

# Lösningar för snabbare utveckling av skogsbilvägar i Sverige

vti

Dina Kuttah  
Dan Lindström  
Mikael Bergqvist  
Mikael Hindrikes  
Tomas Johansson  
Johan Persson  
Nils Anders Olsson

VTI rapport 1228  
Utgivningsår 2025  
[vti.se/publikationer](https://vti.se/publikationer)



VTI rapport 1228

# Lösningar för snabbare utveckling av skogsbilvägar i Sverige

Dina Kuttah

Dan Lindström

Mikael Bergqvist

Mikael Hindrikes

Tomas Johansson

Johan Persson

Nils Anders Olsson

Översatt titel: Solutions for faster development of forest roads in Sweden

Författare: Dina Kuttah (VTI), Dan Lindström (Skogforsk), Mikael Bergqvist (Sveaskog Förvaltnings AB), Mikael Hindrikes (Stora Enso Skog AB), Tomas Johansson (SCA Skog AB), Johan Persson (Kopparfors Skogar AB), Nils Anders Olsson (Holmen Skog AB)

Diarienummer: 2021/0062-9.2

Publikation: VTI rapport 1228

Utgiven av VTI 2025

---

## Publikationsuppgifter – Publication Information

---

**Titel/title**

Lösningar för snabbare utveckling av skogsbilvägar i Sverige/ Solutions for faster development of forest roads in Sweden.

**Författare/Author**

Dina Kuttah (VTI, [orcid.org/0000-0003-0478-1150](https://orcid.org/0000-0003-0478-1150))

Dan Lindström (Skogforsk)

Mikael Bergqvist (Sveaskog Förvaltnings AB)

Mikael Hindrikes (Stora Enso Skog AB)

Tomas Johansson (SCA Skog AB)

Johan Persson (Kopparfors Skogar AB)

Nils Anders Olsson (Holmen Skog AB)

**Utgivare/Publisher**

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut/  
Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)  
[www.vti.se/](http://www.vti.se/)

**Serie och nr/Publication No.**

VTI rapport 1228

**Utgivningsår/Published**

2025

**VTI:s diarienummer/Reg. No., VTI**

2021/0062-9.2.

**ISSN**

0347–6030

**Projektnamn/Project**

Lösningar för snabbare utveckling av skogsbilvägar/ Solutions for more rapid development of forest roads.

**Uppdragsgivare/Commissioned by**

Vinnova via InfraSweden program

**Språk/Language**

Svenska/Swedish

---

## Kort sammanfattning

---

Skogsbilvägnätet är nödvändig infrastruktur för svenskt skogsbruk och en förutsättning för att transportera rundvirke (massaved och timmer) och skogsbränsle samt möjliggöra skogsvård (markberedning, plantering och röjning) och andra åtgärder förknippat med skötsel och förvaltning av naturresursen skog. Skogsbilvägnätet står inför utmaningar på grund av begränsad bärighet och geometri. Anläggningsmetoderna måste utvecklas för att svara mot utmaningarna. Problemen förvärras av allt högre krav på Just-in-Time transporter, lägre lagernivåer i hela försörjningssystemet ökande bruttovikter samt klimatförändringar. Detta projekt har testat innovativa lösningar för att förbättra vägarnas hållbarhet, med deltagande av skogsföretag, transportutförare och forskningsinstitutet Skogforsk.

Skogsföretagen som deltog i projektet byggde varsin provväg för att testa olika lösningar för att öka bärigheten.

- SCA byggde sträckor med varierande bombering och fann att 5 % var optimalt för prestandan, och testade dessutom fördelarna med att bygga en vattenavledningsgupp eller vägbula för vattenavledning (rullande dipp) för förbättrad dränering utanför projektramen.
- Holmen testade stabiliseringstillsatser vilket avsevärt förbättrade bärförmågan hos terrasser med lerhaltiga jordar, även om kostnaderna var högre på grund av bland annat vattning före stabilisering. Holmen fann också att en ökad packningsmetod för lerigt material ökade bärförmågan med 20 % för sin referenssträcka.
- Sveaskog byggde en pilotväg i Överkalix på sandigt vägmateriel och försökte öka bärigheten genom ökad packning, men fann minimala fördelar på grund av vägens sammansättning.
- Stora Enso provade användning av geoceller, vilket förbättrade bärigheten med upp till 64 % och gjorde det möjligt anlägga en grusväg på vattendränkt mark. Dessutom gav geocellerna betydande kostnads- och prestandafördelar jämfört med traditionella metoder.
- Kopparfors förbättrade dräneringen med stenmadrasser och ökade bärförmågan baserat på deras placering och antal.

En kostnadsnyttoanalys visade att Stora Ensos två geocellsarmerade vägar var de mest kostnadseffektiva, eftersom de uppnådde högre bärighet med lägre byggkostnader än referenssträckorna. Holmens kompakterade sektion visade också höga fördelar till låga kostnader och hamnade på tredje plats.

Dessa innovativa metoder visar på lovande strategier för att förbättra de svenska skogsbilvägarnas prestanda och samtidigt balansera kostnader och miljöpåverkan.

### Nyckelord

Bombering, bärighet, dränering, förstärkning, geoceller, kostnads-nyttoanalys, lätt fallvikt test, stabiliseringsmedel, skogsbilvägar, stenmadrasser och ökad packning.

---

## Abstract

---

Swedish forest roads are essential for transporting forest products but face challenges from outdated construction methods, erosion, and limited load-bearing capacity. These issues have been worsened by climate change, heavier transport loads, and the COVID-19 pandemic. This project tackles these challenges by testing innovative solutions to improve road durability, involving forestry companies, demand owners, and research institutes.

In the project, each forestry company built a trial road to test solutions for increasing load-bearing capacity. SCA constructed sections with varied crown slopes of 10%, 5%, and 0%. The finding that a 5% crown slope provided optimal performance, and additionally tested the benefit of constructing a rolling dip for improved drainage out of the project frame.

Holmen tested stabilization additives in Trosa, which improved bearing capacity, though costs were higher due to pre-stabilization watering. Holmen also found that an improved compaction method on clayey material boosted bearing capacity by 20% compared to its reference (unstabilized) road section.

Sveaskog's built a pilot road in Överkalix on sandy road materials and tried to increase the bearing capacity by increased compaction but found minimal benefits due to the road's composition.

Stora Enso used geocells in Värmland, enhancing bearing capacity by up to 64% and making it possible, for the first time in Sweden's forest industry, to construct a gravel road on waterlogged soil. In addition, the geocells delivered substantial cost and performance benefits compared to traditional methods.

Kopparfors improved drainage with stone mattresses in Ludvika, increasing bearing capacity based on their placement and number.

A cost-benefit analysis highlighted Stora Enso's two geocell-stabilized roads as the most cost-effective, achieving higher bearing capacity with lower construction costs than reference sections. Holmen's compacted section also showed high benefits at low costs, ranking third overall.

These innovative approaches demonstrate promising strategies for enhancing Swedish forest road performance while balancing cost and environmental impact.

### **Keywords**

Bearing capacity, Cost-benefit analysis, Drainage, stabilizers, Forest roads, Geocells, Increased compaction, Light-weight deflectometer test, Road crown, Stone mattresses, and Strengthening.

---

## Innehållsförteckning

---

<b>Publikationsuppgifter – Publication Information .....</b>	<b>5</b>
<b>Kort sammanfattning.....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>7</b>
<b>Sammanfattning .....</b>	<b>11</b>
<b>Summary .....</b>	<b>14</b>
<b>Förord.....</b>	<b>17</b>
<b>1. Introduktion.....</b>	<b>19</b>
<b>2. Syfte, mål och effekter .....</b>	<b>20</b>
<b>3. Utvalda utvecklingslösningar .....</b>	<b>21</b>
<b>4. Tillståndsbedömning i fält .....</b>	<b>22</b>
4.1. Lätt fallvikt test.....	22
4.2. Profilmätningar .....	23
4.3. Visuella inspektioner av vägsträckorna och det omgivande terrängen .....	23
<b>5. Stabilisering genom att öka vägens krönlutning .....</b>	<b>24</b>
5.1. Plats för de vägsträckor som testades av SCA .....	24
5.2. Egenskaper hos materialen i vägsträckorna .....	24
5.3. Byggprocessen för vägsträckorna av SCA.....	25
5.3.1. Sträcka 1 -”10% bombering” .....	26
5.3.2. Sträcka 2 -”5% bombering” .....	26
5.3.3. Sträcka 3 -”0% bombering” .....	27
5.4. Testpunkter och mätlayout.....	28
5.5. Mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderexponering.....	29
5.5.1. Mätningar med lätt fallvikt och fuktkvot för SCA sträckor.....	30
5.6. Profilmätningar för SCA sträckor .....	32
5.6.1. Okulär-inspektion för SCA sträckor .....	34
5.7. Viktiga observationer och insikter för SCAs försök .....	39
5.8. Mer med SCA .....	40
<b>6. Stabilisering med låg miljöpåverkan tillsatser .....</b>	<b>42</b>
6.1. Karakterisering av de valda materialen i laboratoriet .....	42
6.2. Plats för de vägsträckor som testades av Holmen .....	49
6.3. Byggprocessen för vägsträckorna av Holmen.....	49
6.4. Trafiksimulering.....	51
6.5. Testpunkter och mätlayout.....	51
6.6. Mätningar efter byggnationen före och efter trafik- och väderpåverkan .....	53
6.6.1. Mätningar med lätt fallvikt och fuktkvot för Holmen sträckor .....	54
6.7. Profilmätningar för Holmen sträckor .....	57
6.7.1. Okulär-inspektion för Holmen sträckor .....	62
6.8. Viktiga observationer och insikter för Holmens försök .....	64
<b>7. Packning med hjälp av tung vältkompaktor .....</b>	<b>65</b>
7.1. Plats för de vägsträckor som testades av Sveaskog.....	65
7.2. Egenskaper hos materialen i vägsträckorna .....	66
7.3. Byggprocessen för vägsträckorna av Sveaskog .....	67



7.4. Trafiksimulering.....	68
7.5. Testpunkter och mätlayout.....	71
7.6. Mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderexponering.....	73
7.6.1. Mätningar med lätt fallvikt och fuktkvot för Sveaskog sträckor .....	74
7.6.2. Profilmätningar för Sveaskog sträckor .....	76
7.6.3. Okulär-inspektion för Sveaskog sträckor.....	81
7.7. Viktiga observationer och insikter för Sveasskogs försök .....	85
<b>8. Förstärkning av skogsbilväg med Geoceller .....</b>	<b>86</b>
8.1. Plats för de vägsträckor som testades av Stora Enso .....	86
8.2. Val och egenskaper av materialen i vägsträckorna .....	87
8.2.1. Val av Geoceller .....	87
8.2.2. Val av överbyggnad material.....	87
8.2.3. Egenskaper av materialen i vägsträckorna.....	87
8.3. Överbyggnadskonstruktion .....	88
8.4. Byggprocessen för vägsträckorna av Stora Enso .....	89
8.5. Effektiviseringspotential .....	91
8.5.1. Materialval.....	91
8.5.2. Maskinval.....	91
8.5.3. Logistik .....	92
8.5.4. Anläggning.....	92
8.6. Trafiksimulering.....	92
8.7. Planerade testpunkter och mätlayout .....	92
8.8. Mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderexponering.....	94
8.8.1. Mätningar med lätt fallvikt och fuktkvot för Stora Enso sträckor .....	95
8.8.2. Profilmätningar för Stora Enso sträckor .....	97
8.8.3. Okulär-inspektion för Stora Enso sträckor.....	101
8.9. Viktiga observationer och insikter för Stora Ensos försök .....	103
<b>9. Stabilisering genom förbättrad dränering med hjälp av stenmadrasser .....</b>	<b>106</b>
9.1. Plats för de vägsträckor som testades av Kopparfors.....	106
9.2. Val och egenskaper av materialen i vägsträckorna .....	107
9.2.1. Val av stenmadrassmaterial och geotextil.....	107
9.2.2. Egenskaper av materialen i vägsträckorna.....	107
9.3. Byggprocessen för vägsträckorna sträckorna med och utan stenmadrasser.....	108
9.4. Effektiviseringspotential .....	112
9.5. Trafiksimulering.....	113
9.6. Testpunkter och mätlayout.....	113
9.7. Mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderexponering.....	116
9.7.1. Mätningar med lätt fallvikt och fuktkvot för Kopparfors sträckor .....	117
9.7.2. Profilmätningar för Kopparfors sträckor.....	119
9.7.3. Okulär-inspektion för Kopparfors sträckor.....	124
9.8. Viktiga observationer, insikter och reflektioner för Kopparfors försök.....	128
<b>10. Kostnads- nyttoanalys.....</b>	<b>129</b>
10.1. Förbättrad dränering med Stenmadrasser (Kopparfors Skogar).....	129
10.1.1. Nytt-/kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Kopparfors försök.....	129
10.1.2. Optimerad nytto-/kostnadsanalys för Kopparfors försök.....	131
10.2. Förbättrad dränering med ökade bomberingsnivåer (SCA Skog).....	133
10.3. Stabilisering med Enzymer (Holmen Skog) .....	134
10.3.1. Nytt-/kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Holmen försök .....	134

10.3.2. Optimerad nytto-/kostnadsanalys för Holmens försök .....	136
10.4. Stabilisering med Geocell/Geoweb (Stora Enso).....	138
10.4.1. Nytto-/kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Stora Ensos försök .....	138
10.4.2. Optimerad nytto-/kostnadsanalys för Stora Ensos försök .....	140
10.5. Packning med hjälp av tung vältkompaktor (Sveaskog).....	141
<b>11.Slutsatser .....</b>	<b>142</b>
<b>Referenser .....</b>	<b>144</b>
<b>Bilaga 1 Inspection Protocol of Gravel Roads .....</b>	<b>146</b>
<b>Bilaga 2 Safety data sheets for Road//stabilizir .....</b>	<b>150</b>
<b>Bilaga 3 Safety data sheets for DUST/BLOKR .....</b>	<b>157</b>
<b>Bilaga 4 Safety data sheets for TerraZyme .....</b>	<b>164</b>

---

## Sammanfattning

---

Sverige har ett stort nätverk av enskilda vägar, där hälften av dessa (ca 23 000 mil) är skogsbilvägar. Skogsbilvägarna i Sverige har problem med bärighetsnedsättningar vid tjällossning och höstregn. Detta förvärras av otillräcklig dränering, högre totalvikt på lastbilar (från tidigare 60 ton till dagens 74- respektive 74 ton) samt ännu mer frekvent användning på grund av ökad ökade leveranser och låga lagernivåer av virke i alla led från skog till industri. Ur ett miljöperspektiv har ökningen av lastbilars totalvikt från 64 ton till 74 ton resulterat i en minskning av koldioxidutsläppen med ca 11 %.

Problemet är att svenska skogsbilvägar fortfarande byggs med låga bärighetskrav baserade på gamla designriktlinjer. Därför kan många av dessa vägar, även de nya, varken stå emot de tunga lastbilarna, klimatutmaningarna eller ökningen av det årliga genomsnittliga trafikflödet.

Eftersom det inte kommer att vara möjligt att transportera förnybara skogsprodukter effektivt och miljövänligt utan fungerande skogsbilvägar, syftar det nuvarande projektet till att utveckla skogsbilvägarna, från design och konstruktion till drift och underhåll. Projektets fokus ligger på skalbara, snabbt genomförbara och resurseffektiva metoder för att utveckla skogsbilvägsinfrastrukturen. Genom att använda nya teknologier och material vid konstruktion och underhåll av dessa vägar ökas deras kapacitet att stå emot nya utmaningar och krav. Många nyckelaktörer från skogsindustrin, problemägare och forskningsinstitut deltar i det nuvarande projektet, vilket gör det unikt och en av de största gemensamma investeringarna i utvecklingen av skogsbilvägar av skogsindustriföretagen i Sverige.

Projektet inleddes med en litteraturoversikt för att identifiera de bästa metoderna. I projektets kickoff-möte presenterade VTI åtta lösningar, där varje deltagande skogsbolag ansvarade för en pilotväg med en specifik metod. Nedan följer en sammanfattning av resultaten för varje skogsbolag.

SCA beslutade att bygga en pilotväg indelad i tre sektioner med olika tvärsnittningar (10 %, 5 % och 0 % bombering) samt implementera en extra lösning utanför projektet i form av en ”vattenavledningsgupp” för förbättrad dränering. Resultaten visade att vägsträcka med 10 % och 5 % bombering presterade bättre än den med 0 %, där den sistnämnda uppvisade snabbt långsgående sprickor och ojämnheter. Kornfördelningen visade att materialet hade tryckts ned snarare än förflyttats, vilket gav insikter om stabilitet under körning. En lutning på 4–5 % ansågs optimalt för att minska slitage och underhållsbehov.

Holmen Skog stabiliserade en befintlig väg i Trosa med två tillsatsblandningar på två testsektioner, medan en tredje sektion lämnades ostabiliserad som kontroll. Resultaten från LWD-mätningar visade på högre bärighet för de stabiliserade sektionerna, men de var också mer kostsamma på grund av bevattnings före stabiliseringen. Kostnadseffektiviteten kan potentiellt öka med regn som naturlig fuktälla och bättre enzymspridningstekniker. Stabilisering med enzymer kräver tillräcklig lerfraktion och materialegenskaper för att vara fruktbart för att öka bärförmågan hos det stabiliserade materialet, som i fallet med Holmens, där pilotvägsmaterial undersöktes på laboratoriet för att verifiera dess lämplighet för enzymstabilisering.

