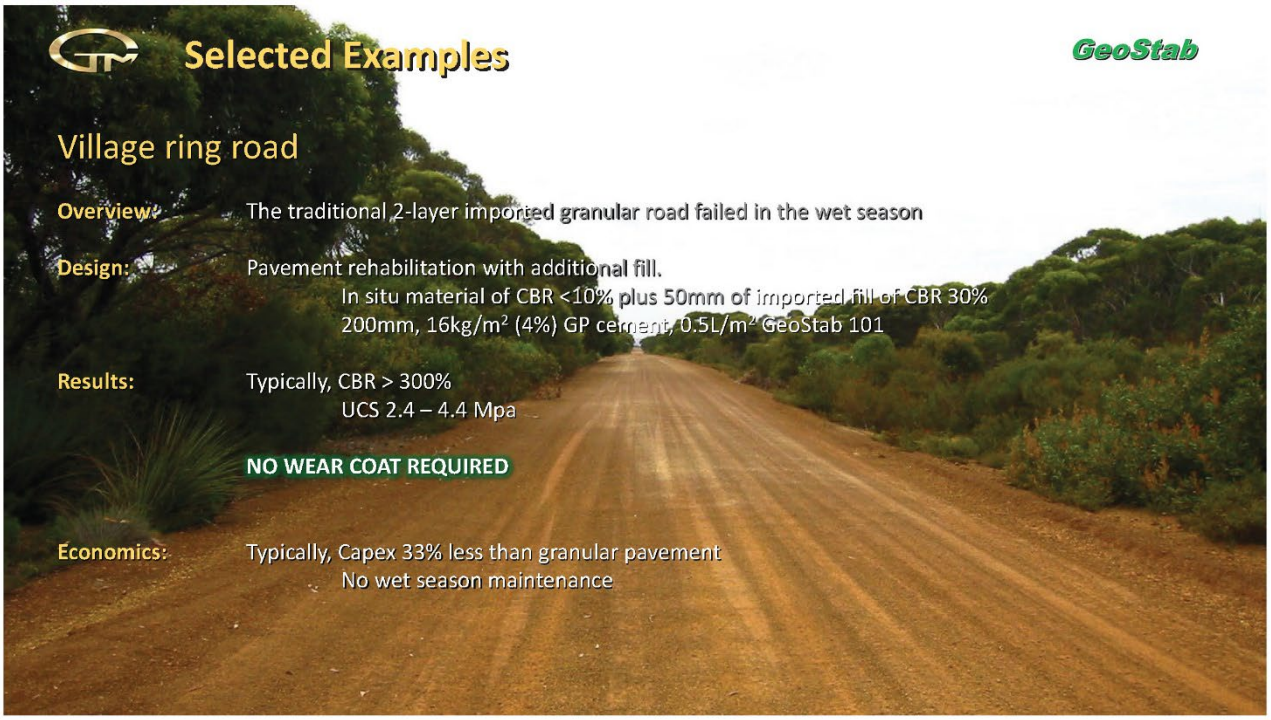
GeoStab

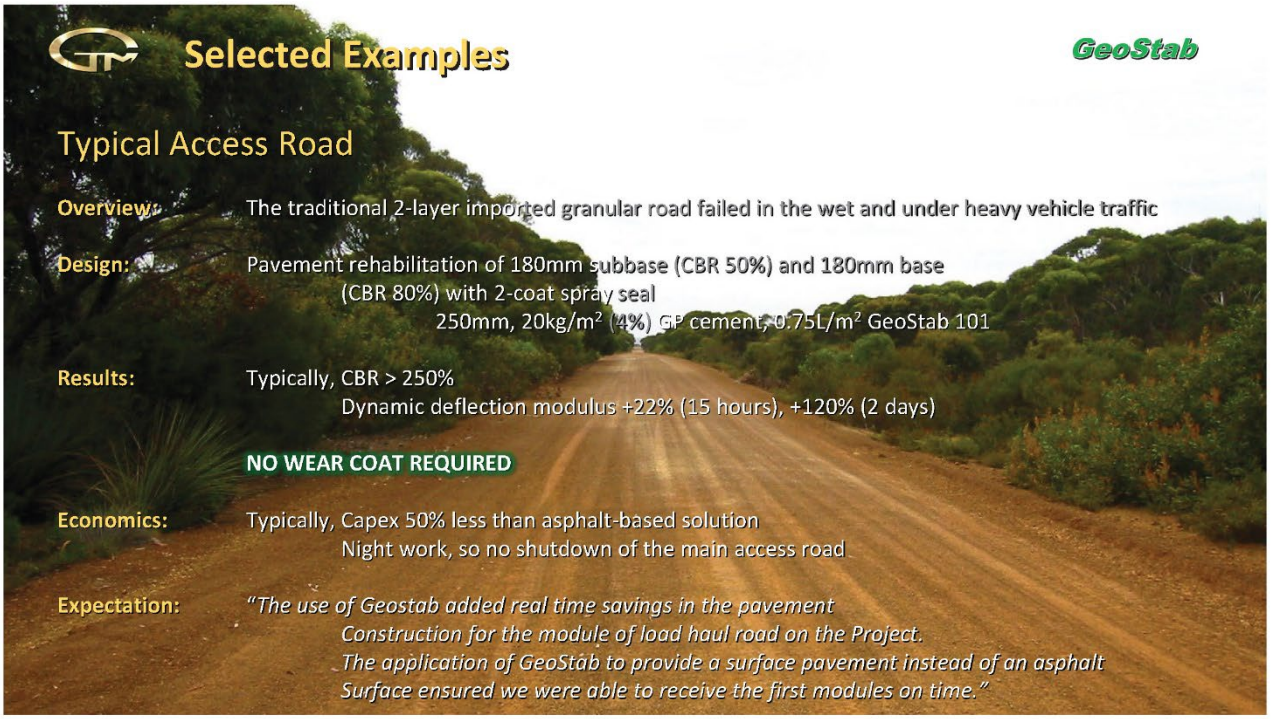


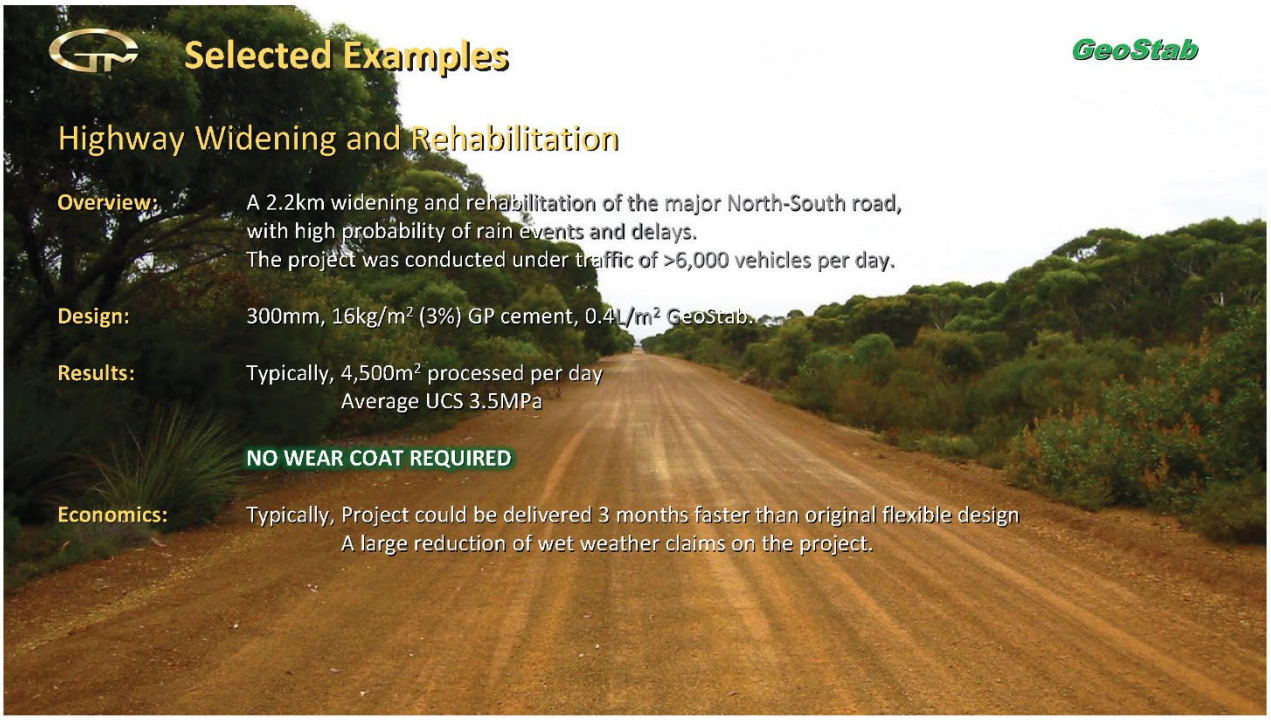
Wirtgen Type Base Stabilizer
for National Routes
(Design Speed: 90+ km/h)

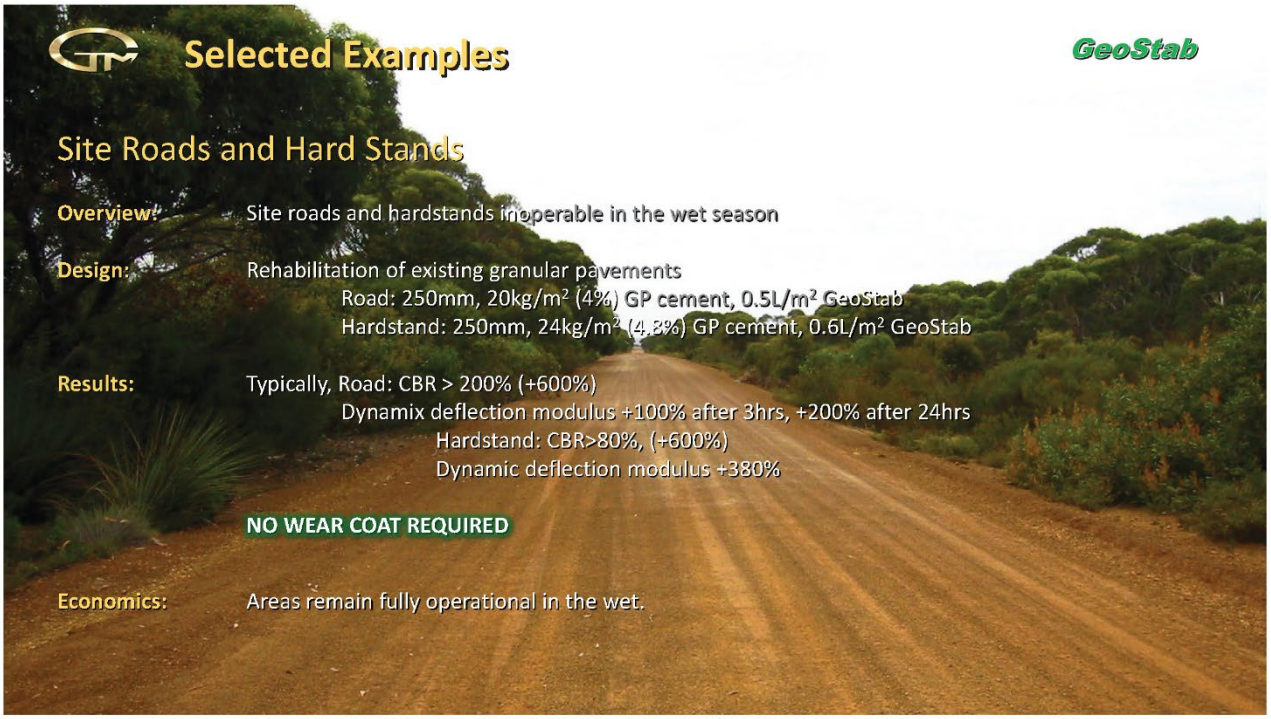


Tractor Pulled SeaMax Type Dirt Road Mixer
for Local and Provincial Roads
(Design Speed: up to 80 km/h)


Selected Examples
GeoStab
Village ring road
Overview:
The traditional 2-layer imported granular road failed in the wet season
Design:
Pavement rehabilitation with additional fill.
In situ material of CBR <10% plus 50mm of imported fill of CBR 30%
200mm, 16kg/m² (4%) GP cement, 0.5L/m² GeoStab 101
Results:
Typically, CBR > 300%
UCS 2.4 – 4.4 Mpa
NO WEAR COAT REQUIRED
Economics:
Typically, Capex 33% less than granular pavement
No wet season maintenance


Selected Examples
GeoStab
Typical Access Road
Overview:
The traditional 2-layer imported granular road failed in the wet and under heavy vehicle traffic
Design:
Pavement rehabilitation of 180mm subbase (CBR 50%) and 180mm base
(CBR 80%) with 2-coat spray seal
250mm, 20kg/m² (4%) GP cement, 0.75L/m² GeoStab 101
Results:
Typically, CBR > 250%
Dynamic deflection modulus +22% (15 hours), +120% (2 days)
NO WEAR COAT REQUIRED
Economics:
Typically, Capex 50% less than asphalt-based solution
Night work, so no shutdown of the main access road
Expectation:
"The use of Geostab added real time savings in the pavement
Construction for the module of load haul road on the Project.
The application of GeoStab to provide a surface pavement instead of an asphalt
Surface ensured we were able to receive the first modules on time."

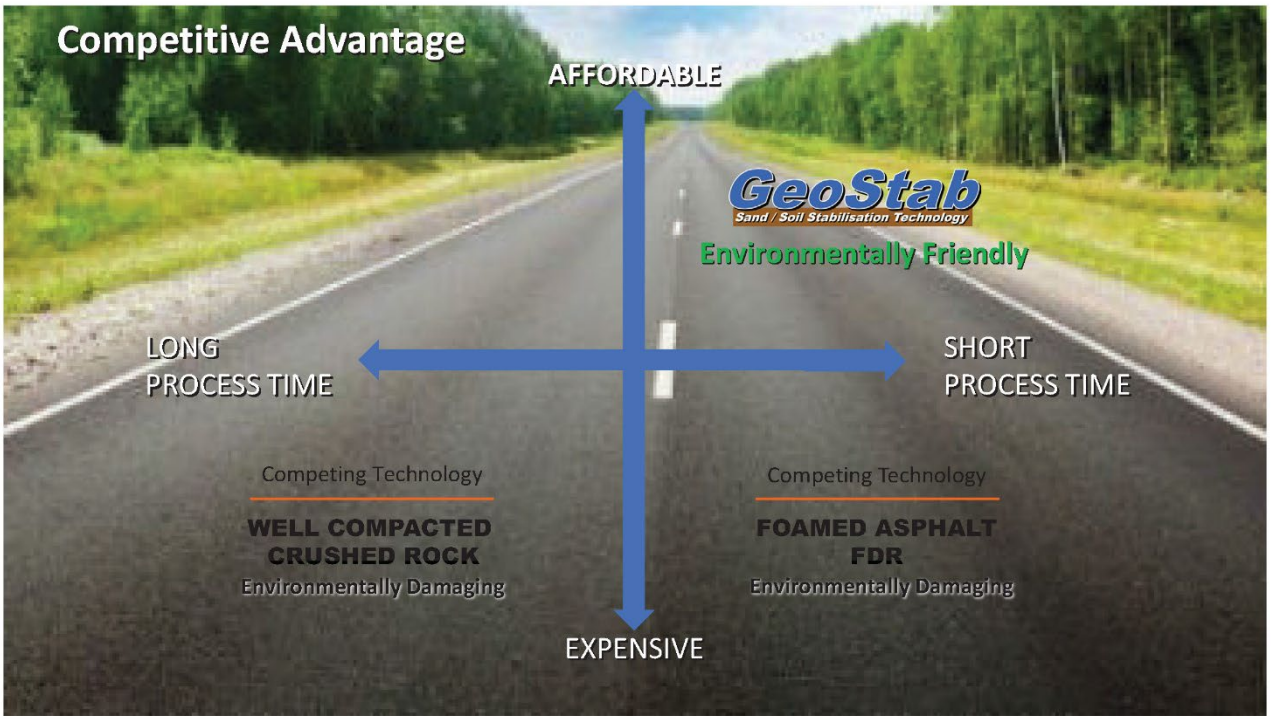

Selected Examples
GeoStab
Highway Widening and Rehabilitation
Overview:
A 2.2km widening and rehabilitation of the major North-South road,
with high probability of rain events and delays.
The project was conducted under traffic of >6,000 vehicles per day.
Design:
300mm, 16kg/m² (3%) GP cement, 0.4L/m² GeoStab.
Results:
Typically, 4,500m² processed per day
Average UCS 3.5MPa
NO WEAR COAT REQUIRED
Economics:
Typically, Project could be delivered 3 months faster than original flexible design
A large reduction of wet weather claims on the project.


Selected Examples
GeoStab
Site Roads and Hard Stands
Overview:
Site roads and hardstands inoperable in the wet season
Design:
Rehabilitation of existing granular pavements
Road: 250mm, 20kg/m² (4%) GP cement, 0.5L/m² GeoStab
Hardstand: 250mm, 24kg/m² (4.8%) GP cement, 0.6L/m² GeoStab
Results:
Typically, Road: CBR > 200% (+600%)
Dynamix deflection modulus +100% after 3hrs, +200% after 24hrs
Hardstand: CBR>80%, (+600%)
Dynamic deflection modulus +380%
NO WEAR COAT REQUIRED
Economics:
Areas remain fully operational in the wet.


GeoStab
TURN THIS
DIRT ROAD
INTO THIS
GeoStab Stabilized
DIRT ROAD
60
km/h


GeoStab


GeoStab
Competitive Advantage
Low cost
Up to 50% on
application cost
Ease of Use
Utilizes existing
Stabilization equipment
Flexibility
Suitable for all
Soil /subgrade types
GeoStab
Sand / Soil / Clay Stabilization Technology
Fewer Weather Delays
Resistant to
wet weather
downtim
Design and Brand
Memorable name
Easily identified
with end purpose
Eco Friendly
Saves natural resources
Low carbon footprint
Environmentally safe


Competitive Advantage
AFFORDABLE
GeoStab
Sand / Soil Stabilisation Technology
Environmentally Friendly
LONG
PROCESS TIME
SHORT
PROCESS TIME
Competing Technology
WELL COMPACTED
CRUSHED ROCK
Environmentally Damaging
Competing Technology
FOAMED ASPHALT
FDR
Environmentally Damaging
EXPENSIVE


GeoStab
LET's WORK TOGETHER TO
GREATLY IMPROVE
MADAGASCAR's ROAD NETWORK
80
km/h
Subject to Wildlife Density


GeoStab
Sand / Soil / Clay Stabilization Technology

Decision Summary

Standardized delta = (GeoStab - baseline) / baseline. Negative means GeoStab is lower than the baseline.

Project	Length (km)	Width (m)	Area (m²)	Delivered GeoStab (MGA/kg)
Mahajanga road comparison	1.0	6.0	6,000	MGA 39,664.32

Metric	GeoStab	Asphalt	Crushed Rock	Lowest value
Direct subtotal (MGA)	MGA 222,009,552	MGA 432,354,503	MGA 226,386,250	GeoStab
Grand total (MGA)	MGA 244,210,507	MGA 475,589,953	MGA 249,024,875	GeoStab
Cost per m² (MGA/m²)	MGA 40,701.8	MGA 79,265.0	MGA 41,504.1	GeoStab
Processing time (days)	3.0	15.0	10.0	GeoStab
GHG (mt CO2)	4.3	16.1	8.0	GeoStab

GeoStab vs Asphalt

Metric	Delta	Interpretation	Baseline	Status
Grand total (MGA)	-49%	49% less than Asphalt Road	Asphalt Road	ADVANTAGE
Cost per m²	-49%	49% less than Asphalt Road	Asphalt Road	ADVANTAGE
Processing time	-80%	80% less than Asphalt Road	Asphalt Road	ADVANTAGE
GHG	-73%	73% less than Asphalt Road	Asphalt Road	ADVANTAGE

GeoStab vs Crushed Rock

Metric	Delta	Interpretation	Baseline	Status
Grand total (MGA)	-2%	2% less than Crushed Rock	Crushed Rock	ADVANTAGE
Cost per m²	-2%	2% less than Crushed Rock	Crushed Rock	ADVANTAGE
Processing time	-70%	70% less than Crushed Rock	Crushed Rock	ADVANTAGE
GHG	-47%	47% less than Crushed Rock	Crushed Rock	ADVANTAGE

Global Trade & Marketing Pty. Ltd.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Ver 2.4 Issued: 15th February, 2025

1. IDENTIFICATION

Product Name: **GeoStab**
Product Number: GSTAB101
Brand: GTM

Other Names
None.

Uses
Soil/cement stabilization additive. Concrete admixture.