Sveaskog byggde en pilotväg i Överkalix för att testa olika packningsmetoder, där en del av vägen packades och en annan del lämnades opackad som referens. Fördelarna med tung packning var inte uppenbara för pilotvägen i Överkalix där det huvudsakliga vägbyggnadsmaterialet bestod av sandfraktion. Den ökade komprimeringsåtgärden visade dock betydande fördelar, med en 20 % ökning av bärförmågan för den ostabiliserade lervägssektionen som byggdes av Holmen i Trosa.

Stora Enso valde att implementera geoceller i sin vägkonstruktion i Värmland. De positiva resultaten visade en förbättring av bärigheten med en referenssträcka utan geoceller. Trots högre fuktkvot i materialet kunde geocellerna hantera den ökade belastningen från tunga maskiner utan deformation, vilket tydligt demonstrerade geocellernas förmåga att förstärka väggroppen och minska risken för sättningar och andra stabilitetsproblem.

Kopparfors Skogar använde stenmadrasser för dränering på en väg nordost om Grängesberg. Stenmadrasserna visade sig öka bärigheten betydligt jämfört med referenssektionen, där förbättringens omfattning var beroende av avståndet mellan madrasserna. Denna metod möjliggjorde effektiv dränering, vilket skyddar vägen från vattenrelaterade skador.

Bland de metoder och utrustningar som användes under tillståndsbedömning för varje pilotväg före och efter trafik- och väderpåverkan har det också konstaterats att för fyra av de valda lösningarna:

- stabilisering med enzymer,
- ökad packning,
- stabilisering med geoceller och
- stabilisering med stenmadrasser,

var bedömningen med hjälp av lätt fallvikt lämplig och man kunde få kvantifierade resultat för jämförelse.

För åtgärden bombering fluktuerade resultaten från lätt fallvikt medan den okulära traditionella inspektionen har visat sig vara tillräcklig bra och lämplig för att bedöma vägens tillstånd istället för lätt fallvikt. Till exempel hade vägsträckan med 0 % bombering som byggdes av SCA många gropar och långsgående sprickor som inte kunde återspeglas via Evd-mätning genom lätt fallvikt och den höga bomberingen på 10 % kan också ha påverkat resultaten från lätt fallvikt.

Dock, den okulära inspektionen kvantifierar dock vanligtvis inte bedömningen, så ingen kostnadsnyttoanalys kunde utföras för SCA:s pilotväg.

Kostnadsnyttoanalysen har utförts på fyra av fem valda lösningar, nämligen ökad packning för Holmens referenssträcka, stabilisering med geoceller med Stora Enso, enzymstabilisering med Holmen och stabilisering med stenmadrasser med Kopparfors.

Kostnadsnyttoanalysen utfördes inte för Sveaskogs åtgärd med ökad packning eftersom ingen ökning av bärigheten kunde rapporteras.

Störst nytta av samtliga delprojekt, har uppnåtts på Stora Ensos sträcka 2 (geotextil, geocell, sorterat material, krossat material) där geocellerna fyllts med sorterat material intill väglinjen med 19,68 MPa (64,42 %) ökad EVD. Total besparing jämfört med referenssträckan har beräknats till ca 70 kr/m vid försökstillfället och kostnadsbesparingen bedöms vid optimala förhållanden kunna vara ca 500kr/m väg jämfört med referenssträckan som är anlagd enligt konventionella metoder.

Näst högst nytta har uppnåtts av Stora Ensos Sträcka 1 (geotextil, geocell, krossat material) där väg byggts med geoceller fyllda med krossat bergmaterial med 15,88 MPa (52 %) ökad EVD. Totala kostnadsbesparingen beräknades till 2,90 kr/m väg vid försökstillfället och de uppskattade besparingsmöjligheterna, vid optimala förhållandena bedömdes vara ca 430 kr/m väg jämfört med referenssträckan.

Båda Stora Ensos försök gav högre bärighet och besparing jämfört med referenssträckan.

Holmen Skogs sträcka 2:2 (referenssträcka kompakterad med tungvält) visade en relativt hög ökning av EVD till låg kostnad jämfört med den opackade referenssträckan 2:1. På den komprimerade sträckan uppmättes en ökning av EVD med 4,24 MPa (21 %) jämfört med den okompakterade sträckan. Kostnaden för denna ökning uppgick till 3,4 kr per meter väg och ökad EVD i MPa.

I de två delprojekt som genomfördes av Holmen skog, stabilisering med enzymer och Kopparfors Skogar, dränering med stenmadrasser uppnåddes bärighetshöjande effekt, men inte en kostnadsbesparing. Detta innebär att nyttan definieras som kostnad, kr/m väg. Av dessa projekt och delsträckor har lägst kostnad i förhållande till erhållen bärighetshöjning uppnåtts av Holmen Skogs

Sträcka 3, TZ med 2,43 MPa (11 %) ökad Evd till en kostnad av 27 kr/m väg per ökad Evd i MPa och med möjlighet att minska kostnaden ytterligare till 13 kr/m väg per ökad Evd i MPa.

Notera att Holmens vägsträck som stabiliserats med RS/DB har visat beständighet mot damm under flera månader och att effekten förväntas hålla i sig under en längre period. Denna minskning av damm har en positiv inverkan på hälsan. Dessa fördelar, tillsammans med potentiella kostnadsbesparingar till följd av minskat underhåll, har inte tagits med i den befintliga kostnads- och nyttoanalysen.

Denna genomgång visar på olika metoder för vägförbättring, där varje metod har specifika fördelar beroende på marktyp och dräneringsbehov. Projektets erfarenheter har gett värdefulla insikter i hur stabilisering och kompaktering av skogsbilvägar kan optimeras, vilket kan bidra till hållbarare vägunderhåll och långsiktigt kostnadseffektiva lösningar.

---

## Summary

---

Sweden has a wide network of private roads. Half of these roads are forest roads. Nowadays, the forest roads in Sweden are suffering from frequent rain and freeze-thaw problems due to climate change, insufficient drainage, higher gross weight of trucks (from a previous 64 tons to 74 tons), and even more frequent use due to increasing demand for forest products. From an environmental point of view, an increase in the gross weight of trucks from 64 tons to 74 tons has reduced carbon dioxide emissions by 11%.

The problem is that Swedish forest roads are still built with low bearing capacity requirements based on old design guidelines. Therefore, many of these roads, even new ones, can neither withstand the heavy gross weight of trucks, the climate challenges nor such an increase in the annual average daily traffic.

Since it will not be possible to transport renewable forest products effectively and environmentally friendly without functional forest roads, the current project aims to develop the forest roads, from design and construction to operation and maintenance. The focus of the project is scalable, quickly implemented, and resource-efficient methods for developing the forest road infrastructure. Using new technologies and materials in constructing and maintaining these roads will increase their capacity to withstand new challenges and requirements. Many key players from the forestry industry, problem owners, and research institutes are participating in the current project, something which makes it unique and one of the largest investments in forest road development by the forest industrial companies in Sweden.

The project began with a literature review to identify the best methods. In the project's kickoff meeting, the project leader from VTI presented eight solutions, each participating forestry company built a pilot road using one of the suggested solutions. Below is a summary of the chosen methods and results for each forestry company action.

SCA decided to construct a pilot road divided into three sections with different crown slopes (10%, 5%, and 0%) and implemented an additional solution outside the project, a "rolling dip" for improved drainage. The results showed that the 10% and 5% crowned sections performed better than the 0% section, which rapidly exhibited longitudinal cracks and irregularities. A crown slope of 4-5% was considered optimal to reduce wear and maintenance needs.

Holmen Forestry Company stabilized an existing road in Trosa using two additive mixtures (RS/DB and TerraZyme) on two different test sections, while a third section was left unstabilized as a control. Results from light weigh deflectometer (LWD) measurements showed higher bearing capacity for the stabilized sections, but they were also more costly due to pre-stabilization watering. Cost-effectiveness could increase with rain as a natural water source and improved enzyme application techniques. Stabilization with enzymes requires sufficient clay fraction and material properties to be fruitful in increasing the bearing capacity of the stabilized material, as in the case of Holmen's pilot, the road material was investigated in the laboratory to verify its suitability for enzyme stabilization.

Sveaskog built a pilot road in Överkalix to test different compaction methods, with one part of the road compacted and another left uncompacted as a reference. The benefits of heavy compaction were not evident for the pilot road in Överkalix in which the main road construction material where of sand fraction. However, the increased compaction effort action showed significant advantages, with a 20% increase in bearing capacity for the unstabilized clay road section built by Holmen in Trosa.

Stora Enso chose to implement geocells in their road construction in Värmland. The positive results showed an improvement in bearing capacity of up to 64% compared to a reference section without geocells. Despite the waterlogged ground in the construction site, the geocells were able to handle the increased load from heavy machinery without deformation, clearly demonstrating the geocells' ability to reinforce the road body and reduce the risk of subsidence and other stability issues.

Kopparfors Skogar used stone mattresses for drainage on a road northeast of Grängesberg. The stone mattresses significantly increased bearing capacity compared to the reference section, with the extent of improvement depending on the spacing of the mattresses. This method enabled efficient drainage, protecting the road from water-related damage.

Among the methods and equipment used during the condition assessment for each pilot road before and after traffic and weather impacts, it has been found that for four of the selected solutions, namely stabilization with enzymes, increased compaction, stabilization with geocells, and stabilization with stone mattresses, the assessment using light falling weight was appropriate and quantified results could be obtained for comparison. For the increased crown slope solution, the results fluctuated from light falling weight while the visual traditional inspection has proved to be sufficiently good and suitable to assess the road condition instead of LWD test. For example, the 0% crown slope road section built by SCA had many potholes and longitudinal cracks that could not be reflected via Evd measurement by LWD test, and the high crown slope of 10% may also have affected the results from LWD.

However, the visual inspection does not usually quantify the assessment, so no cost-benefit analysis could be performed for the SCA pilot road. The cost-benefit analysis has therefore been performed on four out of five selected solutions, namely increased compaction for Holmen's reference road, stabilisation with geocells with Stora Enso, enzyme stabilisation with Holmen and stabilisation with stone mattresses with Kopparfors. Note that the cost-benefit analysis has not been performed for Sveaskog's action with increased compaction as no increase in bearing capacity was reported with increased compaction for this trial when performed on sandy soil.

In summary, the greatest benefit of all sub-projects has been achieved on Stora Enso's section 2 (geotextile, geocell, graded soil, crushed soil) where the geocells were filled with graded material with 19.68 MPa (64.42%) increased EVD. Total savings compared to the reference section have been calculated to 69.86 SEK/m at the time of the experiment and the cost savings are estimated at optimal conditions to be 503.46 SEK/m road compared to the reference section constructed according to conventional methods.

The next highest benefit has been achieved by Stora Enso's Section 1 (geotextile, geocell, crushed rock) where the road was built with geocells filled with crushed rock material with 15.88 MPa (51.98%) increased EVD. The total cost saving was calculated to be 2.90 SEK/m road at the time of the trial and the estimated savings potential, under optimal conditions, was estimated to be 430.98 SEK/m road compared to the reference section.

Both Stora Enso's trials stand out in that, in addition to providing higher load-bearing capacity, they also gave lower construction costs than the reference section

Holmen Skog's section 2:2 (reference section compacted with heavy roller) showed a relatively high increase in EVD at low cost compared to the uncompacted reference section 2:1. On the compacted section, an increase in EVD of 4.24 MPa (20.52%) was measured compared to the uncompacted section. The cost of this increase was 3.41 SEK per meter of road and increased EVD in MPa.

In the two sub-projects carried out by Holmen Skog, stabilization with enzymes, and Kopparfors Skogar, drainage with stone mattresses, a load-bearing capacity-enhancing effect was achieved, but not cost-saving. This means that the benefit is defined as cost, SEK/m road. Of these projects and sections, the lowest cost in relation to the increase in bearing capacity achieved was achieved by Holmen Skog's Section 3, TZ with 2.43 MPa (11.42%) increased EVD at a cost of SEK 27.22/m road per increased EVD in MPa and with the possibility of reducing the cost further to SEK 12.77/m road per increased EVD in MPa.

Note that Holmen road section stabilized with RS/DB has shown resistance to dust for several months and the effect is expected to last for a longer period. This reduction in dust has a positive impact on

health. These benefits, together with potential cost savings due to reduced maintenance, have not been included in the present cost-benefit analysis.

This overview highlights various road improvement methods, each with specific advantages depending on soil type and drainage needs. The project's experiences have provided valuable insights into how stabilization and compaction of forest roads can be optimized, which could contribute to more sustainable road maintenance and long-term cost-effective solutions.



---

## Förord

---

Detta projekt syftar till att förbättra bärigheten och hållbarheten hos svenska skogsbilvägar, som är avgörande för transport av skogsprodukter. Skogsbilvägarna står inför stora utmaningar, särskilt på grund av ökade transportkrav, klimatförändringar och tyngre transporter. Då vägkonstruktioner och underhållsmetoder på dessa vägar länge varit oförändrade, uppstår ofta problem med begränsad bärighet och tillgänglighet. För att hantera dessa problem behövs innovativa lösningar och nya tekniker.

Projektet har involverat omfattande tester av tekniska lösningar och inkluderat byggandet av olika pilotvägar för att utvärdera effekten av dessa åtgärder. Bland annat har ökade packningsmetoder, användning av geoceller, stabiliseringsmedel, stenmadrasser och tillståndsbedömning med lätt fallviktstest prövats. Resultaten visar på positiva effekter, såsom förbättrad bärighet och effektiv dränering, även om effekterna varierar beroende på vägmateriäl och lokala förhållanden.

Projektledaren vill rikta ett varmt tack till alla som bidragit till projektet, som pågått mellan 2021-5-31 och 2024-12-31 med en total budget på cirka 6 million kronor, varav 2 300 000 kronor finansierats av Vinnova genom InfraSweden-programmet. Projektet är kopplat till ett spridningsprojekt som fått ytterligare 200 000 kronor i stöd från Vinnova. Deltagande parter SCA, Sveaskog, Holmen, Stora Enso och Kopparfors har bidragit med finansiering och expertis. VTI har koordinerat projektet, ansvarat för tester och klargjort mål och resultat, medan Skogforsk har genomfört kostnadsnyttoanalysen. Skogsstyrelsen, Trafikverket Enskilda vägar, Riksförbundet Enskilda Vägar och Södra Skogsägarna har bidragit med insikter och medfinansiering. Projektledaren riktar ett varmt tack till samtliga deltagare enligt listan nedan för deras värdefulla stöd och engagemang.

- **VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut:** Andreas Waldemarson, Håkan Arvidsson och Henrik Hellman.
- **Skogforsk, Stift Skogsbrukets Forskningsinstitut:** Dan Lindström, Daniel Noreland och Gert Andersson.
- **SCA Skog:** Tomas Johansson och Daniel Yring.
- **Sveaskog Förvaltnings AB:** Torsten Wiborgh, Mikael Bergqvist, Mattias Forsberg och Linda Svedberg.
- **Holmen Skog AB:** Nils Anders Olsson.
- **Stora Enso Skog AB:** Mikael Hindrikes, Staffan Ludewig, Andreas Kursu, Viktor Johansson, Linn Olsson och Kenneth Johansson.
- **Kopparfors Skogar AB:** Johan Persson, Johan Skoog och Anders Norlin.
- **Skogsstyrelsen:** Kristina Thureson och Stefan Gunnarsson.
- **Trafikverket Enskilda vägar:** Emil Svedin och Dan Pettersson.
- **Riksförbundet Enskilda Vägar:** Bengt Johansson.
- **Södra Skogsägarna ekonomisk förening:** Joel Persson

Vi hoppas att projektets resultat kommer att stödja långsiktiga förbättringar av skogsbilvägar i Sverige, öka deras tillgänglighet och bärformåga samt minska deras miljöpåverkan.

Linköping, december 2024

*Dina Kuttah*  
*Projektledare*

**Granskare/Examiner**

Gert Andersson, Skogforsk.

De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning. The conclusions and recommendations in the report are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of VTI as a government agency.

**Publikationen godkänd för publicering**

Björn Kalman, VTI

---

## 1. Introduktion

---

Skogsprodukter är en viktig del av den svenska bioekonomin. Med ett samlat exportvärde på ca 180 miljarder och över hundratusen människor sysselsatta bidrar näringen starkt till landets ekonomi. Värdet av växtliga skogar som CO<sub>2</sub> sänka och substitutionseffekten (ersätta oljebaserade produkter med biomaterial) svarar tillsammans för en kolsänka motsvarande Sveriges samlade CO<sub>2</sub> utsläpp årligen. Försörjningsberedskapen som det innebär att inom landet kunna tillverka produkter som hygien- och sanitetsprodukter, biomassa, bioenergi och etanol för desinfektionsmedel, andningsskyddspapper och andra träbaserade material, inte minst timmer för byggproduktion. En liten påminnelse kring värdet av detta kom under Covidkrisen.

Transporterna på det enskilda skogsbilvägnätet är omfattande. Ca 80 miljoner ton skogsråvara transporteras från skog till industri, de första 5 kilometrarna på enskilda skogsbilvägar. Utan dessa skogsbilvägar skulle ett rationellt skogsbruk inte kunna genomföras. Dessutom tjänar det enskilda skogsbilvägnätet som en viktig infrastruktur för landsbygden, t.ex. för åtkomst vid brand-bekämpning och räddningsinsatser, friluftsliv, jordbruk mm.

Skogsvägarna har begränsad framkomlighet och bärighet, inte minst under tjällossning och höstregn. och skogsbruket har höga underhållskostnader för dessa vägar.

Byggmetoder och underhållsrutiner behöver därför utvecklas När skador uppstår kan transporter avbrytas, begränsningar av lastkapaciteten införs eller vägar stängas helt, vilket stör skogstransporterna. Forskning har visat att prestandan hos grusvägar påverkas starkt av tunga transporter och klimatpåverkan, vilket ytterligare understryks i studien av Kuttah (2016) och Kuttah och Arvidsson (2017), där sådana vägar visat sig vara särskilt känsliga för erosion och deformation under hög belastning.

Den begränsade tillgängligheten av råvara på grund av skogsbilvägars minskade bärighet får ekonomiska konsekvenser för skogsbilvägsbolagen. Det handlar bland annat om kostnader för att bygga upp virkeslager för att säkerställa en stabil försörjning till industrier under begränsad framkomlighet och ökade transportkostnader (Riksdagsrapport RFR16, 2018). Problemen med de svenska skogsbilvägarna förvärras av klimatförändringarna och tyngre transportlast. Klimatförändringarna har lett till blötare höstar och längre tjällossningsperioder, vilket orsakar mer frekventa vägvängningar. Sedan 2018 är det dessutom tillåtet för lastbilar att köra med en bruttovikt på 64- respektive 74 ton, vilket ytterligare ökar kraven på skogsbilvägarnas bärighet. Tyngre fordon, i kombination med förändrade väderförhållanden, orsakar betydande slitage på vägnätet. När vatten tränger djupare ner i väggroppen minskar bärigheten, vilket gör att vägarna försämras snabbare för varje fordon som passerar, särskilt när lastbilarna är överlastade.

Större laster kan minska transportkostnaderna och bränsleförbrukningen, men kräver också bättre bärighet på skogsbilvägarna. Problemet är att de svenska skogsbilvägarna fortfarande är byggda enligt föråldrade konstruktionsriktlinjer med låga krav på bärighet, vilket visar på ett akut behov av modernisering, vilket detta projekt föreslår. För att möta dessa krav krävs innovativ teknik som stärker väginfrastrukturen för att matcha dagens industriella behov. Detta projekt syftar till att öka bärigheten på svenska skogsbilvägar för att maximera tillgängligheten och förbättra transporteffektiviteten.

Genom att utveckla och testa innovativa lösningar utgör detta initiativ en av Sveriges största gemensamma investeringar i utveckling av skogsbilvägar, med fokus på att förbättra både vägens hållbarhet och transporteffektiviteten inom hela skogsindustrin.

---

## 2. Syfte, mål och effekter

---

Det aktuella projektet syftar till att utveckla skogsbilvägar i Sverige för att främja smidiga transporter av skogsråvara, även under kritiska klimatförhållanden och med höga lastvikter på lastbilarna. Det undersöker åtgärder för att öka skogsbilvägars bärighet genom ny teknik för stabilisering, dränering och materialval samt testar ny praktisk utrustning för att bedöma tillståndet på både nya och befintliga skogsbilvägar.

För att bidra till att lösa de ovan nämnda problemen ingår i projektet en kunskapssammanställning om den senaste forskningen och de åtgärder som finns tillgängliga nationellt och internationellt, framtagna av universitet och forskningsinstitut. Genom denna åtgärd ökar innovationsgraden i underhållet av befintliga och byggandet av nya svenska skogsbilvägar.

Projektet omfattar flera områden inom transportinfrastruktursektorn som har möjlighet att utvecklas inom ramen för projektet, vilka beskrivs nedan:

- **Effektivare byggande av skogsbilvägar:** Inkluderar kvalitetskontroll med hjälp av lätt fallvikt test (LWD).
- **Modern och effektiv drift och underhåll:** Föreslår nya, innovativa tekniker och material för att reparera och förlänga livslängden på både nya och befintliga skogsbilvägar. Dessa insatser ligger i linje med behovet av en snabb utveckling av Sveriges transportinfrastruktur.
- **Förbättrad vägtillgänglighet:** Bidrar till långsiktig utveckling genom att höja tillgänglighetsklasserna på befintliga vägar.
- **Ökad konkurrenskraft för den svenska skogsbilvägssektorn:** Stödjer mer hållbara och funktionella skogsbilvägar som kan matcha de allmänna vägarnas prestanda.
- **Minskad klimat- och miljöpåverkan:** Bidrar till minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp genom att utveckla skogsbilvägar för att klara tunga lastbilslaster (64–74 ton), vilket skulle minska antalet lastbilar som behövs för att transportera samma volym skogsprodukter.

---

### 3. Utvalda utvecklingslösningar

---

Projektet inleddes med en litteraturoversikt som syftade till att identifiera och utvärdera de mest effektiva metoderna för att stabilisera och förbättra skogsbilvägar. Vid kick off- mötet med projektparterna presenterade VTI-s projektledare åtta lovande lösningar som skulle kunna förbättra utvecklingen av skogsbilvägar i Sverige avsevärt. Den ursprungliga planen var att bygga fem pilotvägar som implementerade fem olika lösningar, där varje deltagande skogsbolag ansvarade för en lösning.

SCA valde att utvärdera effekten av att testa en kraftigare bombering än vad som vanligtvis används vid byggnation av skogsbilvägar i Sverige. Samtidigt syftar studien till att verifiera att en plan yta eller en mycket låg bombering resulterar i snabbare uppkomst av vägskador. Dessutom den valda åtgärden, har SCA valt att gå vidare med en till åtgärd. Förutom att konstruera en pilotväg indelad i tre sträckor med tre olika bomberingar beslutade SCA att implementera en vattenavledningsgupp nära pilotvägen. Företaget tog fullt ansvar för kostnaden av denna andra lösning, som genomfördes utanför projektets ramverk. Det är dock intressant att lyfta fram ytterligare en lösning i rapporten, eftersom den ger värdefulla insikter om vägprestanda och stabilisering.

Holmen Skogsbolag har valt att stabilisera en av sina befintliga vägar i Trosa med låg miljöpåverkan tillsatser. För projektet valdes två olika stabiliseringsblandningar ut baserat på VTI litteraturstudie. Var och en av de utvalda tillsatsblandningarna anpassades för en specifik teststräcka på vägen. Dessa låg miljöpåverkan tillsatser är utformade för att förbättra vägens hållbarhet samtidigt som de minskar den negativa miljöpåverkan. En tredje del av vägen har lämnats ostabiliserad för att fungera som en kontrollsträcka, vilket möjliggör en jämförelse mellan de behandlade och obehandlade sträckor. Holmen har dessutom utvärderat effekten av tung packning på lerhaltigt material genom att dela en referenssträcka i två delar: en del som packats ordentligt och en annan som lämnats opackad.

Sveaskog byggde en pilotväg för att testa olika kompakteringsmetoder på sanding vägmateriel. Både en befintlig väg och en nyanlagd väg valdes ut för försöket, där varje väg delades upp i två sträckor: den ena lämnades okompakterad och den andra kompakterades med hjälp av en tung rullvält. Syftet med denna metod är att utvärdera fördelarna med packning på pilotvägen genom att jämföra egenskaperna hos de packade och opackade sträckorna.

Stora Enso har valt att bygga sin pilotväg med geoceller. Projektet byggdes väster om Karlstad i Värmlands län och har valts utifrån tillgängligt markinnehav och utifrån lämplig jordart ur geoteknisk synvinkel för att utvärdera geocellernas bärighetsförbättrande effekt. Projektet delades in i tre sträckor där två av sträckorna byggdes med geoceller som en del av konstruktionens överbyggnad och en sträcka byggdes utan geoceller som en referenssträcka för att representera traditionell överbyggnadskonstruktion för en skogsbilväg, dvs. en obunden väg med grusslitlager.

Kopparfors Skogar har beslutat att anlägga sina pilotvägar med hjälp av stenmadrasser. Dessa madrasser fungerar som ett dräneringssystem som är utformat för att förbättra dräneringskapaciteten hos oasfalterade vägar. De består av ett lager av permeabla material, täckta med geotextilier, som underlättar vattnets rörelse bort från vägkroppen. Projektet ägde rum nordost om Grängesberg i Ludvika kommun och valdes ut baserat på aktuell vägs standard med bristande bärighet. Projektet var uppdelat i två huvudsträckor, som i sin tur var uppdelade i två delsträckor: en som stabiliserats med stenmadrasser och en som lämnats ostabiliserad.

---

## 4. Tillståndsbedömning i fält

---

### 4.1. Lätt fallvikt test

Lätt fallvikt (LWD) är en praktisk metod för att bedöma bärförmågan och det allmänna skicket hos grusvägar. Genom att applicera en last på ytan och mäta den resulterande deformationen ger LWD viktig information om vägens styvhet. Detta hjälper ingenjörer att utvärdera hur väl vägen kan bära trafik utan att deformeras överdrivet. LWD-tester är snabba och enkla att utföra, vilket gör dem användbara för att identifiera områden som kan behöva underhåll eller ytterligare packning. Sammanfattningsvis erbjuder dessa tester ett enkelt sätt att övervaka styrkan och bärförmågan hos grusvägar för att säkerställa att de förblir i gott skick (se Figur 1).

Lätt fallvikt (LWD) är en praktisk metod för att bedöma bärförmågan och det allmänna skicket hos grusvägar. Genom att applicera en last på ytan och mäta den resulterande nedböjningen ger LWD information om vägens styvhet. Specifikt mäter den den dynamiska deformationsmodulen (Evd) som beräknas enligt Ekv. 1, vilket återspeglar materialets förmåga att motstå deformation under dynamisk belastning. Detta hjälper ingenjörer att bedöma vägens bärförmåga och dess förmåga att bära trafikbelastningar. LWD-tester är snabba och effektiva, vilket gör dem värdefulla för att identifiera områden som behöver underhåll eller ytterligare packning, och därmed säkerställa att grusvägar förblir i gott skick.

$$Evd = 2k(1 - \nu)^2 / Ar_0 \dots\dots\dots Eq. 1$$

Där,

k = markens styvhet = last (toppvärde)/deformation (toppvärde),

r<sub>0</sub> = plattans radie,

A = spänningsfördelningsfaktor,

ν = Poissons tal



Figur 1: Lätt fallvikten som användes i projektet. Foto: Tomas Johansson, SCA.

## 4.2. Profilmätningar

Profilmätningar av grusvägar är avgörande för att övervaka och bedöma deras ytskikt och övergripande prestanda. Dessa mätningar fångar vägens tvärsektionella form och identifierar variationer i höjd, lutning och materialfördelning. Genom att regelbundet mäta vägprofiler kan ingenjörer tidigt upptäcka tecken på problem som hjulspår, korrugeringar och ojämn materialförskjutning, vilket ofta orsakas av trafikbelastning och väderförhållanden. Den data som samlas in från profilmätningar möjliggör mer välgrundade beslut för vägunderhåll, vilket säkerställer rätt insatser i tid som förlänger vägens livslängd, förbättrar körkomforten och minskar reparationskostnaderna. Denna process är särskilt användbar för att optimera utformning och underhållsstrategier för grusvägar under olika miljö- och trafikförhållanden, se figur 2.



Figur 2: Profilmätningar som använts i projektet. Foto: Tomas Johansson, SCA.

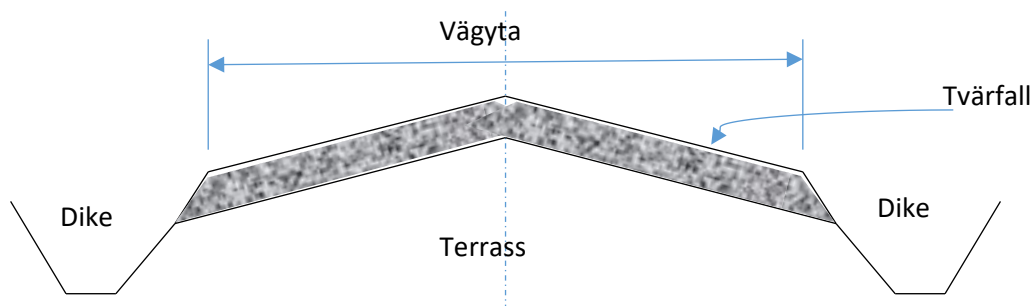
## 4.3. Visuella inspektioner av vägsträckorna och det omgivande terrängen

Visuella inspektioner av grusvägsträckor och den omgivande terrängen är viktiga för att identifiera ytskador och bedöma vägens allmänna skick. Dessa inspektioner innefattar att kontrollera vanliga problem som hjulspår, potthål, löst grus och korrugeringar, samt att utvärdera dräneringens effektivitet. Att observera den omgivande terrängen är lika viktigt, eftersom faktorer som lutning, vegetation och vattenflöde kan påverka vägens hållbarhet. God dränering är avgörande för att förhindra erosion och vattenskador, så inspektörer letar ofta efter tecken på vattenansamlingar eller otillräcklig avrinning. Den visuella inspektionen av skogsbilvägarna i projektet följde ett protokoll som specifikt utformats för att uppfylla projektets krav enligt Bilaga 1.



## 5. Stabilisering genom att öka vägens krönlutning

Vatten som tränger in i vägbanan, antingen genom ansamling på plana ytor eller infiltration från vattenpölar, kan försvaga både vägytan och de underliggande basmaterialen. När vatten samlas och flödar i koncentrerade områden, som hjulspår, kan det orsaka erosion. Effektiv ytavvattning syftar till att leda bort vatten från vägen som ett grunt, icke-erosivt flöde, med en riktning och ett mönster som är anpassat till vägens material, lutning och terräng. Denna åtgärd illustrerar hur man dränerar vatten från vägytan med hjälp av olika tvärsnittningar (krön). Krönen beskriver vägytans tvärsnittform, vanligtvis mätt i procent, se figur 3. Följaktligen beslutade SCA att testa tre vägsträckor med varierande krönlutning (bombering): en med noll bombering som kontrollsträcka, en med 5 % bombering och en med 10 % bombering. Detta kommer att hjälpa till att utvärdera effekten av en kraftigare bombering än vad som vanligtvis används vid byggnation av skogsbilvägar i Sverige. Samtidigt syftar studien till att verifiera att en plan yta eller en mycket låg bombering resulterar i snabbare uppkomst av vägsador.



Figur 3: Vägyta med central tvärsnittning (krön).

### 5.1. Plats för de vägsträckor som testades av SCA

SCA har valt att bygga sina tre teststräckor på Furubergsvägen i Ånge. Koordineringen av start- och slutpunkterna för varje sträcka illustreras i Tabell 1 nedan.

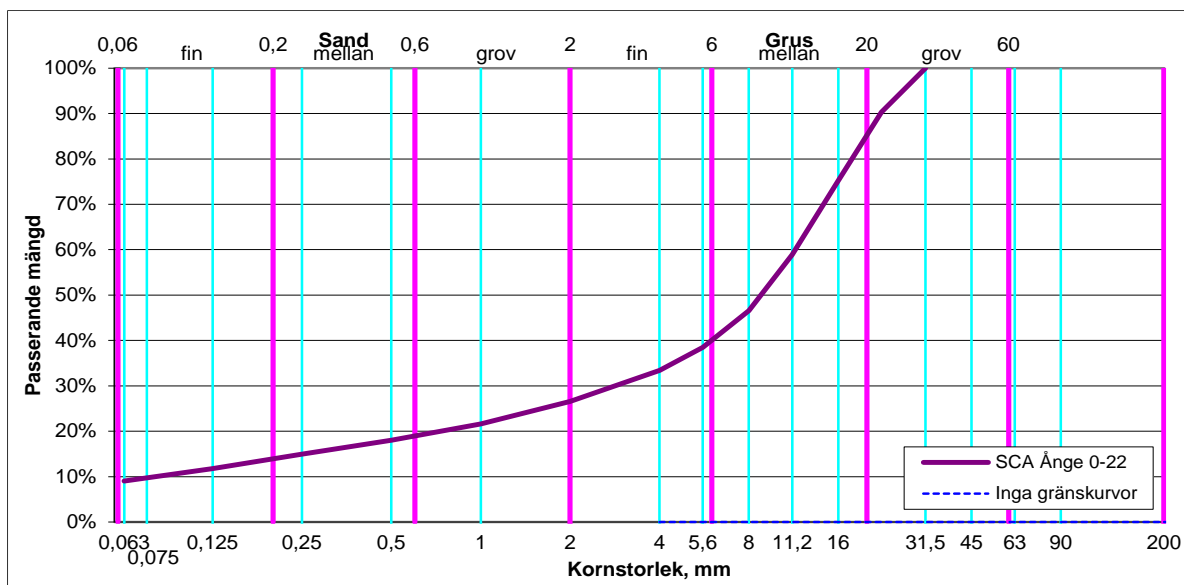
Tabell 1: Platsen för de tre teststräckor som byggdes av SCA.