Company Details
Supplier: Global Trade & Marketing Pty Ltd
Address: 14 Wallan Avenue
Glenmore Park NSW 2745
Telephone No.: 0433 407 660
Web: www.gtm-au.com
Email: sales@gtm-au.com

Emergency Telephone No.: Business Hours: 0433 407 660
After Hours: 000 Fire brigade or Police
Poisons Information Centre: 131126

2. HAZARD IDENTIFICATION

U.N. Number:	None allocated	**Class:**	None allocated
Hazchem:	None allocated	**Poisons Schedule:**	None allocated
EPG:	None allocated	**Packaging Group:**	None allocated

Not Classified as a Dangerous Good for the purposes of transport.
Not Classified as Hazardous Material according to criteria of Worksafe Australia.

Risk Statement:
R22 Harmful if Swallowed.

Safety Statement:
S26 In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and Seek medical advice.
S44 If you feel unwell, contact a doctor or Poisons Information Centre immediately (show the label where possible).

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Chemical Entity	CAS No.	Proportion
Proprietary Non-Hazardous Polymer mixture		<50%
Calcium chloride	10035-04-8	<20%
Other Non-Hazardous Materials		Balance

4. FIRST AID MEASURES

Swallowed	Rinse mouth thoroughly with water immediately. If you feel unwell seek medical advice.
Eye	Immediately irrigate with copious quantities of water for at least 15 minutes. Eyelids to be held open. Seek immediate medical assistance.
Skin	Immediately wash contaminated skin with plenty of water and then wash with soap and water. Remove contaminated clothing and wash before re-use. Seek medical advice.
Inhalation	No data available

Health Effects

Symptoms that may arise if the product is mishandled are:
Acute

Swallowed	Ingestion may result in nausea. Low toxicity.
Eye	May be irritating to eyes.
Skin	May be irritating to skin.
Inhaled	Should not occur. However, if heated may release mists which may cause respiratory irritation.

Chronic Effects

Repeated or prolonged skin contact may lead to irritant contact dermatitis.

As with any chemical - ingestion, inhalation, and prolonged or repeated skin contact should be avoided by good occupational work practice.

Poison Information Centres in each State capital city can provide additional assistance.

Advice to Doctor
Treat symptomatically

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Fire / Explosion Hazards
Materials to avoid:

Extinguishing Media:
In case of fire use water, foam, carbon dioxide, dry powder

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Clear area of all unprotected personnel. Wear protective equipment to prevent skin and eye contamination including breathing apparatus.

Slippery when spilled. Contain material using inert absorbent material e.g. vermiculite. Place into suitable labelled containers and hold for waste disposal. Wash area down with excess water once removed.

7. HANDLING AND STORAGE

Not classified as a Dangerous Good for the purposes of transport.

Use only plastic (PE, PP, PVC), fibreglass or Stainless steel containers/vessels.
Remove drum bungs slowly to release any internal pressure.

Conditions for safe Storage:
Store in a cool, dry, well ventilated area. Keep container tightly closed when not in use.

**** KEEP CONTAINERS WELL SEALED ****

Avoid contact with eyes and skin. Avoid prolonged or repeated exposure. Always wash hands before smoking, eating, drinking or using the toilet.

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

Exposure Standards (for atmospheric contaminants in the occupational environment)

No value assigned for this product by the NOHSC (Workcover).

TWA		STEL	
ppm	mg/m^3	ppm	mg/m^3

Engineering Controls

Maintain concentration below recommended exposure limit. Use in a well-ventilated area. Avoid generating and inhaling mists and aerosols. Keep containers closed when not in use. If risk of overexposure exists, wear SAA approved respirator to comply with Australian Standards, ensuring correct fit to obtain adequate protection.

Personal Protection

Eyes: The use of a face shield, chemical goggles or safety glasses with side shield protection as appropriate.

Skin: Rubber or PVC gloves, overalls or PVC suit, safety or rubber boots

Respiratory: If mist is generated the use of a chlorine vapour half face piece respirator is recommended.

Avoid contact with eyes and skin. Avoid prolonged or repeated exposure. Always wash hands before smoking, eating, drinking or using the toilet.

Flammability

Not combustible material.

Avoid contact with eyes and prolonged contact with skin. Avoid prolonged or repeated exposure. Always wash hands before smoking, eating, drinking or using the toilet.

9. PHYSICAL DESCRIPTION / PROPERTIES

Appearance: Milky White liquid.

Flash point:	N/A	**Specific Gravity:**	1.1 – 1.2
Boiling point (°C):	N/A	**ph (neat solution):**	7.5 to 8.5
Freezing point (°C):	10°C approx.	**Solubility in Water (g/L):**	soluble

Other Properties

Odour: slight/odourless
Solubility: Completely soluble

10. STABILITY AND REACTIVITY

Chemical Stability:
Stability: GeoStab is stable under ordinary conditions of use and storage.

Hazardous Decomposition Products:
May emit toxic fumes when heated to decomposition. Nitrogen oxides (NOx), Calcium oxide are formed.

Hazardous Polymerization: Will not occur.

Incompatibilities: None.

Conditions to avoid: Freezing.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Toxicology:
Oral LD50 (Rat): >8000 mg/kg (calculated)

No adverse health effects expected if the product is handled in accordance with this Safety Data Sheet and the product label. Symptoms or effects that may arise if the product is mishandled and overexposure occurs are:

Acute Effects

Inhalation: No LD50 data available for this product.

Skin contact: May be irritating to skin.

Ingestion: May be harmful if swallowed. Swallowing may result in nausea, vomiting, diarrhoea and abdominal pain..

Eye contact: May be irritating to eyes

Acute toxicity

Inhalation: This material has been classified as non-hazardous. Acute toxicity estimate (based on ingredients):
>80 mg/L

Skin contact: This material has been classified as non-hazardous. Acute toxicity estimate (based on ingredients): >2,000 mg/Kg

Ingestion: This material has been classified as non-hazardous. Acute toxicity estimate (based on ingredients):
>2,000 mg/Kg

Corrosion/irritancy: Eye: this material has been classified as a Category 2A Hazard (reversible effects to eyes). Skin: this material has been classified as not corrosive or irritating to skin.

Sensitisation: Inhalation: this material has been classified as not a respiratory sensitiser. Skin: this material has been classified as not a skin sensitiser.

Aspiration hazard: This material has been classified as non-hazardous.

Specific target organ toxicity (single exposure): This material has been classified as non-hazardous.

Chronic Toxicity

Mutagenicity: This material has been classified as non-hazardous.

Carcinogenicity: This material has been classified as non-hazardous.

Reproductive toxicity (including via lactation): This material has been classified as non-hazardous.

Specific target organ toxicity (repeat exposure): This material has been classified as non-hazardous.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Long-term aquatic hazard: This material has been classified as non-hazardous. Non-rapidly or rapidly degradable substance for which there are adequate chronic toxicity data available OR in the absence of chronic toxicity data, Acute toxicity estimate (based on ingredients): >100 mg/L, where the substance is not rapidly degradable and/or BCF < 500 and/or log Kow < 4 .

Eco toxicity No data available.

Mobility No information available on mobility for this product. Completely Miscible with water.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disposal
Refer to State and Land Management Authority and relevant Environmental Protection Authority. All empty packaging should be disposed of in accordance with Local, State, and Federal Regulation or recycled/reconditioned at an approved facility.

14. TRANSPORT INFORMATION

U.N. Number:	None allocated	**Class:**	None allocated
Hazchem:	None allocated	**Poisons Schedule:**	None allocated
EPG:	None allocated	**Packaging Group:**	None allocated

Classified as hazardous according to criteria of NOHSC
Not classified as a Dangerous Good for the purpose of road and rail transport

Use only plastic (PE, PP, PVC) or fibreglass containers/vessels – corrosive to mild and stainless steels. Other tanks should be lined with chloride resistant materials. Pumps should also be lined with chloride resistant materials.

ROAD AND RAIL TRANSPORT
Not classified as Dangerous Goods by the criteria of the "Australian Code for the Transport of Dangerous Goods by Road & Rail" and the "New Zealand NZS5433: Transport of Dangerous Goods on Land".

MARINE TRANSPORT
Not classified as Dangerous Goods by the criteria of the International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code) for transport by sea.

AIR TRANSPORT
Not classified as Dangerous Goods by the criteria of the International Air Transport Association (IATA) Dangerous Goods Regulations for transport by air.

15. REGULATORY INFORMATION

Poisons Schedule:	N/A
EPG:	N/A
AICS Name:	No data available

16. OTHER INFORMATION

Reason for issue: **Revised**

Legend to Abbreviations and Acronyms

< less than	**>** greater than
AICS	Australian Inventory of Chemical Substances
CAS	Chemical Abstracts Service (Registry Number) CO2 Carbon Dioxide

Company Disclaimer

All information contained in this data sheet is as accurate and up-to-date as possible.
Since Global Trade & Marketing Pty. Ltd. cannot anticipate or control the conditions under which this information may be used, each user should review the information in the specific context of the intended application.
Global Trade & Marketing Pty Ltd will not be responsible for damages of any nature resulting from the use or reliance upon the information. No expressed or implied warranties are given other than those implied mandatorily by Commonwealth, State or Territory legislation.

UNCONTROLLED DOCUMENT.
PLEASE ENSURE YOU HAVE THE CURRENT COPY

English Translation

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA

MTP

MINISTRY OF PUBLIC WORKS

Le Ministre

LETTER OF INTENT

SUBJECT: GeoStab Road Stabilization Testing Program, 2026.

The Ministry of Public Works acknowledges receipt of the proposal to undertake a field testing program for GeoStab soil stabilization technology, as applied to road construction.

The objective of this testing program is to evaluate the performance of this technology under real-world operating conditions in Madagascar.

Nature of the Testing Program

The Ministry understands and confirms that

- The testing program will be carried out at no cost to the Government of the Republic of Madagascar
- This program entails no financial obligation, either immediate or future
- The Ministry is under no obligation to commit to any future projects or procurement processes
- The Ministry is under no obligation to adopt the technology following the tests

The Ministry's role is limited to observation, technical engagement, and evaluation of the results.