	Sträcka 1 (10% bombering)		Sträcka 2 (5% bombering)		Sträcka 3 (Plan-0% bombering)	
Startpunkt	E 526942	N 6926298	E 528070	N 6925814	E 530270	N 6924184
Slutpunkt	E 537288	N 6926205	E 528248	N 6925525	E 530544	N 6923962

### 5.2. Egenskaper hos materialen i vägsträckorna

Prover av grusytmaterial som användes för beläggningen av de utvalda tre vägsträckorna för att bilda krönen skickades till VTI-laboratoriet i Linköping för testning. Partikelstorleksfördelningen av det använda gruset bestämdes enligt standarden SS-EN 933-1 (2012), och resultatet illustreras i figur 4. Figuren visar att cirka 9 % av partiklarna passerar genom 0,06 mm-sikt, 26,5 % är finare än 2 mm-sikt, och den maximala kornstorleken är omkring 31 mm. Grusmaterialens specifika vikt bestämdes till 2,71, i enlighet med SS-EN 1097-6 (2013).

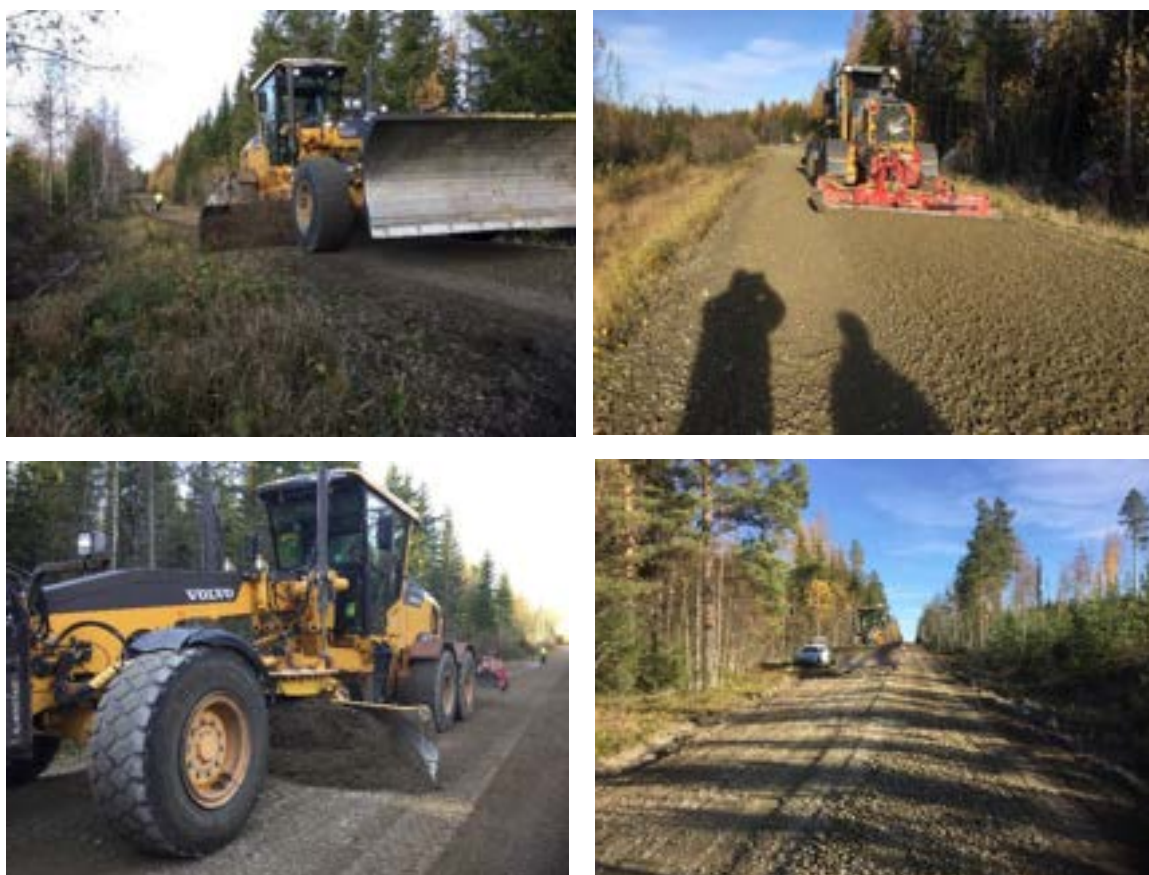




Figur 4: Partikelstorleksfördelningen av det testade grusytmaterialiet för SCA sträckor.

### 5.3. Byggprocessen för vägsträckorna av SCA

Byggandet av vägsträckorna med olika krönlutningar utfördes av SCA hösten 2022, se figur 5.



Figur 5: Byggprocessen för de tre vägsträckorna av SCA i Ånge. Foton: Tomas Johansson, SCA.

Den feedback som mottogs från SCA angående byggandet av varje vägsträcka redovisas nedan och ger insikter om olika aspekter såsom terrängens geometri, mängder av nödvändigt grus, byggsteg och använda verktyg, observationer som uppstod under byggprocessen, rekommendationer för förbättringar samt övergripande utvärderingar av de byggda sträckorna.

### 5.3.1. Sträcka 1 -"10% bombering"

Föraren använde inte strängspridaren, vilket ledde till att han fick köra flera gånger för att få till ett jämnt resultat. Vägen ligger relativt nära skogen på den norra sidan, vilket kan ha påverkat arbetsförhållandena. Bomberingen kunde inte uppnås med det befintliga gruset, vilket resulterade i att ytterligare grus måste tillföras under en andra omgång. Trots detta räckte inte gruset till i kanterna, och terrassen hyvlades upp med större stenar. Totalt tillfördes cirka 500 ton grus per kilometer. Sträckan bedömdes från början ha minst grus av alla teststräckor, vilket bidrog till ojämn fördelning av gruset över vägkroppens tvärsnitt, se figur 6.



*Figur 6: Vägsträckan med 10 % bombering som byggdes av SCA i Ånge. Foto: Tomas Johansson, SCA.*

### 5.3.2. Sträcka 2 -"5% bombering"

Strängspridaren användes för att forma den slutgiltiga vägytan, vilket gjorde detta till den lättaste teststräckan att utforma av de tre. Vägområdet var luftigt och öppet, men det fanns indikationer på att berg låg relativt nära ytan, och stillastående vatten noterades i vissa delar av diken. Den färdigställda vägsträckan med 5% bombering visas i figur 7.



*Figur 7: Vägsträckan med 5 % bombering som byggdes av SCA i Ånge. Foto: Tomas Johansson, SCA.*

### 5.3.3. Sträcka 3 -"0% bombering"

Strängspridaren användes inte, vilket gjorde det utmanande att fördela gruset jämnt på det relativt luftiga vägområdet. Det var precis på gränsen att kunna fördela gruset till sidorna utan att riva upp terrassen i mitten. Från början bedömdes sträckan ha mest grus av de tre teststräckorna, men som ett resultat är gruset fördelat mycket ojämnt över ett tvärsnitt av underbyggnaden, se figur 8.

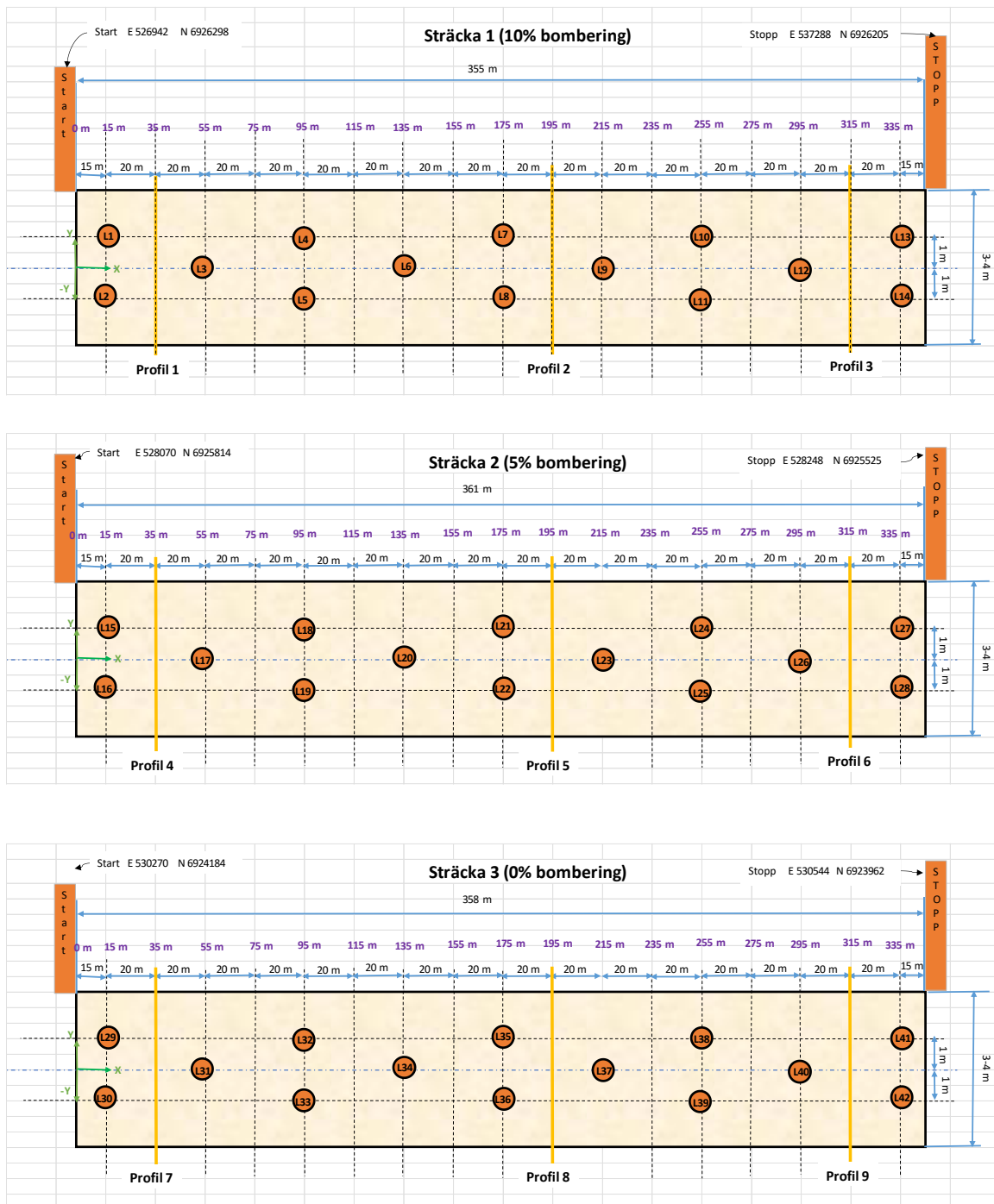


*Figur 8: Vägsträckan med 0 % bombering som byggdes av SCA i Ånge. Foto: Tomas Johansson, SCA.*



## 5.4. Testpunkter och mätlayout

De testade vägsträckorna hade liknande mätpunktslayout, där varje sträcka inkluderade flera mätpunkter för lätt fallvikt (LWD) som var arrangerade både tvärs och längs skogsvägen, utöver profilmätningsplatserna. Figur 9 illustrerar mätpunktslayouten för de tre testade vägsträckorna. Siffrorna i cirklarna representerar LWD-mätpunkterna, de gula linjerna visar positionerna för profil- och hjulspårsmätningar, och den prickade blå linjen markerar vägmittlinjen. Som framgår av figuren testades totalt fyrtiotvå punkter med LWD, tillsammans med nio profilmätningar och flera ytterligare punkter nära LWD-platserna för bestämning av fuktkvot.



Figur 9: Testpunkter och mätlayout för de tre testade vägsträckorna som byggdes av SCA i Ånge.

## 5.5. Mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderexponering

För att noggrant bedöma tillståndet hos de vägsträckor som byggts av SCA omedelbart efter konstruktionen och efter exponering för trafik och väderförhållanden genomfördes en serie detaljerade mätningar av VTI forskarteam. Dessa tester inkluderade, men var inte begränsade till, mätningar med lätt fallvikt, profilmätningar, mätningar av fuktkvot och visuella inspektioner av både de testade vägsträckorna och den omgivande terrängen, baserat på protokollet som ges i Bilaga 1. För SCA teststräckor togs de initiala mätningarna mellan 17 och 19 oktober 2022, omedelbart efter byggandet av vägsträckorna. På samma sätt togs de slutliga mätningarna mellan 26 och 28 juni 2023, efter att vägsträckorna hade exponerats för väder och trafikbelastningar under flera månader, se figur 10.



Figur 10: VTI-mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderpåverkan av de vägsträckor som SCA byggt i Ånge.

De initiala och slutliga mätningarna genomfördes med hjälp av mätlayouten som visas i Figur 7. Observera att LWD-testerna utfördes exakt vid de punkter som visas i Figur 7 under de initiala testerna innan vägsträckorna exponerades för trafik, medan positionerna för LWD-testpunkterna under de slutliga mätningarna flyttades något, cirka 30 cm, från de punkter som testades initialt, för att

undvika efterkompaktning om testerna genomfördes exakt på samma platser två gånger. Dessa initiala och slutliga mätningar ger en referenspunkt mot vilken vägprestandan kan bedömas, och eventuella potentiella problem kan identifieras före och efter att externa faktorer spelar in. Resultaten från de initiala och slutliga testerna redovisas i följande avsnitt.

### 5.5.1. Mätningar med lätt fallvikt och fuktkvot för SCA sträckor

Tabellerna 2, 3 och 4 visar skillnaderna mellan de initiala och slutliga mätningarna för lätt fallvikt modulen (Evd) i MPa och fuktkvoten (WC) i procent för vägsträckorna 1, 2 och 3, respektive.

Tabell 2: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 1 som byggdes av SCA i Ånge.

Sträcka 1 -(10% bombering)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell Ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L1	53,32		80,24	2,3	50,49
L2	54,35	6,1	82,42		51,65
L3	38,01		70,75		86,14
L4	45,64	6,9	77,85		70,57
L5	48,81		54,5		11,66
L6	44,73		51,72	1,9	15,63
L7	49,56		80,39		62,21
L8	48,81		70,31		44,05
L9	39,06		57,25		46,57
L10	44,29		79,23		78,89
L11	47,17		76,53	1,9	62,24
L12	41,74	3,5	57,84		38,57
L13	51,25		69,88	1,44	36,35
L14	47,57	6,2	66,96		40,76
Medel	46,74	5,7	69,705	1,885	49,70

Tabell 3: Resultaten av LWD- och fuktkvotmätningarna för sträcka 2 som byggdes av SCA i Ånge.

Sträcka 2 -(5% bombering)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell Ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L15	52,69	5,9	100,45	1,98	90,64
L16	49,67		61,45		23,72
L17	42,06		32,51	1,62	-22,71
L18	41,67		72,35		73,63
L19	44,38		65,03		46,53
L20	39,96	7,6	44,2		10,61
L21	45,92		70,53		53,59
L22	42,61		60,32		41,56
L23	41,13		46,11		12,11
L24	51,02		63,56	1,55	24,58
L25	54,22		66,37	0,88	22,41
L26	42,29		50		18,23
L27	47,87	4,4	64,1		33,90
L28	47,27	4,5	66,77		41,25
Medel	45,91	5,6	61,7	1,51	33,58

Tabellerna 2, 3 och 4 visar att de genomsnittliga Evd-värdena som mättes under de slutliga testerna var högre än de som registrerades vid de initiala mätningarna för alla tre vägsträckorna, vilket var oväntat. Denna oväntade ökning kan tillskrivas den betydande påverkan som fuktkvoten har på Evd-värdena under testen. Högre fuktkvot tenderar att minska de uppmätta Evd-värdena. Trots flera månaders väder- och trafikexponering registrerade de initiala mätningarna ett mycket högre fuktkvot jämfört med de slutliga mätningarna. Denna skillnad i fuktkvot övervägde minskningen i bärförmåga på grund av vägslitage från exponering. Följaktligen kan resultaten från lätt fallvikt (LWD) kanske inte är det bästa sättet att bedöma prestandan för varje vägavsnitt i det här fallet, vilket tyder på att andra mätningar kan ge en bättre utvärdering.

Tabell 4: Resultaten av LWD- och fuktkvotmätningarna för sträcka 3 som byggdes av SCA i Ånge.