Future Implementation (if applicable)

Should the testing program yield conclusive results, any future road infrastructure project incorporating GeoStab technology would be:

- Subject to separate review and approval procedures
- Subject to on the receipt external external (such as international development partners)
- Implemented in accordance with standard procurement and contracting frameworks

Purpose of this letter

This Letter of Intent is issued solely to

- Confirm the Ministry's commitment to supporting and monitoring the testing program
- Facilitate the implementation of the test sections
- Enable the evaluation of the technology under local conditions

Non-binding nature This

Letter of Intent

- Does not constitute a financial commitment
- Does not create any contractual obligation
- Does not constitute approval or adoption of the technology
- Does not bind the Ministry or the Government to any future action

Done for and on behalf of the Ministry of Public Works of Madagascar. Name:

RAFEFIMANANA Sambilason Richard,

Title: Minister

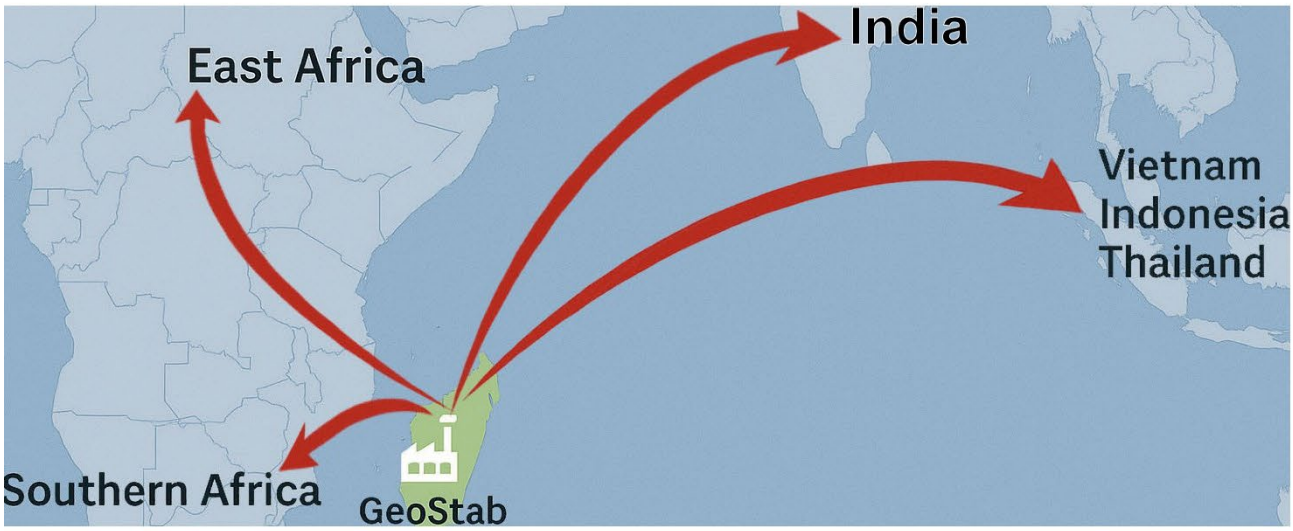
Ministry: Ministry of Public Works Signature:

Date : 08 . . 2026

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS

LE MINISTRE

RAFEFIMANANA Sambilason Richard
Docteur en Sciences et Technologies


East Africa
India
Vietnam
Indonesia
Thailand
Southern Africa
GeoStab
Manufacturing
Facility
MADAGASCAR

NATIONAL BUREAU OF PUBLIC WORKS AND CONSTRUCTION
Alarobia - Antananarivo, MADAGASCAR
P.O. Box 1›s1-Tãi: 7a 42i 8s - Email: _____ Address 7i2o1 1i 19st o haios Nir 3 ixio043s 3 Rc An ana •riv° ›ro3 s^o7s9
cA-aNi: ooops ooooi ozsz3›4o‹ixi os - Anala •iy - erv sc uoooa ooois ozoo›co7ess *s - <•x•••rd‹•
ISO 9001:2015 Certified Organization

LMTPB

TEST RESULTS

Ref. : EiOSSIER No. 25 DRDM / LS 23/01

V/Ref. : Quote No. D 25 ORDIVI/LS 60/A

APPLICANT	MADGO SARL / GTM Group Australia
SUBJECT	Soil stabilization using the GEOSTA6 product
SAMPLES RECEIVED	Ten (10) boxes of GEOSTAB product
DATE	Thursday, April 17, 20z5

Unless specifically requested at the time of order, samples will no longer be returned after testing

TEST RESULTS

★★★★★★★★★★★★

A - GENERALITES

*' Yes, t S*Salt stabilization using the GEOSTAB product
Client : MADGO SARL / GTM Group Australia

"• Reference - Quote No. D 25 DRDU/LS 60/A

I.. "u ‹› ‹:.›. cr.' z-r es spam LNTPB Headquarters, Alarobia, Antananarivo

B - ECHANTILLONS RECUS

Ten (10) securely sealed and protected boxes of stabilizing products, each weighing approximately 1 kg, were received by the Client at the LNTPB headquarters on March 19

C - LNTPB SERVICES

Tests Conducted

Identification of different soil types in their natural state;

Granulometric analysis test for soil classification per NF

EN 17892-4; Limit test IDF Eff 7892-12

Modified Proctor compaction test NF P 94-3

- CBR bearing capacity test after 4 days of immersion NF F 94-79

of representative soils with the GEOSTAB product according to the process and dosage specified by

the Client.

D - RESULTS

❖ **Résultats des essais des sols types à l'état naturel**

The are presented in the table below

Soil types	gmax mza	Identifications % !Fine	WL%	IP%	Modified Pruütui yd max KN / m3	Wopt %	CBR immersion)p CBR 4 jours	Gft %
Argile	5.00	95	60	26	17.50	22.50	6	4.50
A ‹'\'>. lin oneuse	5 00"	80 "	54	22	17.20	6:40 p.m.	11	2.90
Clayey loam	500	66	46	17	18.45s	17.90	15	2.65
LirnonSableux	5.00	42	33	12	1860	11.50	24	030
Sandy-loamy	5.00	30	26	7	19.10	8ùu*	CO	û !6
SableAr leux	500	"36	30	1û	1940	1ü20		26
Sand	500	3			17.20	6.0	z0	0^e0

'T' lla bi iiaòlio i u » t›, (vye "von le gr u‹\ ult GEGSTAB

1- Stabilization Process and Dosage of GEOSTAB and Cement Determination of the maximum density and optimal water content of the soil a its natural state. Determination of the CBR bearing index after 4 days of soil immersion in its natural state

- Determination of the CBR bearing index after 4 days of immersion of *the* treated *soil* (soil + cement, 5% by weight of the soil) GEOSTAB product (5% by weight of cement) at optimal moisture content

2- Test results for typical soils stabilized with CEMENT + GEOSTAB. The results are presented in the table below

			GEOSTAB	
	Ip CBR 4 jours	Gft %	Ip CBR 4 jours	Gft %
Argile	6	4.50	90	1.47
Argile limoneuse	11	2.90	116	0.42
Limon Argileux	15	2.65	116	0.47
Limon Sableux	24	0.30	160	0.02
Sable Limoneux	30	0.10	156	0.02
Sable Argileux	26	0.26	176	0.05
Sable	20	0.00	35	0.00

E - CONCLUSION

The cement used for stabilization is LGVA 32.5. The GEOSTAB product always requires the use of cement to stabilize the soil.
The standard soils used are provided by the LNTPB
The CBR tests conducted involve directly immersing the samples in water after compaction (without a curing period)
Based on the results, a clear improvement in soil workability can be observed.

For clay, an increase from 9 to 90; for silty clay, from 11 to 116
, and for clay loam, from 15 to 110
For sandy soil, from 24 to 160; for silty sand, from 30 to 156
For clayey sand, from 26 to 176
- For sand, from 20 to 35

There is a reduction in linear swelling of the soils.
The GEGST.AB product is very effective for cohesive soils and less effective for powdery or sandy soils

Antananarivo, April 17, 2025

The Head of the Department of Research, Development, and Materials (/»t

ANDRIAMBELOMANANA Tahiry Mandranto

The Director of Research Développement et

Travaux Publics et du Bâtiment

Global Trade & Marketing

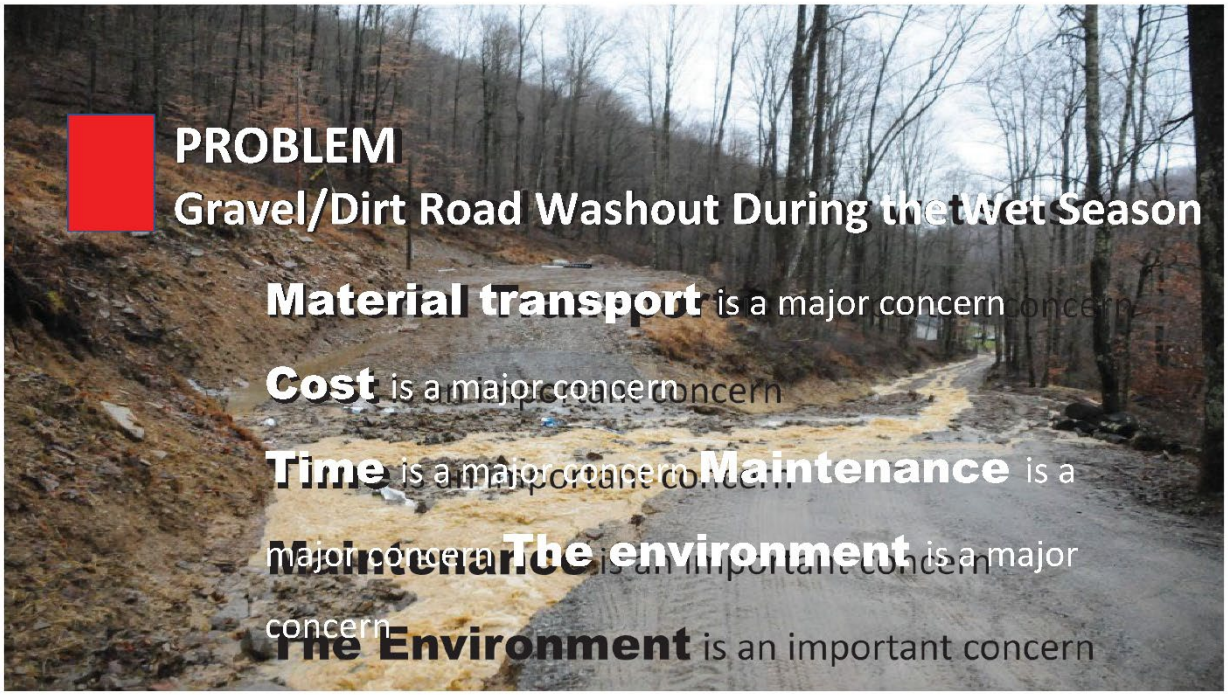
Imovative Technologies Doing it Locally, Globally

GeoStab

Sand / Soil / Clay Stabilization Technology

Proudly Australian




PROBLEM
Gravel/Dirt Road Washout During the Wet Season
Material transport is a major concern
Cost is a major concern
Time is a major concern
Maintenance is a major concern
The environment is a major concern
The Environment is an important concern


SOLUTION
GeoStab
A process that saves on costs, time, ongoing Maintenance and the Environment
maintenance, and protects the environment
Cost Savings
Saving Time
Reducing Maintenance
Environmental Protection

Global Trade & Marketing Pty. Ltd.