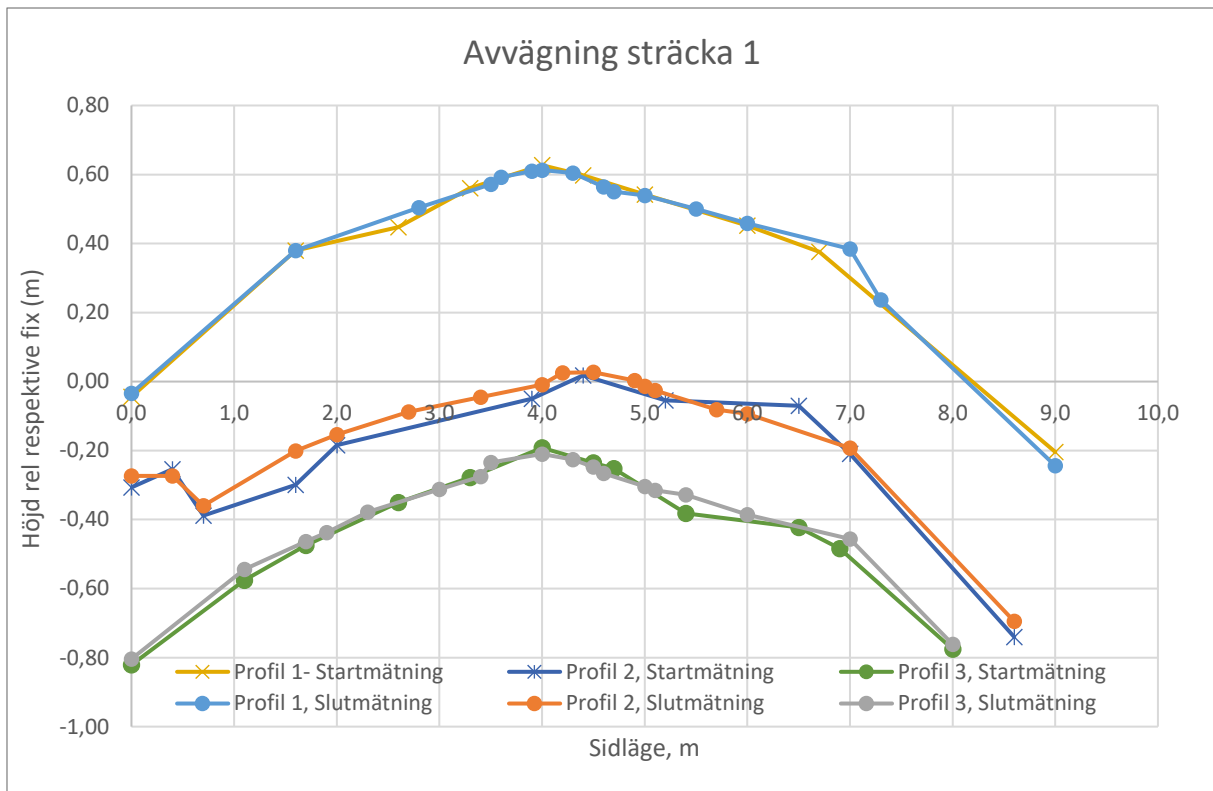
Sträcka 3 -(0% bombering)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell Ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L29	44,64		55,28		23,84
L30	41,13	5,6	52,57		27,81
L31	28,13		52,4		86,28
L32	44,29		96,98	1,8	118,97
L33	45,36		67,77		49,40
L34	21,53	7,8	56,39	1,6	161,91
L35	50,79	5,3	94,94		86,93
L36	48,6		72,58		49,34
L37	28,63		45,105		57,54
L38	53,07	3,9	51,49		-2,98
L39	34,56		36,45	1,98	5,47
L40	42,94		32,19	3,57	-25,03
L41	55,42		89,87		56,75
L42	48,6		90		85,19
Medel	41,98	5,65	63,86	2,24	55,82

Vid de slutliga mätningarna uppmättes lägre Evd-värden i söder jämfört med norr för alla sträckor, medan de var högre vid startmätningarna för sträckor 1 och 2. Vattentryck från berget har observerats på den södra sidan, och stående vatten förekommer även på den södra sidan av sträcka 2. Dessutom har lägst Evd uppmätts i mitten under hela perioden.

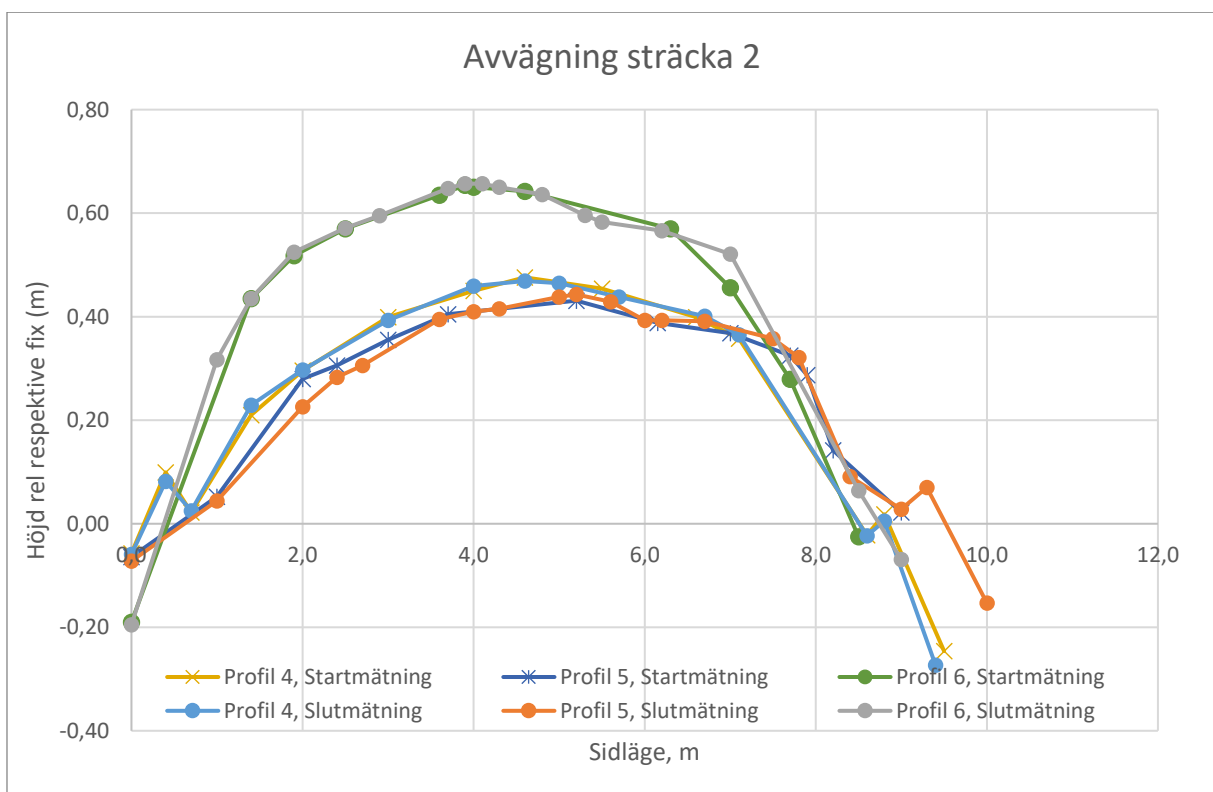
## 5.6. Profilmätningar för SCA sträckor

Resultaten från profilmätningarna på grusvägen ger viktiga insikter om dess ytskikt och strukturella integritet. Profilmätningar genomfördes för vägsträckorna 1, 2 och 3 både före och efter exponering för trafik och väder, vilket ger en jämförande analys av förändringar över tid. Datan belyser variationer i höjd, tvärsektioner form och materialfördelning över olika delar av vägen. Dessa mätningar, som visas i figurerna 11, 12 och 13, hjälper till att utvärdera potentiella problem som ojämnt slitage, hjulspårbildning eller materielförskjutning, vilket är avgörande för att bedöma vägprestandan och bestämma nödvändiga underhålls- eller förbättringsåtgärder.

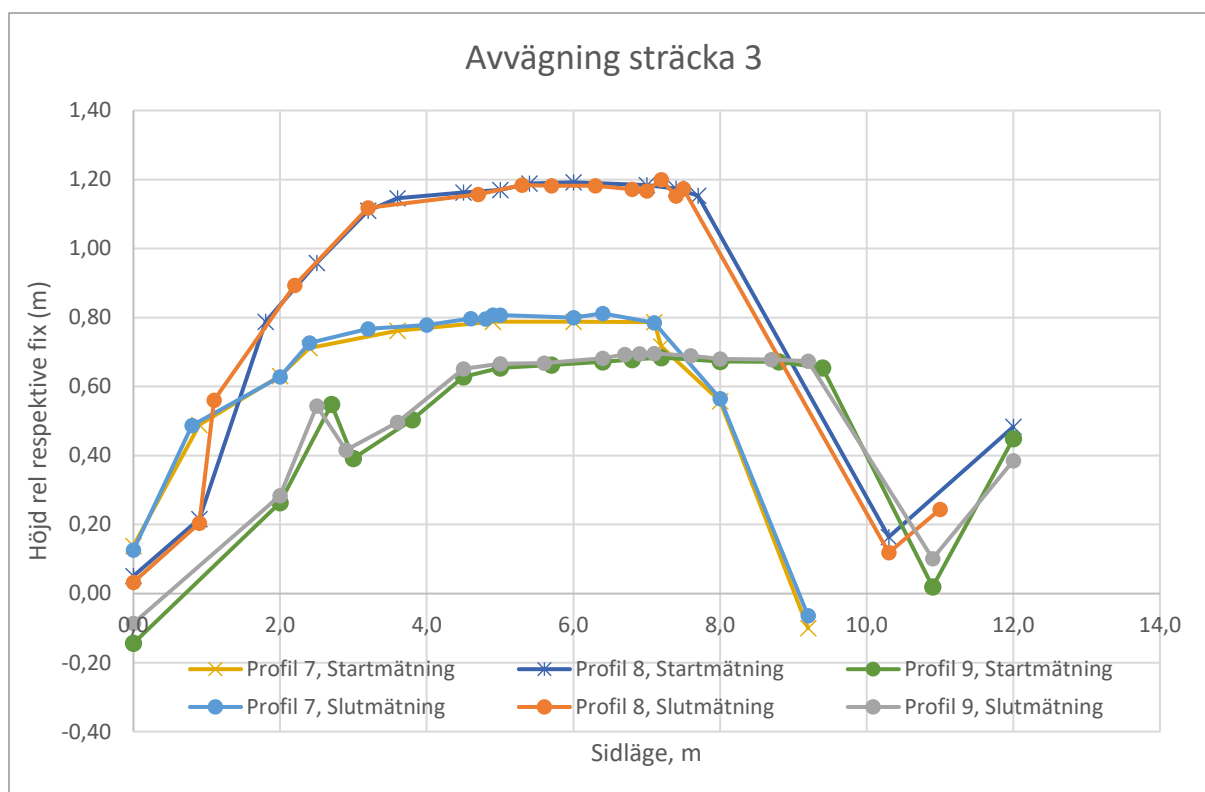




Figur 11: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 1 som byggdes av SCA i Ånge.



Figur 12: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 2 som byggdes av SCA i Ånge.



Figur 13: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 1 som byggdes av SCA i Ånge.

Figureerna 11, 12 och 13 illustrerar att det för de tre testade vägsträckorna inte fanns några signifikanta skillnader eller hjulspår i de utvalda profilerna före och efter väder- och trafikexponering. Det enda undantaget var förekomsten av löst grus, vilket i viss mån påverkade profilkonfigurationen i profil 2 på sträcka 1 med en 10 % tvärslutning. Därför är den visuella inspektionen av de testade vägarna avgörande för att bestämma vilken sträcka med olika tvärslutningar som presterade bäst, vilket beskrivs i de följande avsnitten.

### 5.6.1. Okulär-inspektion för SCA sträckor

På skogsbilvägarna i Ånge utfördes slutmätningar den 26–27 juni under soliga och torra förhållanden, med temperaturer på 20–25 grader dagtid. Efter bedömning av vägstatus den 28 juni 2023, då något regn hade fallit under natten och gjort vägbanan fuktigare, kunde observationer göras på de tre olika sträckorna.

#### Sträcka 1 (10 % bombering)

Enligt fältanteckningar och foton, tagna var 50 meter, samt bilder från provtagning i vägmitten och hjulspår vid sektion 300 meter, observerades ingen korrugering eller potthål, även om det fanns en antydning till enstaka sådana. Spårbildning noterades dock, vilket kan bero på att den höga vägmitten har lett till mer spårbunden trafik. Under de torra dagarna, den 26 och 27, noterades dammbildning, och en hel del löst grus fanns i vägmitten och till viss del i vägkanterna, se figur 14.



*Figur 14: Löst grus i sträcka 1. Foto: Håkan Arvidsson, VTI.*

### Sträcka 2 (5 % bombering)

Fältanteckningar och foton, tagna var 75 meter, visade ingen korrugering och inga potthål, förutom möjligen ett fåtal enstaka se figur 15 . Inga tecken på spårbildning fanns, och avvägningen var tillfredsställande. Under torra förhållanden dammade det, men löst grus fanns endast i mindre mängder, främst i vänster väggkant, medan det var normalt i vägmitten.



*Figur 15: Vägsträcka 2 med 5% bombering vid slutbesiktningen. Foto: Håkan Arvidsson, VTI.*

### Sträcka 3 (plan utan bombering)

En noggrann dokumentation gjordes med foton tagna vid olika avsnitt, inklusive variationer i vägstatus. Mellan 0–15 meter observerades en långsgående spricka i vägmitten samt små potthål i höger hjulspår, se figur 16. Mellan 15–40 meter fanns en vag antydning till spricka, med små skador i höger hjulspår, medan vänster hjulspår var plant (figur 16).





*Figur 16: Bild till vänster visar en längsgående spricka i vägmitten av sträcka 3. Bild till höger visas en vag antydan till spricka, med små skador i höger hjulspår av sträcka 3. Foton: Håkan Arvidsson, VTI.*

Från 40–75 meter noterades löst grus i höger hjulspår (figur 17). Vid 75–85 meter och 85–140 meter fanns en mittspricka och spår av dubbelmontage vid väggkanten (figur 17).



*Figur 17: Bild till vänster visar löst grus i höger hjulspår av sträcka 3. Bild till höger visar mittspricka och spår av dubbelmontage vid väggkanten. Foton: Håkan Arvidsson, VTI.*

Sprickor ökade något mellan 140–165 meter och drog även till vänster (figur 18), och vid 165–180 meter, strax innan en svacka, sågs hjulspår i vänster väggkant (figur 18). Svackan mellan 180–200 meter visade större skador, främst i höger hjulspår, och sprickor återkom efter svackan (figur 19).



*Figur 18: Bild till vänster visar sprickor ökade något mellan 140–165 meter och drog även till vänster i sträcka 3. Bild till höger visar ett hjulspår i vänster väggkant. Foton: Håkan Arvidsson, VTI.*



*Figur 19: Svackan mellan 180–200 meter som visar större skador i sträcka 3, främst i höger hjulspår, och sprickor återkom efter svackan. Foto: Håkan Arvidsson, VTI.*

Vid 200–245 meter fanns vaga skador, inga direkta skador, men höger hjulspår var stort. Sprickor noterades i både vägmitt och höger väggkant vid 245–265 meter (figur 20), och mellan 265–280 meter observerades sprickor i vägmitt samt antydning till potthål till höger (figur 21). Avsnittet mellan 280–350 meter var i relativt gott skick, med en spricka i vägmitt och en block-/tjälskada vid 300 meter (figur 22).





*Figur 20: Sprickor noterades i både vägmitt och höger väkant vid 245–265 meter av sträcka 3. Foto: Håkan Arvidsson, VTI.*



*Figur 21: Sprickor i vägmitt av sträcka 3 samt antydning till pothål till höger. Foto: Håkan Arvidsson, VTI.*

Vägavsnittet är inte helt plant utan har en svacka mitt på, där de största skadorna har uppstått. Redan en vecka efter att teststräckorna anlades (hösten 2022) fanns tydliga pothål, men dessa var nu mindre markanta, vilket även bekräftas av SCA experter. En trolig förklaring är att nederbörd har lett till erosion av finmaterial från högre delar av vägen, vilket sedan har avsatts i pothålen. Vid högre vattenhalter kan ytan dessutom ha tryckts till och därmed jämnats ut.

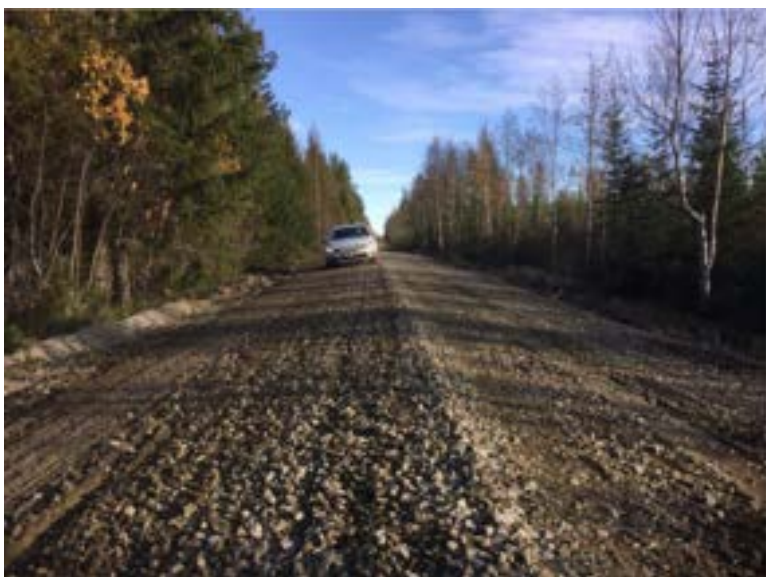


*Figur 22: En spricka i vägmitten av sträcka 3 och en block-/tjälskada vid 300 meter. Foto: Håkan Arvidsson, VTI.*

## 5.7. Viktiga observationer och insikter för SCAs försök

På sträckan med 10% bombering, fanns det extra löst grus, och Skogsbolaget var intresserad av att veta om gruset hade pressats ner eller om det hade flyttats från mitten till spåren. Vid de slutgiltiga mätningarna togs extra prover både från mitten och från spåren. Efter en kornkurva analys i laboratoriet upptäckts att de båda proverna hade nästan identiska kornkurvor. Detta bekräftar att inget grovt material hade förflyttats, utan att allt material hade pressats ner på plats.

Också, efter byggnationen noterades att personbilar föredrog att köra på ena sidan av vägen istället för över krönet, se figur 23.



*Figur 23: Personbilar föredrog att köra på ena sidan av sträcka 1 istället för över krönet. Foto: Tomas Johansson, SCA.*

Att förändra bombering från det normala kräver en hel del hyvelarbete och att det finns hyvlingbart grus på vägen. Om målbomberingen ska justeras, måste detta anpassas redan vid terrassjusteringen på underbyggnaden; annars kan det bli både onödigt och kostsamt. Vid nybyggnation eller upprustning är det ett bra tillfälle att ändra bomberingen. Det är viktigt att mäta bomberingsprocenten noggrant, eftersom "köttögat" ofta är opålitligt vid bedömning av bomberingsprocent. Skuggor, färgskiftningar i materialet, samt omgivande mark och träd kan påverka bedömningen. Hyvelförare är vanligtvis vana vid 4-5 % bombering, så det kommer att krävas inkörningstid och kalibrering för att anpassa sig till en förändrad bomberingsprocent. Dessutom kan det att vägen är något bredare än den specificerade 4,5 meter (+0,5-1 meter) påverka var lastbilarna kommer att ligga i sidled. En avvikelse på +/- 1 % från målnivån har använts, vilket motsvarar 2 cm på ett 2 meters vattenpass, och det är svårt att komma närmare än så.

Sammanfattningsvis visade den detaljerade visuella inspektionen att vägsträckorna 1, med en 10 % bombering, och 2, med en 5 % bombering, presterade betydligt bättre än vägsträcka 3, som hade en 0 % bombering. Vägsträcka 3 upplevde många långsgående sprickor och gropar. Sträckan med 10 % bombering presterade bra, men en något större mängd löst grus observerades i vägmitten och till viss del längs vägkanterna på denna sträcka jämfört med sträckan med 5 % bombering.

Dessutom kan en 10 % bombering medföra högre kostnader om underlaget inte justeras korrekt från början för att matcha den slutliga bomberingen. Därför anses sträcka 2, med en tvärslutning på 4 till 5 %, vara det optimala valet. Skogsbolaget avser att presentera dessa resultat för entreprenörer för att avråda från byggande av vägar med 0 % bombering, och visa hur vägar med en lutning på minst 4 till 5 % kan minska nedbrytning och underhållsproblem avsevärt.

## 5.8. Mer med SCA

Som tidigare nämnts valde varje skogsbyggföretag att implementera en av de stabiliseringslösningar som presenterades av VTI under kickoff-mötet i projektets början. SCA beslutade dock att gå vidare med två av de föreslagna lösningarna istället för bara en, som ursprungligen planerat. Förutom att bygga en pilotväg indelad i tre sträckor med olika bomberingar, beslutade SCA att implementera en vattenavledningsgupp nära pilotvägen. Företaget tog fullt ansvar för byggande kostnaden av denna andra lösning, som genomfördes utanför projektets ram. Det är dock intressant att belysa denna ytterligare lösning i rapporten, eftersom den bidrar med värdefulla insikter om vägegenskaper och stabilisering.

Vattenavledningsgupper "Rolling dips" används för att dränera grusvägar med måttliga lutningar genom att leda ytvattnet bort från vägen och förhindra erosion. De konstrueras som släta sänkningar i vägbanan, där väggraden kortvarigt vänder för att låta vattnet rinna av ytan, vilket säkerställer att regnvatten lämnar vägen utan att orsaka skador. Dessa dippar är vinklade och kan användas på inåtlutade, utåtlutade eller krönade vägar, men de är särskilt användbara i områden där hjulspår kan minska effektiviteten hos andra dräneringsmetoder. Vattenavledningsgupper förhindrar också att vatten samlas och att sediment byggs upp, vilket gör dem till lågt underhållslösningar för vägdränering, särskilt på ranch- eller skogsbilvägar. Riktlinjer för korrekt konstruktion inkluderar att vinkla dippen minst 30 grader mot vägen, säkerställa tillräcklig djup och stabilisera utloppet. De bör dock inte byggas på instabila fyllningsslutningar och måste ta hänsyn till användarens färdhastighet och väggraden, se figur 24.

Konstruktionen av vattenavledningsgupper inleds med en utskuren del som är cirka 15 till 24 meter upp längs vägen från det avsedda utloppet för dippen. Denna utskärning bör gradvis öka i lutning mot utskottet, som är orienterat i en vinkel av 30 till 60 grader beroende på vägens branthet, se figur 25. Utskottet för dippen bör vara cirka 0,28 till 0,46 meter djupt, med en tvärslutning som är minst 1 % större än den ursprungliga vägbanan. Efter utskottet sträcker sig den omvända lutningen eller fyllnadsdelen över 4,5 till 6 meter innan den gradvis återgår till den ursprungliga väggraden. I



genomsnitt bör inte mer än 46 meter väg yta eller dike kopplas till en vattenavledningssystem, för att säkerställa korrekt dränering och funktionalitet.

#### Notat om bonussträcka 4 -"RollingDip"

Stenigheten i terrassen gjorde det svårt att bearbeta när sänkan skulle utformas, vilket ledde till att hyvlamaterial fick läggas uppåt i backen för att skapa den förhöjning som skulle trycka vattnet åt sidan. Hur smidigt det gick att skapa utformningen berodde till stor del på mängden bearbetningsbart grus i överbyggnaden, i kombination med spårbildningen i underbyggnaden.



Figur 24: Den vattenavledningssystemen efter konstruktion. Foto: Tomas Johansson, SCA.



Figur 25: Konstruktionen av en vattenavledningssystem av SCA. Foto: Tomas Johansson, SCA.

## 6. Stabilisering med låg miljöpåverkan tillsatser

Att stabilisera skogsbilvägar med låg miljöpåverkan tillsatser är en innovativ metod som syftar till att förbättra vägars hållbarhet samtidigt som den minskar den ekologiska påverkan. Dessa tillsatser, som ofta är framställda av naturliga eller biologiskt nedbrytbara material, fungerar genom att förbättra jordens strukturella integritet, minska erosionen och öka motståndskraften mot väderpåverkan. Genom att integrera sådana tillsatser i vägbyggen och underhåll kan livslängden på skogsbilvägar förlängas och underhållskostnaderna reduceras. Denna metod stöder inte bara en effektiv transport av skogsresurser, utan bidrar även till hållbarhetsmål genom att skydda omgivande ekosystem från skadlig avrinning och jordnedbrytning.

I enlighet med detta valdes två olika blandningar av låg miljöpåverkan stabiliseringstillsatser för att utvärderas och bevisas i detta projekt. Två typer av stabiliseringsblandningar (enzymbaserade stabilisatorer) har valts ut för att testas. Den ena blandningen består av Road Stabilizr (RS) och Dust Blokr-Sugar Blend (DB-SB), medan en annan sträcka behandlades med TerraZyme (TZ). Säkerhetsdatabladet för Road Stabilizr, Dust Blokr och TerraZyme finns bifogade i bilagorna 2, 3 och 4.

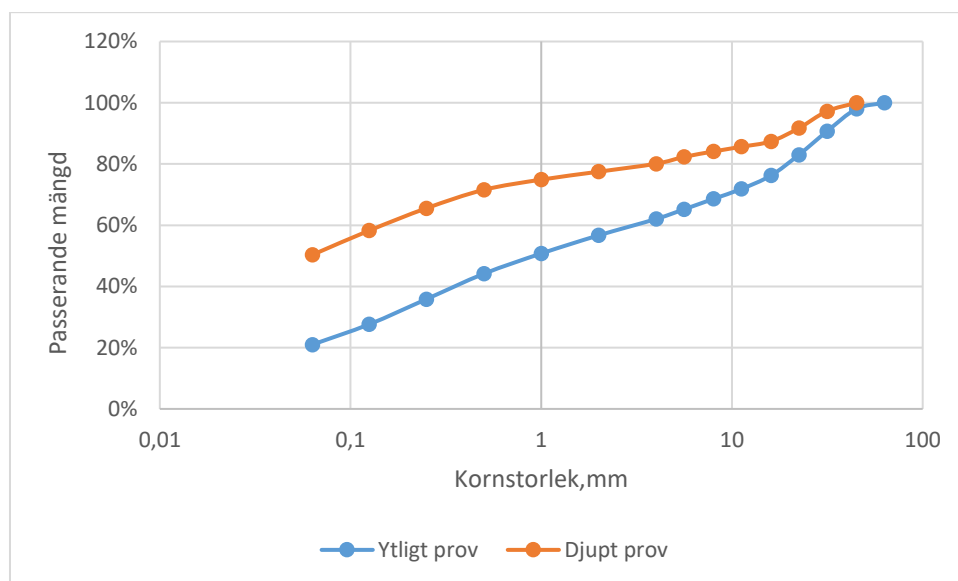
Generellt kräver enzymbaserad stabilisering att specifika förhållanden uppfylls, såsom att materialet som ska stabiliseras innehåller finkornigt material som passerar sikt #200 (0,075 mm), med en andel som helst ligger mellan 15% och 65%. Denna finfördelning bidrar till att skapa en välgraderad, högdensitetsblandning när den kombineras med tillgängliga granulerade material. Det önskade plasticitetsindexet (PI) för materialet bör ligga mellan 5% och 15%.

Två materialgrupper skickades till VTI för laboratorietester för att utvärdera deras lämplighet för enzymstabilisering. En typ vägmateriale hämtades från en befintlig väg i Sveg och den andra från en väg i Trosa.

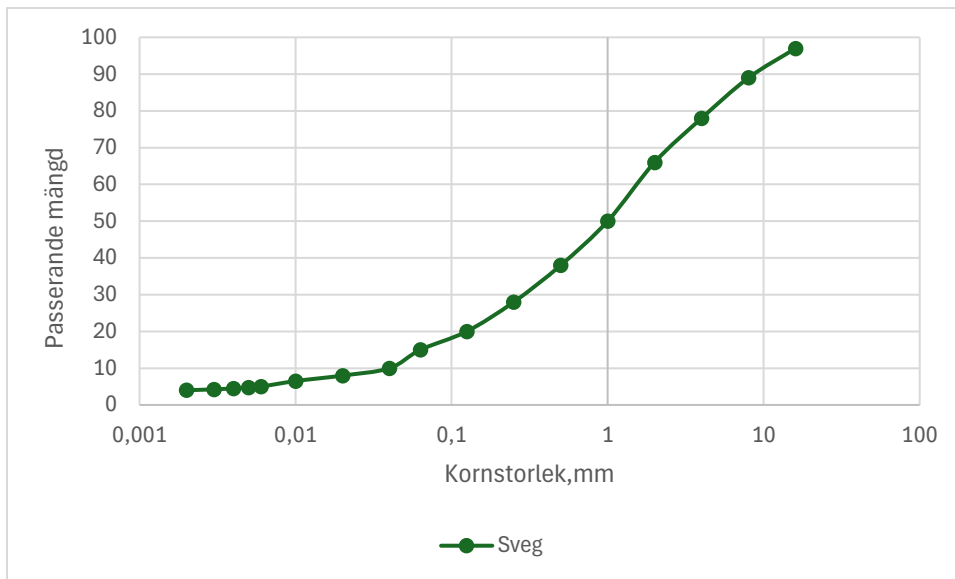
### 6.1. Karakterisering av de valda materialen i laboratoriet

De två materialgrupperna som mottogs vid VTI genomgick omfattande laboratorietester, inklusive kornstorleksfördelning, Atterberggränser, fukt-densitetsrelation, korndensitet och dynamiska CBR-tester.

Figurerna 26 och 27 visar kornstorleksfördelningen för materialen från Nyköping respektive Sveg, i enlighet med SS-EN 933-1 (2012).



Figur 26: Kornstorleksfördelningen för två prover insamlade från en befintlig väg i Trosa-Nyköping.

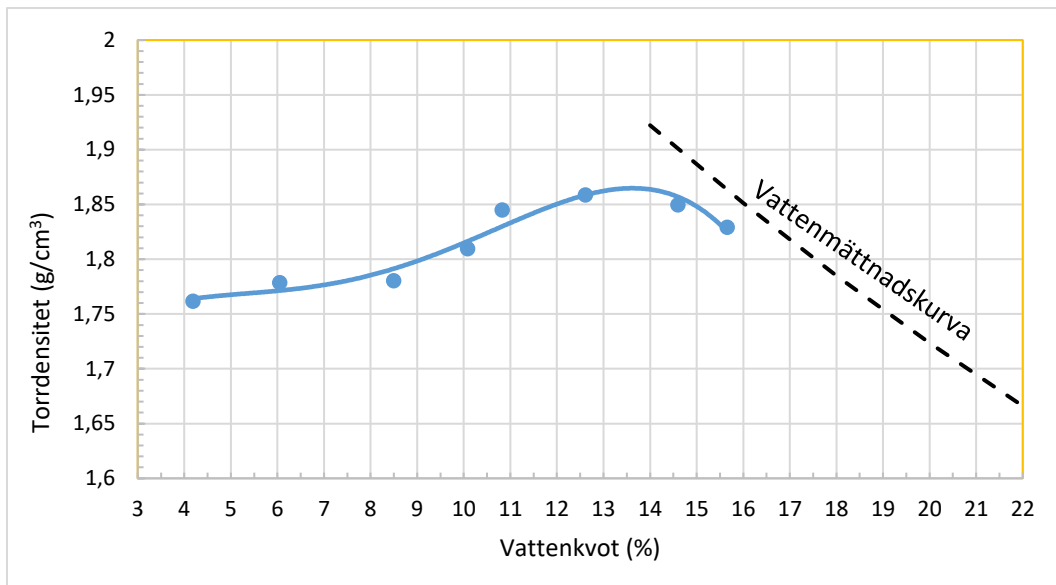


Figur 27: Kornstorleksfördelningen för ett representativt prov insamlat från en befintlig väg i Sveg.

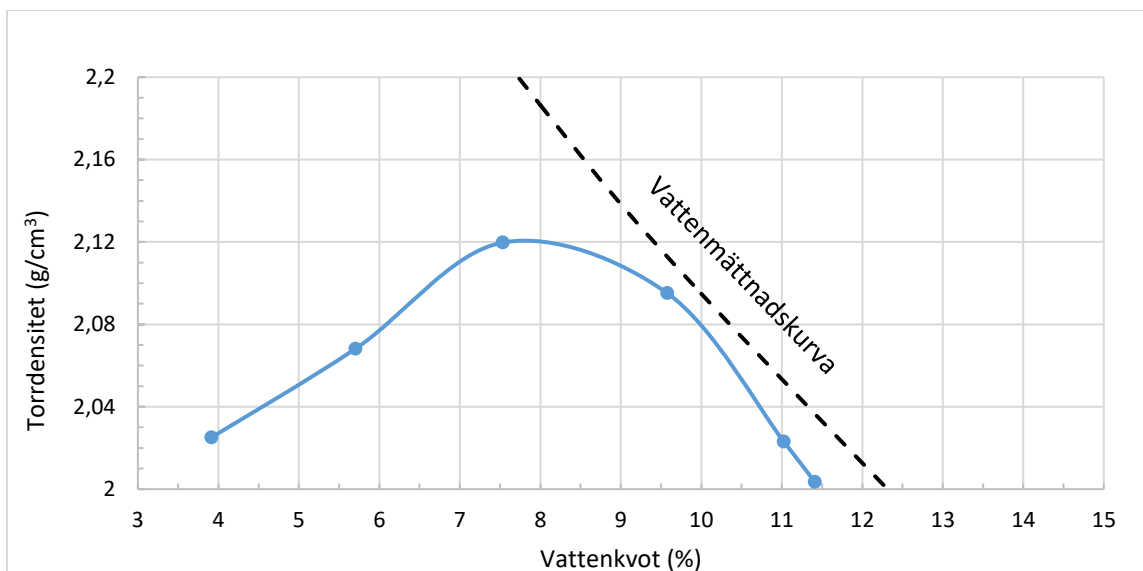
Figureerna 26 och 27 visar att materialet från Trosa innehåller, i genomsnitt, cirka 40 % finkornigt material som passerar sikt #200 (0,075 mm), medan materialet från Sveg innehåller omkring 16 % finkornigt material som passerar samma sikt.