GeoStab

Sand / Soil / Clay Stabilization Technology

Contents:

- Overview of Pavement Construction
- Why Pavements Fail
- GeoStab Overview
- Key Benefits of GeoStab
- Applications
- Design and Application Process
- Soil Stabilization Process
- Selected Examples

Traditional 2-layer imported granular road failed during the wet season
Traditional 2-layer imported granular road failed during the wet season and under heavy vehicle traffic Highway Rehabilitation.
Site roads and hardstands inoperable during the wet season

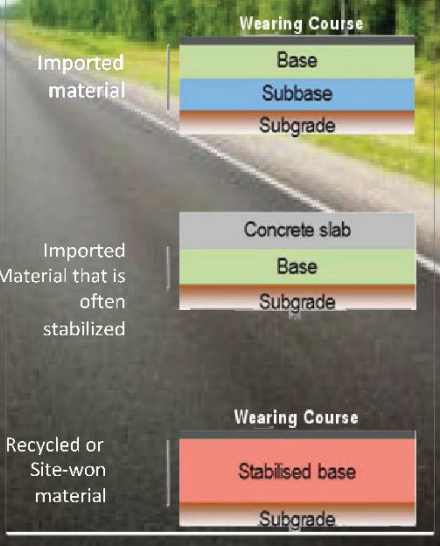
Pavement Construction Overview

GeoStab

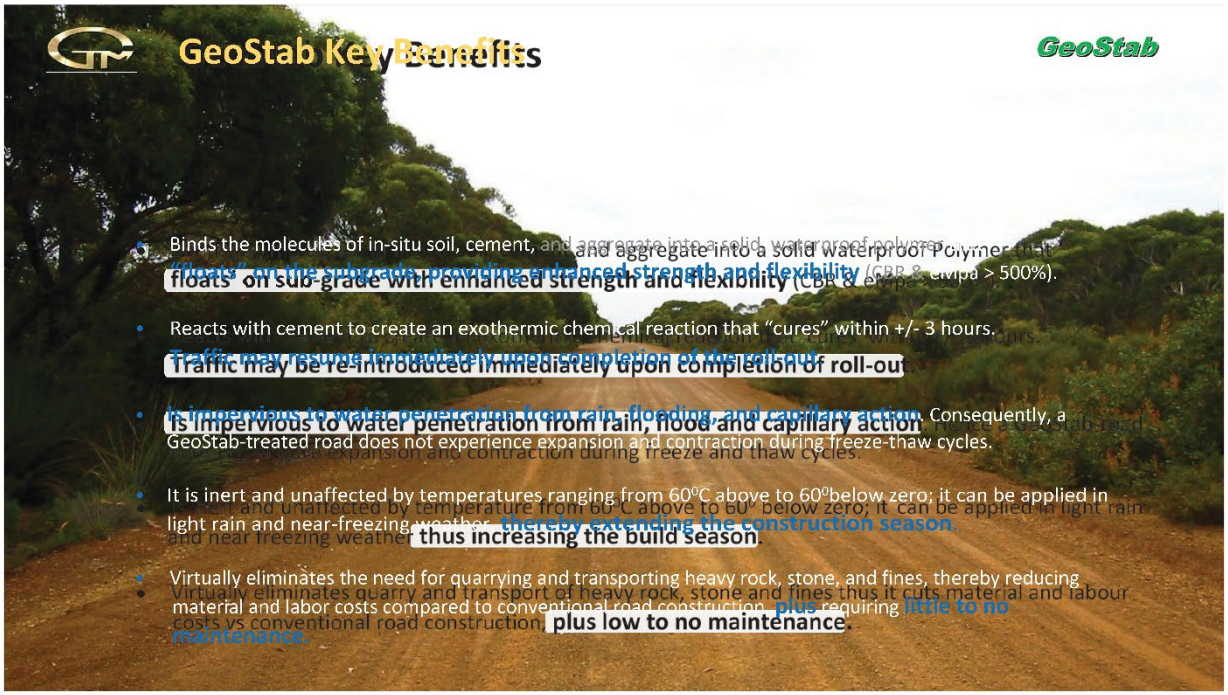
Flexible/granular pavement
Requires imported material
Cost depends on aggregate supply
Poor performance in wet weather

Rigid pavements
Concrete bases and wearing course
Expensive
Low maintenance
Performance depends on the base and subgrade

Cement-stabilized pavements
Can be used in rigid or flexible pavements; requires additional equipment and materials; can use recycled, site-generated, or marginal materials; improved wet-weather performance




Why Pavements Fail
GeoStab
Underlying soils—insufficient strength or shrinkage/swell reactivity in the subgrade.
Water – causes a loss of pavement mechanical strength. Free water within the pavement is "pumped" up toward the surface by vehicular loading, drawing the finer particles out of the soil matrix and creating space for lubricated particles to move.
Traffic and loading – excessive and poorly regulated traffic volume and loads. Traffic effects are magnified in acceleration/deceleration zones.
Pavement materials – insufficient strength, unsuitable particle size distribution, or reactive materials.
Design – insufficient consideration of drainage, shoulders, cross slopes, lane widths, etc.
Construction – Lack of experience and equipment, poor quality assurance (QA) and testing, particularly regarding moisture content and compaction.
Temperature – causes expansion, contraction, and freeze-thaw cycles in the pavement and wearing course. Large temperature variations accelerate failures.
Maintenance – primarily a failure to maintain the wearing course, leading to water ingress.


GeoStab Key Benefits
GeoStab
Binds the molecules of in-situ soil, cement, and aggregate into a solid waterproof Polymer matrix "floats" on sub-grade with enhanced strength and flexibility (CBR & elmpa > 500%).
Reacts with cement to create an exothermic chemical reaction that "cures" within +/- 3 hours. Traffic may resume immediately upon completion of the roll-out.
Is impervious to water penetration from rain, flooding, and capillary action. Consequently, a GeoStab-treated road does not experience expansion and contraction during freeze-thaw cycles.
It is inert and unaffected by temperatures ranging from 60°C above to 60° below zero; it can be applied in light rain and near-freezing weather, thereby extending the construction season, thus increasing the build season.
Virtually eliminates the need for quarrying and transporting heavy rock, stone, and fines, thereby reducing material and labor costs compared to conventional road construction, plus requiring little to no maintenance, plus low to no maintenance.

Applications

GeoStab

Roads
Subgrade, subbase, and base stabilization for new construction and rehabilitation of temporary and permanent pavements

Hardstands
New construction and rehabilitation of laydown
Yards, site setup, stockyards, and related
Infrastructure.

Heavy work platforms
Crane mats, piling platforms, and drilling rigs.

Airports
Runways and associated aprons.

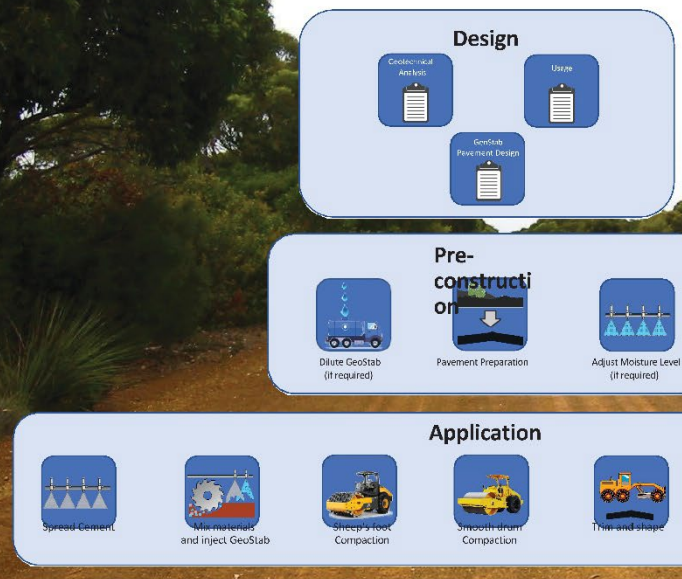
Railways
Stabilisation of subgrade and formation

Waterways
Stabilization of riverbanks, canals, viaducts, and dam linings.

Concrete
GeoStab 300 (in development) will enable the production of concrete using unwashed sand (beach sand, river sand, etc.) and unwashed aggregates with unclean water, such as seawater, while maintaining the designed strength and preventing concrete cancer.

Design & Application Process

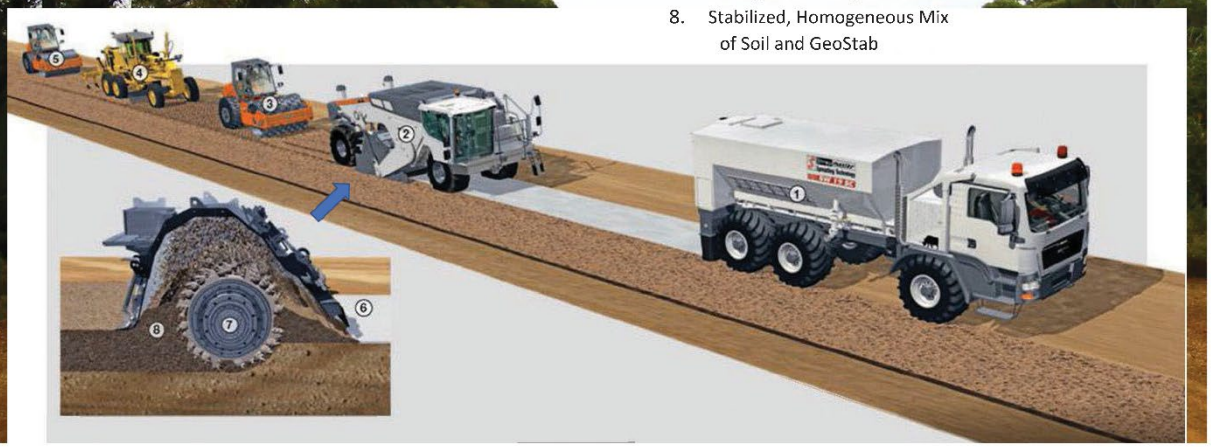
GeoStab



Soil Stabilization Process

GeoStab

1. Binding Agent (Cement) Spreader
2. Soil Stabilizer (also injecting GeoStab)
3. Sheep's-foot Drum Compactor
4. Grader
5. Smooth Drum Compactor
6. Pre-Spread Binding Agent (cement)
7. Milling and Mixing Rotor
8. Stabilized, Homogeneous Mix of Soil and GeoStab