Korndensiteten för materialen från Trosa och Sveg bestämdes till 2,63 g/cm<sup>3</sup> respektive 2,65 g/cm<sup>3</sup>, i enlighet med SS-EN 1097-6 (2013). Vid bestämning av konsistensgränserna på SGI visade proverna att materialet från Trosa har en flytgräns (LL) på 37 % och en plasticitetsgräns (PL) på 21,6 %, baserat på SS 027120 (1990) och SS 027121 (1990). Detta resulterar i ett plasticitetsindex (PI) på 15,4 %. På liknande sätt visade tester att materialet från Sveg har en flytgräns (LL) på 21 % och en plasticitetsgräns (PL) på 18 %, vilket ger ett plasticitetsindex (PI) på 3 %.

Packningsegenskaperna bestämdes enligt SS-EN 13286-2 för att fastställa den optimala vattenkvoten och den maximala torra densiteten för de testade materialen. Figureerna 28 och 29 visar Vattenkvot-torr densitetst kurvor för TZ-stabiliserat material från Nyköping respektive Sveg. Figureerna visar att materialet från Trosa uppnådde en maximal torr densitet på 1,86 g/cm<sup>3</sup> vid en optimal vattenkvot på 13,5 %, medan torr densiteten för materialet från Sveg var högre, med 2,12 g/cm<sup>3</sup> vid en optimal vattenkvot på 8 %



Figur 28: Förhållandet mellan vattenkvot och torrdensitet för det testade materialet från Trosa.



Figur 29: Förhållandet mellan vattenkvot och torrdensitet för det testade materialet från Sveg.

De bestämda maximala torrdensiteterna och optimala vattenskotern har använts för att packa CBR-prover för varje serie av stabiliserade och ostabiliserade testade material. Det är värt att notera att en appliceringsgrad på 17,9 mikroliter per 1 kg torrt material, som rekommenderas för TerraZyme, användes genom hela förberedelseprocessen för de stabiliserade proverna under laborietester. Samma appliceringsgrad användes också för alla prover som förbereddes med Road Stabilizr.

Observera att en appliceringsdos på 17,9 mikroliter per 1 kg torrt material, som rekommenderas för TerraZyme, användes under alla förberedelsefaser för de stabiliserade proverna under laborietesterna. Samma appliceringsdos användes också för alla prover som preparerats med Road Stabilizr.

Ett stort antal dynamiska CBR-tester utfördes också på förberedda CBR-prover på VTI för att utvärdera enzymernas effektivitet när det gäller att stabilisera det valda materialet i laboratorieskala före användning i fält. Stabilisatorer som Road Stabilizr och TerraZyme kräver en härdningsperiod på tre till fyra veckor för att uppnå optimal markstabilisering. Under denna period reagerar enzymerna

med jordpartiklarna, vilket förbättrar sammanhållningen och ökar bärigheten. För att säkerställa korrekt vidhäftning och fullständig stabilisering fick proverna härda under kontrollerade fuktförhållanden i minst tre veckor innan de utsattes för klimatsimuleringar. Denna härdningsfas är avgörande för att enzymerna ska uppnå sin fulla potential, vilket garanterar långsiktig hållbarhet och förbättrad beständighet mot miljöpåfrestningar som vattenexponering och frys- och töcykler. Utan tillräcklig härdningstid är det inte säkert att det stabiliserade materialet uppnår önskad strukturell prestanda.

Härdningsproceduren innebar att de förberedda CBR-proverna hölls fuktiga genom att man regelbundet tillsatte vatten ovanpå proverna för att kompensera för eventuell viktförlust på grund av vattenavdunstning under hela härdningsperioden.

Det observerades att några timmar efter att den sista vattendosen tillsatts under härdningen av de stabiliserade proverna, trängde vattnet inte igenom ytan. Detta stämmer överens med förväntningarna att stabilisatorerna skulle bilda en förseglad yta, vilket gör det svårt för ytvatten att tränga igenom, se figurerna 30 och 31.



*Figur 30: Prover av SVEG-jord med RS (utan konditionering) visar att vattnet inte penetrerade efter 2 timmar från tillsatsen av den sista vattenmängden under härdningen, Foto: Dina Kuttah, VTI.*



*Figure 31: Prover av SVEG-jord med RS (utan konditionering) visar att vattnet inte penetrerade efter 4 timmar från tillsatsen av den sista vattenmängden under härdningen. Foto: Dina Kuttah, VTI.*



För att bedöma effekten av miljöfaktorer, såsom vattenexponering och upprepade frys- och upptiningscykler, förbereddes tre serier av CBR-prover: ostabiliserade prover, prover stabiliserade med Road Stabilizr och prover stabiliserade med TerraZyme. Varje serie delades upp ytterligare och testades under olika förhållanden, inklusive dynamisk CBR-testning efter en fyra dagars blötlägningsperiod, efter tio frys- och töcykler och utan exponering för klimatpåverkan, se figurerna 32 och 33.

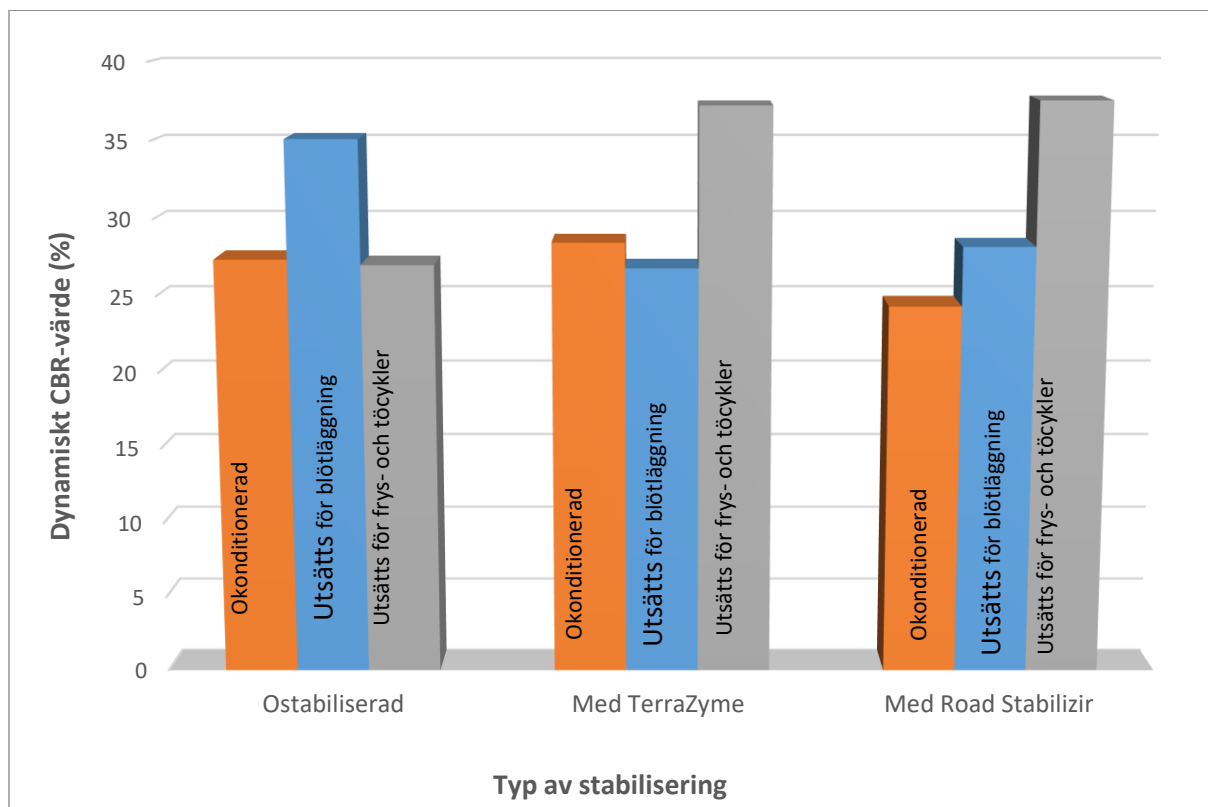


*Figur 32: Konditionering av CBR-proverna i klimatskåpet under tio frys-töcykler. Foto: Dina Kuttah, VTI.*

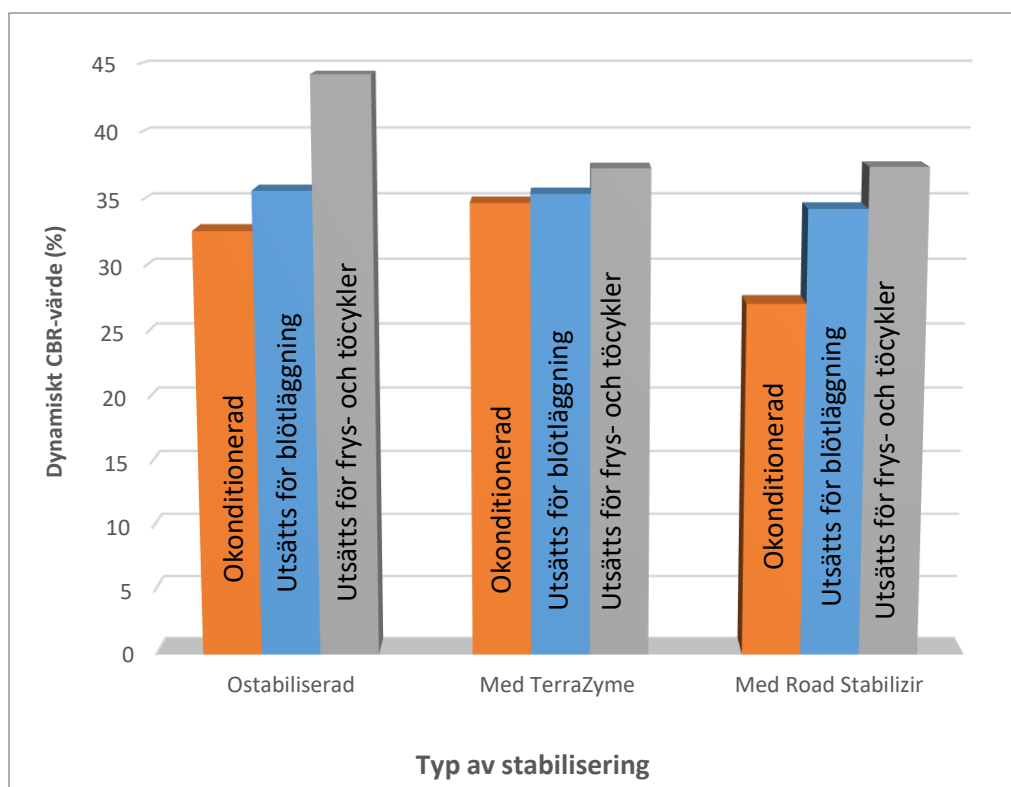


*Figur 33: Dynamisk CBR-provning av packade prover. Foto: Dina Kuttah, VTI.*

Figurena 34 och 35 illustrerar effekten av blötläggning i vatten och frys-töcykler på både stabiliserade och ostabiliserade prover, i jämförelse med okonditionerade prover, för materialen från Trosa och Sveg.



Figur 34: De dynamiska CBR-värdena för stabiliserade och ostabiliserade prover med och utan simulering av klimatpåverkan för Trosa-material.



Figur 35: De dynamiska CBR-värdena för stabiliserade och ostabiliserade prover med och utan simulering av klimatpåverkan för Sveg-material.

Det framgår av figur 34 att CBR-proverna som stabiliserats med Road Stabilizir och TerraZyme rapporterade högre dynamiska CBR-värden efter tio frys- och töcykler jämfört med ostabiliserade prover på grund av dessa enzymers förmåga att öka materialets sammanhållning och förbättra dess beständighet mot frys- och töprocessen. Frys- och töcykler orsakar expansion och kontraktion i det testade materialet, vilket försvagar ostabiliserade prover och leder till minskad hållfasthet. Enzymerna skapar starkare bindningar mellan partiklarna, vilket gör att de stabiliserade proverna behåller sin struktur och motstår frys- och töcykler bättre än de ostabiliserade proverna.

Efter att ha blötlagts helt och kontinuerligt i vatten i 4 dagar rapporterade de stabiliserade proverna dock lägre dynamiska CBR-värden jämfört med ostabiliserade prover eftersom långvarig vattenexponering kan påverka enzymernas bindningsförmåga negativt, se figur 34.

Stabiliseringsmedler Road Stabilizir och TerraZyme kan kräva längre härdningsperioder för att fullt binda till jordmatrisen, och vid långvarig blötläggning kan vatten tränga in i den stabiliserade jordstrukturen och tillfälligt försvaga den genom att minska sammanhållningen eller störa den enzymatiska stabiliseringsprocessen.. Däremot kan ostabiliserade prover, även om de initialt är svagare, absorbera vatten jämnt utan att förändra sin inneboende struktur, vilket gör att de kan behålla relativt högre hållfasthet i jämförelse med kortvarig blötläggning.

För CBR-proverna som framställt av Sveg-material observerades ingen förbättring av prestandan för de prover som stabiliserats med antingen Road Stabilizir eller TerraZyme efter exponering för klimatsimuleringar, vilket indikeras av avsaknaden av ökning av CBR-värden. Detta bekräftar att Sveg-materialet är olämpligt för enzymstabilisering. Materialet från Trosa uppvisade däremot goda stabiliseringsegenskaper, särskilt när det gällde att motstå effekterna av upprepade långvariga frys- och töcykler. Följaktligen fattades beslutet att bygga pilotvägen i Trosa av Holmen. Därmed fattades beslutet att bygga pilotvägen i Trosa av Holmen. De omfattande laboratorietestresultaten för vägmaterialet från Trosa diskuteras i de följande avsnitten.



## 6.2. Plats för de vägsträckor som testades av Holmen

Skogsbolaget Holmen byggde sina pilotsträckor längs en befintlig skogsbilväg i Trosa (Södermanlands län). Pilotvägen delades in i tre huvudteststräckor: Sträcka 1 stabiliserades med en blandning av Road Stabilizr och Dust Blokr, sträcka 2 lämnades ostabiliserad och sträcka 3 stabiliserades med TerraZyme. Var och en av dessa tre sträckor mätte cirka 350 meter i längd.

Koordineringen av start- och slutpunkterna för varje sträcka illustreras i Tabell 5 nedan.

Tabell 5: Platsen för de tre teststräckor som byggdes av Holmen.

	Sträcka 1 (med ROAD//STABILIZR and DUST/BLOKR)		Sträcka 2 (2.1 & 2.2) (utan stabilisering)		Sträcka 3 (med TerraZyme)	
Startpunkt	<b>N 58.829235</b>	<b>E 17.430640</b>	<b>N 58.826164</b>	<b>E 17.432011</b>	<b>N 58.824498</b>	<b>E17.43703</b>
Slutpunkt	<b>N 58.826164</b>	<b>E 17.432011</b>	<b>N 58.824498</b>	<b>E17.43703</b>	<b>N 58.823449</b>	<b>E 17.4425</b>

Den ostabiliserade vägsträckan 2 delades in i två delsträckor: 2.1 och 2.2. Sträcka 2.1, som mäter 200 meter, lämnades opackad, medan sträcka 2.2, som är 150 meter lång, packades. Denna uppdelning möjliggör en jämförelse av packningseffekten mellan de två delsträckorna.

## 6.3. Byggprocessen för vägsträckorna av Holmen

Byggprocessen för pilotvägsprojektet i Trosa som genomfördes av Holmens skogsbolag inleddes i juni 2023 med noggrann planering och användning av särskild utrustning. För de stabiliserade sträckorna visade sig vägghyveln vara en avgörande maskin, nödvändig för att avlägsna material från vägytan för att blanda in de stabiliserande vätskorna. Utmaningar uppstod dock när man försökte fördjupa bladets penetration, eftersom vägghyveln saknade tillräcklig vikt. Projektet krävde att stabiliseringsvätskorna skulle appliceras på ett djup av minst 20 cm, men det faktiska djupet på det packade materialet var cirka 15 cm. Denna begränsning gjorde det svårt att ta bort tillräckligt med vägmaterial och samtidigt hålla det kvar på den smala vägbanan utan att förlora material till diken. När man försökte gräva djupare kom dessutom större stenar upp till ytan, vissa med en diameter på 20-30 cm.

Bevattningsutrustningen, som ursprungligen var avsedd för saltning, hade initialt svårt att justeras, vilket ledde till förseningar i den första vattenleveransen. Att applicera vätskan i flera omgångar visade sig dock vara en fördelaktig metod. Entreprenören hade vattnat vägen flera dagar före projektet, vilket förbättrade materialets arbetbarhet. Fuktkvoten kontrollerades noggrant med hjälp av ett balltest på olika platser, vilket avslöjade en hög fuktnivå. Därför beslutade man att använda en minsta applicering på 1 liter per m<sup>2</sup> för att effektivt späda ut de produkter som planerades för detta projekt.

För vägavsnittet som stabiliserades med en blandning av Road Stabilizr (RS) och Dust Blokr-Sugar Blend (DB-SB), omfattade de mängder som användes för vägen en första blandad applicering av 1 250 liter DB-SB med cirka 1 500 liter vatten och 5,5 liter RS, applicerat i 7 till 8 omgångar. En topisk försegling utfördes följande morgon med 250 liter DB-SB och 1.000 liter vatten, applicerat i 6 till 7 omgångar.