Main Mixing Equipment

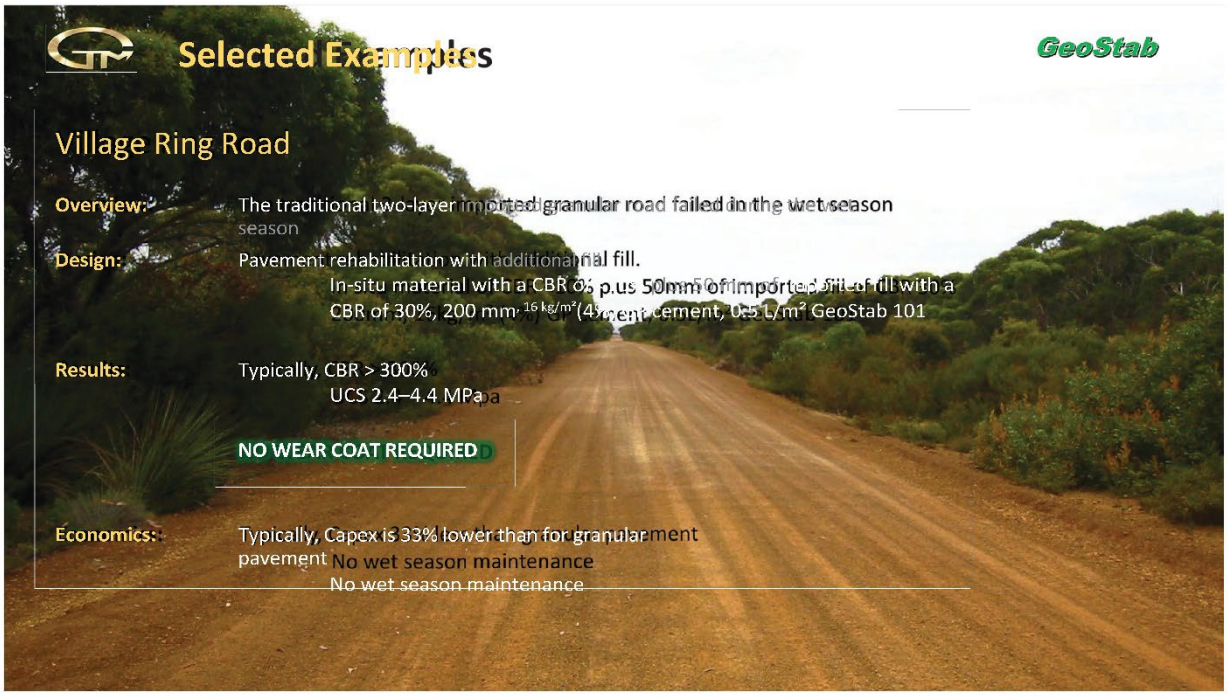
GeoStab

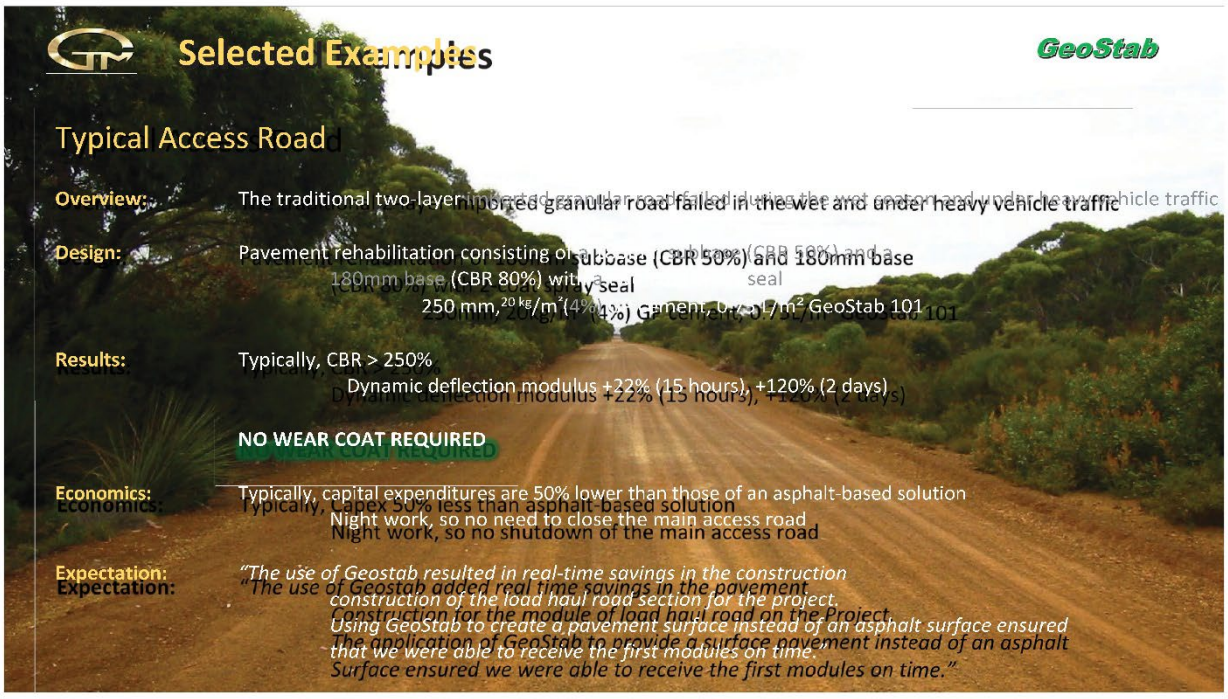


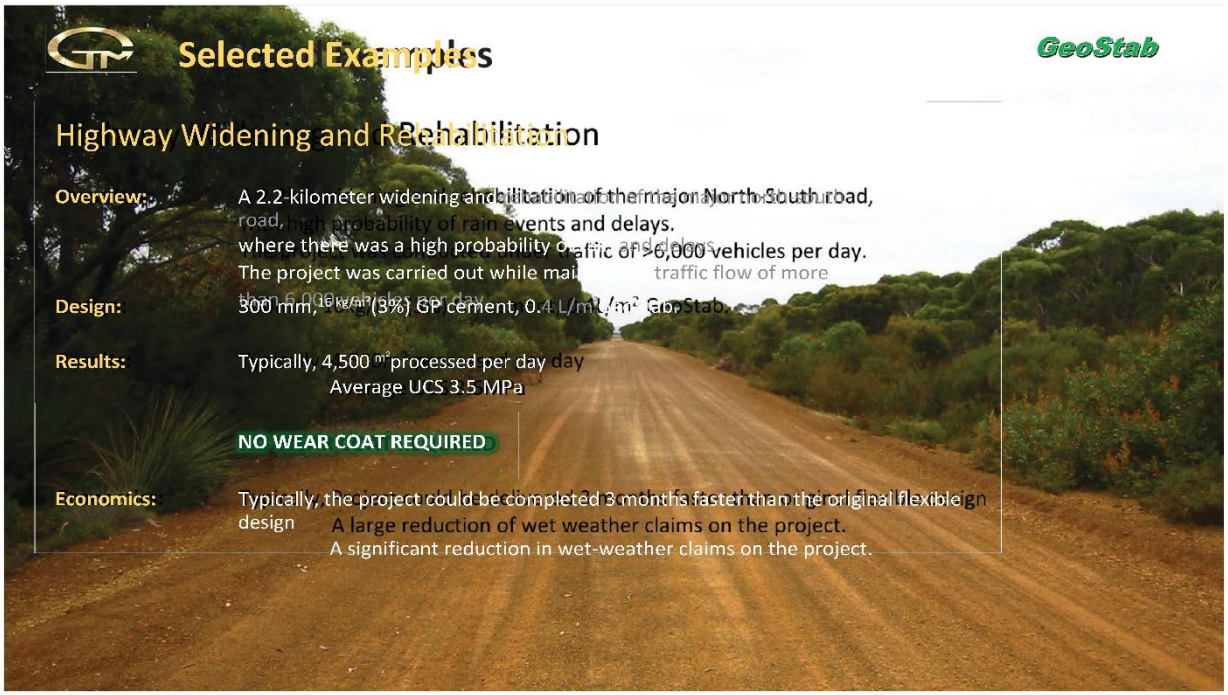
Wirtgen Base Stabilizer for National Highways (Design Speed: 90+ km/h)

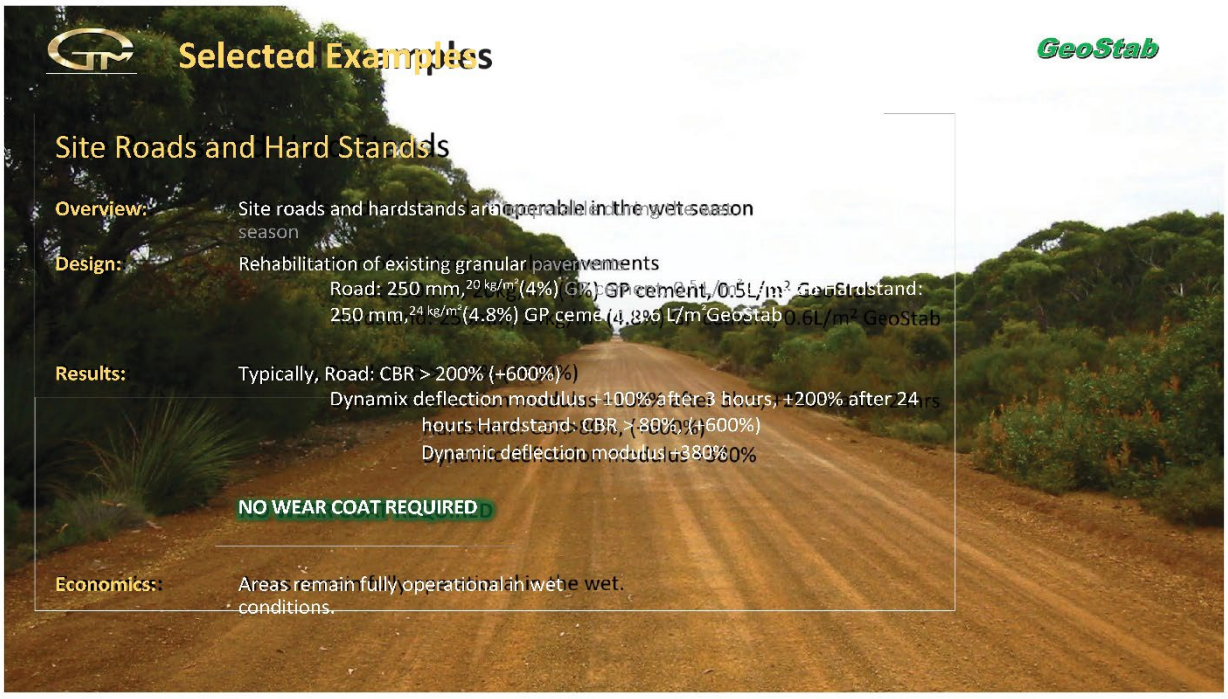


Tractor-Pulled SeaMax-Type Dirt Road Mixer for Local and Provincial Roads (Design Speed: up to 80 km/h)


Selected Examples
GeoStab
Village Ring Road
Overview:
The traditional two-layer imported granular road failed in the wet season
Design:
Pavement rehabilitation with additional fill.
In-situ material with a CBR of 3% p.u.s 50mm of imported fill with a CBR of 30%, 200 mm
16 kg/m²
(4%) cement, 0.5 L/m² GeoStab 101
Results:
Typically, CBR > 300%
UCS 2.4–4.4 MPa
NO WEAR COAT REQUIRED
Economics:
Typically, Capex is 33% lower than for granular pavement
No wet season maintenance
No wet season maintenance


Selected Examples
GeoStab
Typical Access Road
Overview:
The traditional two-layer imported granular road failed in the wet and under heavy vehicle traffic
Design:
Pavement rehabilitation consisting of a subbase (CBR 50%) and 180mm base (CBR 80%) with a seal
250 mm,
20 kg/m²
(4%) cement, 0.5 L/m² GeoStab 101
Results:
Typically, CBR > 250%
Dynamic deflection modulus +22% (15 hours), +120% (2 days)
NO WEAR COAT REQUIRED
Economics:
Typically, capital expenditures are 50% lower than those of an asphalt-based solution
Night work, so no need to close the main access road
Night work, so no shutdown of the main access road
Expectation:
"The use of Geostab resulted in real-time savings in the construction
construction of the load haul road section for the project.
Using GeoStab to create a pavement surface instead of an asphalt surface ensured
Surface ensured we were able to receive the first modules on time."

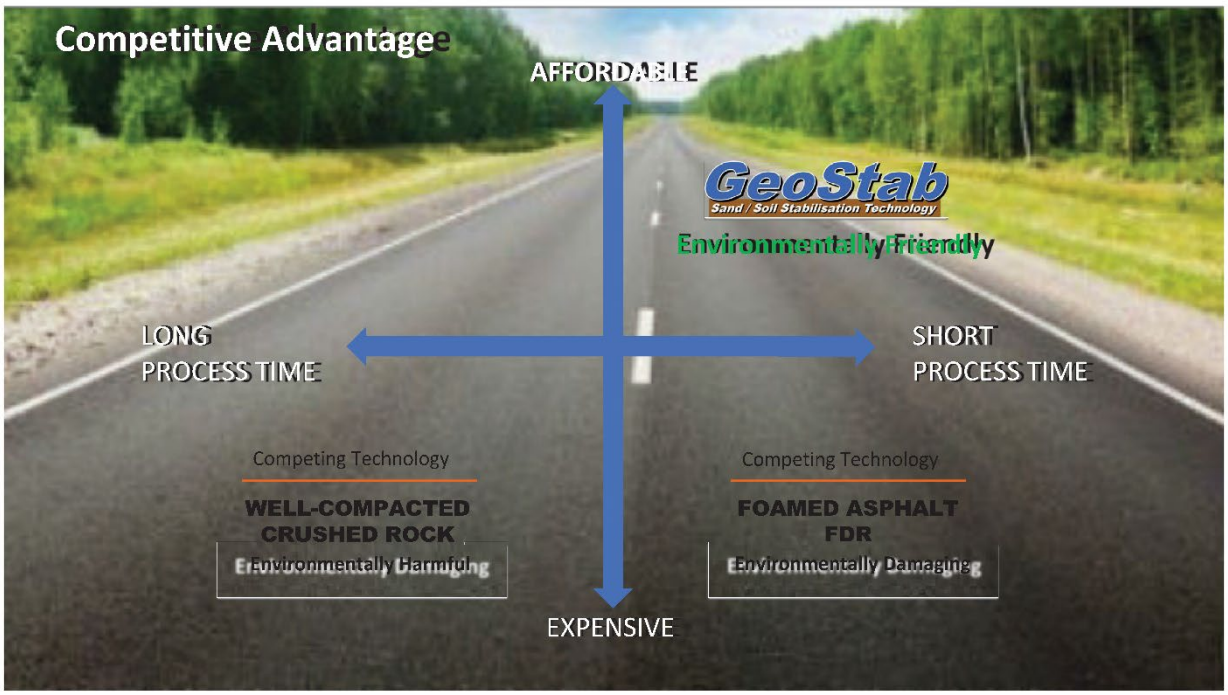

Selected Examples
GeoStab
Highway Widening and Rehabilitation
Overview:
A 2.2-kilometer widening and rehabilitation of the major North-South road,
where there was a high probability of rain events and delays.
The project was carried out while maintaining traffic of >6,000 vehicles per day.
Design:
300 mm, 16 kg/m² (3%) GP cement, 0.4 L/m² GeoStab
Results:
Typically, 4,500 m² processed per day
Average UCS 3.5 MPa
NO WEAR COAT REQUIRED
Economics:
Typically, the project could be completed 3 months faster than the original flexible design
A large reduction of wet weather claims on the project.
A significant reduction in wet-weather claims on the project.

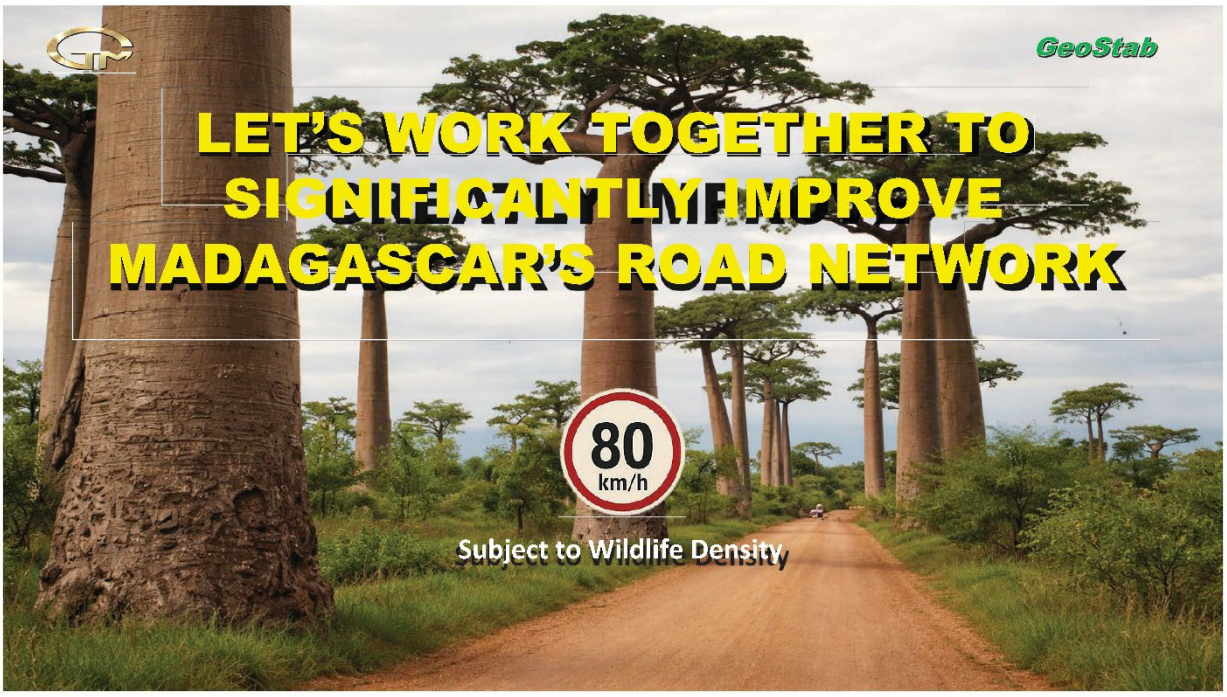

Selected Examples
GeoStab
Site Roads and Hard Stands
Overview:
Site roads and hardstands are operable in the wet season
Design:
Rehabilitation of existing granular pavements
Road: 250 mm, 20 kg/m² (4%) GP cement, 0.5L/m² GeoStab Hardstand:
250 mm, 24 kg/m² (4.8%) GP cement, 0.6L/m² GeoStab
Results:
Typically, Road: CBR > 200% (+600%)
Dynamix deflection modulus +100% after 3 hours, +200% after 24 hours Hardstand: CBR, (+600%)
Dynamic deflection modulus +80%
NO WEAR COAT REQUIRED
Economics:
Areas remain fully operational in wet conditions.


GeoStab
TURN THIS
DIRT ROAD
INTO THIS
GeoStab Stabilized
DIRT ROAD
60
km/h


GeoStab


GeoStab
Competitive Advantage
Low cost
Up to 50% on
application cost
Ease of Use
Utilizes existing
Stabilization equipment
Flexibility
Suitable for all
Soil /subgrade types
GeoStab
Sand / Soil / Clay Stabilization Technology
Fewer Weather Delays
Resistant to
wet weather
downtim
Design and Brand
Memorable name
Easily identified
with end purpose
Eco Friendly
Saves natural resources
Low carbon footprint
Environmentally safe


Competitive Advantage
AFFORDABLE
GeoStab
Sand / Soil Stabilisation Technology
Environmentally Friendly
LONG
PROCESS TIME
SHORT
PROCESS TIME
Competing Technology
WELL-COMPACTED
CRUSHED ROCK
Environmentally Harmfulng
Competing Technology
FOAMED ASPHALT
FDR
Environmentally Damagring
EXPENSIVE


GeoStab
LET'S WORK TOGETHER TO
SIGNIFICANTLY IMPROVE
MADAGASCAR'S ROAD NETWORK
80
km/h
Subject to Wildlife Density


GeoStab
Sand / Soil / Clay Stabilization Technology

Decision Summary

Standardized delta = (GeoStab - baseline) / baseline. A negative value means GeoStab is lower than the baseline.

Project	Length (km)	Width (m)	Area (m^2)	Delivered GeoStab (MGA/kg)
Mahajanga Road Comparison	1.0	6.0	6,000	MGA 39,664.32

Metric	GeoStab	Asphalt	Crushed Rock	Lowest value
Direct subtotal (MGA)	MGA 222,009,552	MGA 432,354,503	MGA 226,386,250	GeoStab
Grand total (MGA)	MGA 244,210,507	MGA 475,589,953	MGA 249,024,875	GeoStab
Cost per m^2 (MGA/m^2)	MGA 40,701.8	MGA 79,265.0	MGA 41,504.1	GeoStab
Processing time (days)	3.0	15.0	10.0	GeoStab
GHG (mt CO2)	4.3	16.1	8.0	GeoStab

GeoStab vs. Asphalt

Metric	Delta	Interpretation	Baseline	Status
Grand total (MGA)	-49%	49% less than Asphalt Road	Asphalt Road	**ADVANTAGE**
Cost per m^2	-49%	49% less than an asphalt road	Asphalt Road	**ADVANTAGE**
Processing time	-80%	80% less than an asphalt road	Asphalt Road	**ADVANTAGE**
GHG	-73%	73% less than an asphalt road	Asphalt Road	**ADVANTAGE**

GeoStab vs. Crushed Rock

Metric	Delta	Interpretation	Baseline	Status
Grand total (MGA)	-2%	2% less than Crushed Rock	Crushed Rock	**ADVANTAGE**
Cost per m^2	-2%	2% less than Crushed Rock	Crushed Rock	**ADVANTAGE**
Processing time	-70%	70% less than Crushed Rock	Crushed Rock	**ADVANTAGE**
GHG	-47%	47% less than Crushed Rock	Crushed Rock	**ADVANTAGE**

Global Trade & Marketing Pty. Ltd.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Ver 2.4 Issued: February 15, 2025

6. IDENTIFICATION

Product Name: **GeoStab**
Product Number: GSTAB101
Brand: GTM

Other Names
None.

Uses
Soil/cement stabilization additive. Concrete admixture.

Company Details

Supplier:	Global Trade & Marketing Pty Ltd	Phone Number:	0433 407 660
Address:	14 Wallan Avenue	Website:	www.gtm-au.com
	Glenmore Park, NSW 2745	Email:	sales@gtm-au.com

Emergency Phone Number: Business Hours: 0433 407 660
After Hours: 000 Fire Department or Police
Poison Control Center: 131126

2. HAZARD IDENTIFICATION

U.N. Number:	None allocated	Class:	None allocated
Hazchem:	None allocated	Poisons Schedule:	None allocated
EPG:	None allocated	Packaging Group:	None allocated

Not classified as a dangerous good for transportation purposes. Not classified as a hazardous material according to Worksafe Australia criteria.

Risk Statement:
R22 Harmful if swallowed

Safety Statement:
S26 In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice. S44 If you feel unwell, contact a doctor or Poisons Information Center immediately (show the label where possible).

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Chemical Entity	CAS No.	Proportion
Proprietary Non-Hazardous Polymer Mixture		<50%
Calcium Chloride	10035-04-8	<20%
Other Non-Hazardous Materials		Balance

4. FIRST AID **MEASURES**

If swallowed	Rinse mouth thoroughly with water immediately. If you feel unwell, seek medical advice.
Eye	Immediately rinse with copious amounts of water for at least 15 minutes. Keep the eyelids open. Seek immediate medical attention.
Skin	Immediately wash contaminated skin with plenty of water, then wash with soap and water. Remove contaminated clothing and wash it before reusing. Seek medical advice.
Inhalation	No data available

Health Effects

Symptoms that may occur if the product is mishandled include:
Acute

Ingestion	Ingestion may cause nausea. Low toxicity.
Eye	May be irritating to the eyes.
Skin	May be irritating to the skin.
Inhalation	Should not occur. However, if heated, it may release mists that could cause respiratory irritation.

Chronic Effects

Repeated or prolonged skin contact may lead to irritant contact dermatitis.

As with any chemical, ingestion, inhalation, and prolonged or repeated skin contact should be avoided through good occupational practices.

Poison control centers in each state capital can provide additional assistance. Advice to

Physicians
Treat symptomatically

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Fire/Explosion Hazards
Materials to avoid:

Extinguishing Media:
In case of fire, use water, foam, carbon dioxide, or dry powder

6. ACCID**E**NTAL RELEASE MEASURES

Clear the area of all unprotected personnel. Wear protective equipment to prevent skin and eye contamination, including respiratory protection.

Slippery if spilled. Contain the material using an inert absorbent, such as vermiculite. Place the material into suitable, labeled containers and hold for waste disposal. Wash the area thoroughly with plenty of water once the material has been removed.

7. HANDLING AND STORAGE

Not classified as a hazardous material for transportation purposes.

Use only plastic (PE, PP, PVC), fiberglass, or stainless steel containers or vessels.
Remove drum bungs slowly to release any internal pressure.

Conditions for Safe Storage:
Store in a cool, dry, well-ventilated area. Keep the container tightly closed when not in use.

** **KEEP CONTAINERS WELL SEALED** **

Avoid contact with eyes and skin. Avoid prolonged or repeated exposure. Always wash hands before smoking, eating, drinking, or using the restroom.

8. EXPOSURE CONTROLS / **PE**PERSONAL PROTECTION

Exposure Standards (for airborne contaminants in the workplace) No value has been

assigned for this product by the NOHSC (Workcover).

TWA		STEL	
ppm	mg/m^3	ppm	mg/m^3

Engineering Controls

Keep concentrations below the recommended exposure limit. Use in a well-ventilated area. Avoid generating and inhaling mists and aerosols. Keep containers closed when not in use. If there is a risk of overexposure, wear an SAA-approved respirator that complies with Australian Standards, ensuring a proper fit to provide adequate protection.

Personal **Protection**

Eyes: Use a face shield, chemical goggles, or safety glasses with side shields, as appropriate.

Skin: Rubber or PVC gloves, coveralls, or a PVC suit; safety or rubber boots

Respiratory: If mist is generated, the use of a chlorine vapor half-face respirator is recommended.

/\Avoid contact with eyes and skin. Avoid prolonged or repeated exposure. Always wash hands before smoking, eating, drinking, or using the restroom.

Flammability

Non-combustible material.

Avoid contact with eyes and prolonged contact with skin. Avoid prolonged or repeated exposure. Always wash hands before smoking, eating, drinking, or using the restroom.

9. PHYSICAL DESCRIPTION / PROPERTIES

Appearance: Milky white liquid.
Flash point: N/A
Boiling point (°C): N/A
Freezing point (°C): approx. 10°C

Specific Gravity: 1.1–1.2
pH (neat solution): 7.5 to 8.5
Solubility in Water (g/L): soluble

Other Properties

Odor: slight/odorless
Solubility: Completely soluble

10. STABILITY , AND REACTIVITY

Chemical Stability:
Stability: GeoStab is stable under normal conditions of use and storage.

Hazardous Decomposition Products:
May emit toxic fumes when heated to the point of decomposition. Nitrogen oxides (NOx) and calcium oxide are

formed. Hazardous Polymerization: Will not occur.

Incompatibilities: None. Conditions

to Avoid: Freezing.

11. TOXICOLOGICAL AND AL INFORMATION

Toxicology:
Oral LD50 (Rat): >8000 mg/kg (calculated)

No adverse health effects are expected if the product is handled in accordance with this Safety Data Sheet and the product label. Symptoms or effects that may arise if the product is mishandled and overexposure occurs include:

Acute Effects

Inhalation: No LD50 data available for this product. Skin

contact: May be irritating to the skin.

Ingestion: May be harmful if swallowed. Swallowing may result in nausea, vomiting, diarrhea, and abdominal pain.

Eye contact: May be irritating to the eyes.

Acute toxicity

Inhalation: This material has been classified as non-hazardous. Acute toxicity estimate (based on ingredients): >80 mg/L

Skin contact: This material has been classified as non-hazardous. Acute toxicity estimate (based on ingredients): >2,000 mg/kg

Ingestion: This material has been classified as non-hazardous. Acute toxicity estimate (based on ingredients): >2,000 mg/kg

Corrosion/Irritation: Eyes: This material has been classified as a Category 2A hazard (reversible effects on the eyes). Skin: This material has been classified as non-corrosive and non-irritating to the skin.

Sensitization: Inhalation: This material has been classified as not a respiratory sensitizer. Skin: This material has been classified as not a skin sensitizer.

Aspiration hazard: This material has been classified as non-hazardous.

Specific target organ toxicity (single exposure): This material has been classified as non-hazardous. Chronic

toxicity

Mutagenicity: This material has been classified as non-hazardous.

Carcinogenicity: This material has been classified as non-hazardous.

Reproductive toxicity (including via lactation): This material has been classified as non-hazardous.

Specific target organ toxicity (repeated exposure): This material has been classified as non-hazardous.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Long-term aquatic hazard: This material has been classified as non-hazardous. A substance that is not rapidly or rapidly degradable for which adequate chronic toxicity data are available, OR, in the absence of chronic toxicity data, an acute toxicity estimate (based on ingredients) of >100 mg/L, where the substance is not rapidly degradable and/or BCF < 500 and/or log Kow < 4.

Ecotoxicity: No data available.

Mobility: No information is available on the mobility of this product. It is completely miscible with water.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

disposal
Consult the State and Land Management Authority and the relevant Environmental Protection Authority. All empty packaging should be disposed of in accordance with local, state, and federal regulations or recycled/remanufactured at an approved facility.

14. TRANSPORT INFORMATION

U.N. Number:	None allocated	Class:	None allocated
Hazchem:	None allocated	Poisons Schedule:	None allocated
EPG:	None allocated	Packaging Group:	None allocated

Classified as hazardous according to NOHSC criteria
Not classified as a dangerous good for the purposes of road and rail transport

Use only plastic (PE, PP, PVC) or fiberglass containers/vessels—as the substance is corrosive to mild and stainless steels. Other tanks should be lined with chloride-resistant materials. Pumps should also be lined with chloride-resistant materials.

ROAD AND RAIL TRANSPORT
Not classified as a Dangerous Good according to the criteria of the "Australian Code for the Transport of Dangerous Goods by Road & Rail" and the "New Zealand NZS5433: Transport of Dangerous Goods on Land".

MARINE TRANSPORT
Not classified as dangerous goods according to the criteria of the International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code) for transport by sea.

AIR TRANSPORT
Not classified as dangerous goods according to the criteria of the International Air Transport Association (IATA) Dangerous Goods Regulations for transport by air.

15. REGULATORY AND AL INFORMATION

Poisons Schedule: N/A

EPG:	N/A
AICS Name:	No data available

16. OTHER INFORMATION

Reason for issue: Revised

Legend for Abbreviations and Acronyms

< less than	> greater than
AICS	Australian Inventory of Chemical Substances
CAS	Chemical Abstracts Service (Registry Number) CO2 Carbon Dioxide

Company Disclaimer

All information contained in this data sheet is as accurate and up-to-date as possible.
Since Global Trade & Marketing Pty. Ltd. cannot anticipate or control the conditions under which this information may be used, each user should review the information in the specific context of the intended application.
Global Trade & Marketing Pty Ltd will not be liable for damages of any kind resulting from the use of or reliance on this information. No express or implied warranties are provided other than those implied by law under Commonwealth, state, or territory legislation.

UNCONTROLLED DOCUMENT.
PLEASE ENSURE YOU HAVE THE CURRENT COPY