Packningen av testsektionen utfördes med en 8-tons vält. Den ojämna fördelningen av vägaggregat på ytan innebar utmaningar under packningen, vilket resulterade i svagare punkter där trycket inte var tillräckligt högt. Detta ledde till ett behov av ytlig tätning med cirka 200 ml DB-SB per m<sup>2</sup>, i syfte att stabilisera dessa svagare områden och binda eventuellt löst material som återstod efter packningen.

Byggprocessen utvecklades i en serie metodiska steg. Först tog vägghyveln bort de översta 10-15 cm av materialet från vägen och behöll det på plats. Därefter späddes de flytande produktkoncentraterna ut med vatten och sprutades på det lösa materialet i flera omgångar. Efter att ha applicerat vätskan blandade vägghyveln materialet på ytan för att säkerställa en jämn fördelning av produktkoncentrationen. Dessa

steg upprepades tills hela vägytan var behandlad. Våghyvelns blad användes för att jämnt sprida ut det fuktiga materialet och formera vägens sidoområde eller sidoremsa. Därefter packades ytan och när packningen var klar applicerades den ytliga tätningen. Vägytan fick torka i en dag innan den användes.

Den kombinerade användningen av DB-SB och Road Stabilizr är ofta motiverad, särskilt i områden med lerjord som kan leda till lerighet och låg bärighet.

Doseringen på den del av sträckan som stabiliserats med Terrazim följde noga tillverkarens riktlinjer. Den rekommenderade appliceringsmängden var en liter Terrazim per 24 kubikmeter jord.

För den ostabiliserade sektionen, som tidigare nämnts, packades sektionen 2.2 med en 8-tons vält, på samma sätt som de stabiliserade sträckorna. Den opackade sektionen 2.1 jämnades däremot helt enkelt ut. Det är viktigt att notera att alla andra sträckor också jämnades ut under processen.

Byggandet av vägsträckorna med olika stabilisering medel utfördes av Holmwen Skogs AB, se figur 36.



Figur 36: Stabilisering av en utvald skogsbilväg i Trosa med hjälp av låg miljöpåverkan tillsatser.

## 6.4. Trafiksimulering

På grund av otillräcklig trafik på den valda pilotvägen i Trosa mellan byggdatumet och den planerade slutmätningen beslutades det att simulera trafiken på vägavsnitten genom att låta en lastbil göra flera överfarter innan de slutliga mätningarna genomfördes av VTI:s forskargrupp (se figur 37). Lastbilen gjorde cirka 30 överfarter på teststräckorna under denna trafiksimulering. Observera att trafiksimuleringen utfördes under överinseende av experter från Holmens skogsbolag.

Den lastbil som har använts i trafiksimulering har inbyggd våg som mäter vikten på varje axel. Dessa mätningar var nödvändiga för att kunna följa fordonets vikt före och efter lastning med last, för att kunna inkluderas i kostnads-nyttanalyser. Vikten för lastbilen som användes i trafiksimuleringen är fördelad enligt följande: 8,4 ton fram, samt 9,5 ton och 9,2 ton bak, vilket ger en totalvikt på 27,1 ton, se figur 37.

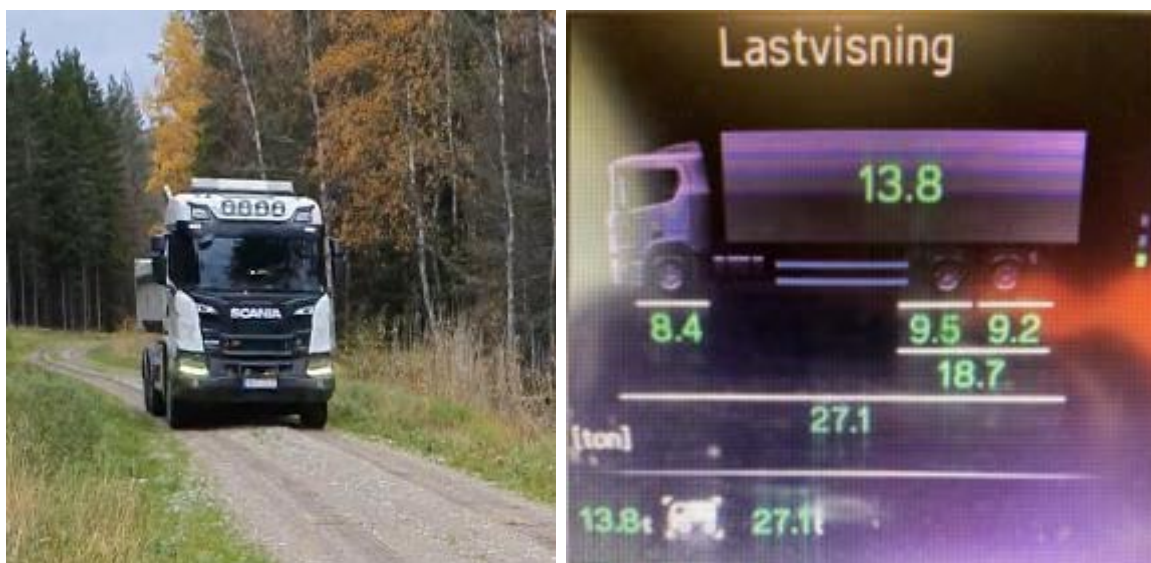


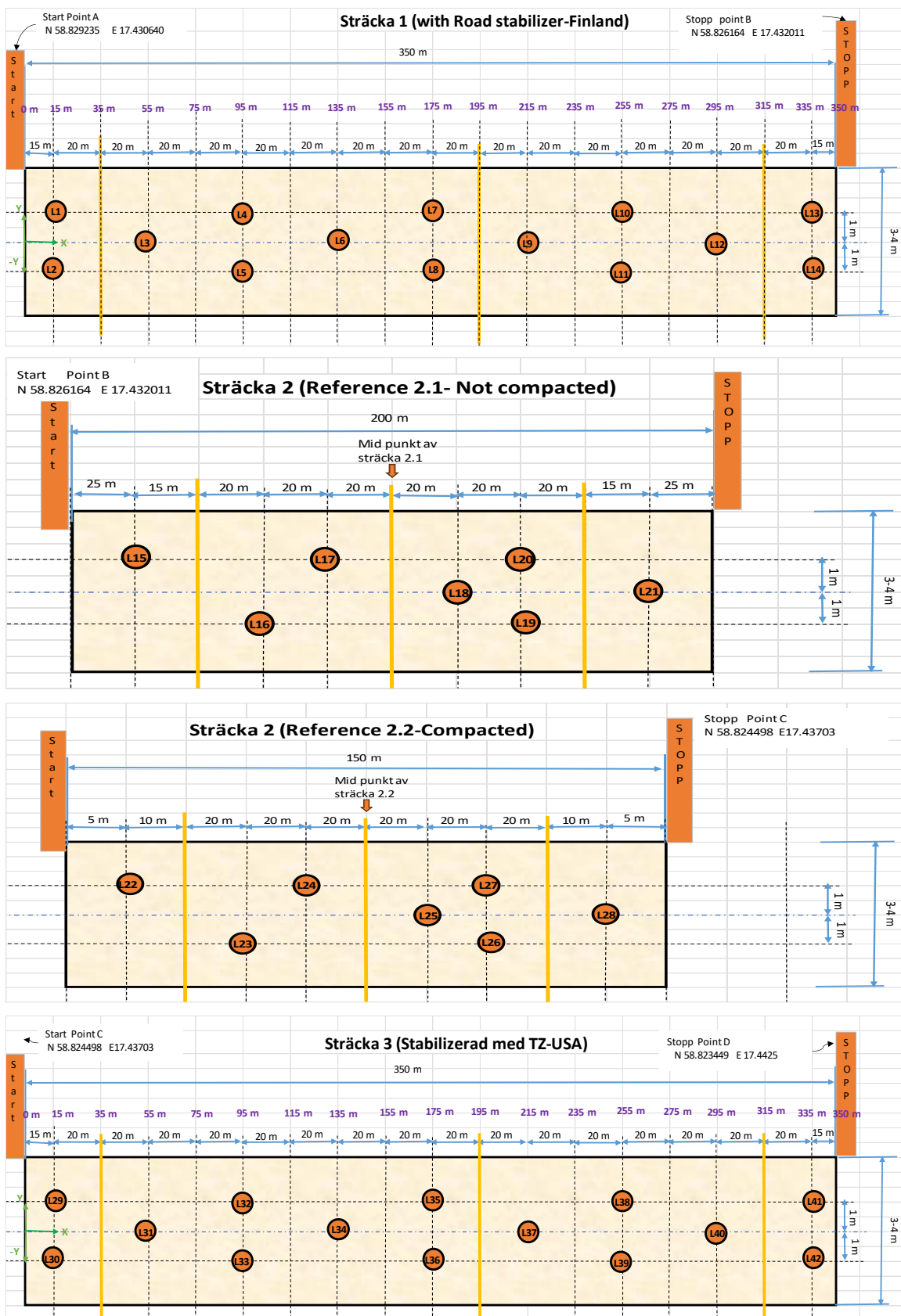
Foto: Andreas Waldemarson, VTI.

Foto: Nils Anders Olsson, Holmen.

*Figur 37: Trafiksimuleringen omfattade flera överfarter med en fullastad lastbil på pilotvägen i Trosa.*

## 6.5. Testpunkter och mätlayout

Figur 38 visar var profilmätningar och tester med lätt fallvikt (LWD) testar utfördes på utvalda punkter längs teststräckorna. Totalt tolv profilmätningar och fyrtiotvå LWD tester utfördes under var och en av de tre testfaserna: Initiala mätningar, mellanliggande mätningar och slutliga mätningar, vilket kommer att diskuteras i följande avsnitt.



Figur 38: Testpunkter och profillayout för vägnnitten i Trosa.



## 6.6. Mätningar efter byggnationen före och efter trafik- och väderpåverkan

För att noggrant kunna bedöma skicket på de vägsträckor som Holmen byggt omedelbart efter byggnationen och efter exponering för trafik och väderförhållanden, utfördes en rad detaljerade mätningar av VTI:s forskargrupp. Dessa tester omfattade mätningar med lätt fallvikt (LWD), profilmätningar med roterande lasermätare (RLL), bedömningar av fuktkvot och okulära inspektioner av både teststräckorna och den omgivande terrängen, enligt protokollet i bilaga 1. För teststräckorna på Holmen genomförde VTI mätningar i tre testfaser. De initiala mätningarna ägde rum den 20-22 juni 2023, omedelbart efter att vägsträckorna hade byggts, precis innan de utsattes för miljöförhållanden. De mellanliggande mätningarna utfördes den 24 och 25 oktober 2023, efter fyra månaders exponering för väder och vind, och strax före trafiksimuleringen. De slutliga mätningarna utfördes den 26 och 27 oktober 2023, efter att trafiksimuleringen hade slutförts.

Under varje fas av in-situ-försöken utfördes mätningarna med hjälp av den layout som visas i figur 38. Det är värt att notera att LWD-testerna utfördes exakt vid de punkter som anges i figur 38 under den initiala fasen. För de mellanliggande och slutliga mätningarna flyttades dock LWD-testpunkterna något - cirka 30 cm från de ursprungliga platserna - för att undvika återpackning om de testades på exakt samma platser två gånger. Dessa initiala, mellanliggande och slutliga mätningar ger en baslinje mot vilken vägens egenskaper kan bedömas, vilket hjälper till att identifiera eventuella problem före och efter att externa faktorer, som väder och trafik, spelar in, se figur 39.



Figur 39: VTI mätningar efter byggnation före och efter väder- och trafikexponering av de vägsträckor som byggdes av Holmen. Foton: Dina Kuttah, VTI.

För denna pilot väg, som byggdes i Trosa, utfördes dessutom ytterligare profilmätningar under slutfasen med hjälp av avancerad UAV-drönarteknik, en vägytemäbil (RST) samt roterande lasermätare (RLL). Dessa användes för att jämföra resultaten från de tre olika metoderna. Jämförelsen visade minimala genomsnittliga absoluta skillnader på 1,1 cm, 1 cm och 0,7 cm mellan metoderna UAV-drönare och RST, UAV-drönare och RLL respektive RST och RLL. De detaljerade resultaten av denna jämförelse publicerades separat, i enlighet med Kuttah och Waldemarson (2024).

### 6.6.1. Mätningar med lätt fallvikt och fuktkvot för Holmen sträckor

I tabellerna 6, 7, 8 och 9 presenteras resultaten av LWD-testet från de initiala, mellanliggande och slutliga mätfaserna, tillsammans med motsvarande vattenhaltsmätningar.

Tabell 6: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 1 som byggdes av Holmen.

Sträcka 1 (Stabiliserad med RS och DB-SB)						
Measurement point ID	Initiala mätningar		Mellanmätningar		Slutliga mätningar	
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Mellan Evd (MPa)	Mellan WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)
L1	16,83		24,81	8,51	26,01	7,11
L2	15,3		30,16	8,39	30,45	8,76
L3	9,03	8,18	11,44	10,13	15,68	8,65
L4	22,68		17,35	8,94	17,93	7,31
L5	28,52		28,52	7,36	24,92	6,20
L6	15,93		12,21	11,71	11,76	7,11
L7	35,55		39,47	7,05	36,29	7,07
L8	30,08		39,54	8,4	37,63	6,91
L9	15,4	5,17	12,17	8,07	18,34	6,72
L10	19,28		31,6	8,48	32,94	8,59
L11	27,31		36,89	7,29	31,87	8,49
L12	13,69	5,74	13,9	8,6	13,14	8,84
L13	19,05		32,89	9,63	24,4	7,84
L14	19,89		28,41	9,35	16,28	7,75
Medel	20,61	6,36	25,66	8,72	24,11	7,67

Tabell 7: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 2.1 som byggdes av Holmen.

Sträcka 2.1 - (Referens - Ej stabiliserad- Ej packad)						
Measurement point ID	Initiala mätningar		Mellanmätningar		Slutliga mätningar	
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Mellan Evd (MPa)	Mellan WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)
L15	18,52		23,29	11,03	20,68	11,58
L16	27,14	4,90538	28,13	7,19	32,19	8,02
L17	19,08		28,27	7,41	21,78	7,8

<b>Sträcka 2.1 - (Referens - Ej stabiliserad- Ej packad)</b>						
Measurement point ID	Initiala mätningar		Mellanmätningar		Slutliga mätningar	
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Mellan Evd (MPa)	Mellan WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)
L18	12,54	7,39369	8,15	15,1	7,45	13,26
L19	25,42		24,59	7,1	26,01	8,51
L20	29,57		32,33	8,04	24,7	6,47
L21	10,16		9,55	18,99	11,84	15,59
Medel	20,34	6,15	22,04	10,7	20,66	10,18

Tabell 8: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 2.2 som byggdes av Holmen.

<b>Sträcka 2.2 (Referens - Ej stabiliserad- packad)</b>						
Measurement point ID	Initiala mätningar		Mellanmätningar		Slutliga mätningar	
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Mellan Evd (MPa)	Mellan WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)
L22	32,56		30,65	11,21	28,3	8,56
L23	32,85		34,46	9,04	28,45	7,32
L24	31,47		38,07	7,58	29,96	6,07
L25	17,72	5,02658	14,53	10,88	24,4	10,46
L26	19,96		26,95	7,65	21,11	6,04
L27	24,81		35,43	6,78	33,19	7,88
L28	12,2	12,7593	11,5	25,97	8,94	20,25
Medel	24,51	8,89	27,37	11,31	24,9	9,52

Tabell 9: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 3 som byggdes av Holmen.

<b>Sträcka 3 - (Stabiliserad med TZ)</b>						
Measurement point ID	Initiala mätningar		Mellanmätningar		Slutliga mätningar	
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Mellan Evd (MPa)	Mellan WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)
L29	16,87		34,99	7,99	28,66	7,38
L30	24,04		35,66	7,93	32,33	7,32



Sträcka 3 - (Stabiliserad med TZ)						
Measurement point ID	Initiala mätningar		Mellanmätningar		Slutliga mätningar	
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Mellan Evd (MPa)	Mellan WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)
L31	13,12	8,65	12,21	9,13	14,5	7,99
L32	31,78		33,23	6,91	31,12	8,57
L33	16,97		29,07	6,54	17,08	6,22
L34	26,98	4,81	24,78	8,02	21,25	8,1
L35	19,41		34,56	6,93	33,04	6,39
L36	24,3		35,32	6,98	31,34	7,85
L37	15,82		15,75	11,23	12,47	10,87
L38	33,09		45,09	7,36	35,16	5,94
L39	22,12		34,46	6,3	24,92	7,37
L40	23,01	7,66	24,04	9,71	20,78	9,78
L41	35,77		42,37	7,4	39,75	5,83
L42	33,28		38,4	10,93	32,61	8,31
Medel	24,04	7,04	31,42	8,10	26,78	7,71

Tabellerna 6 till 9 visar att de genomsnittliga Evd-värdena som uppmättes under de mellanliggande testerna (efter exponering för miljöförhållanden men före trafiksimulering) för alla vägsträckor (både stabiliserade och ostabiliserade) visade en liten ökning jämfört med de Evd-värden som registrerades under de initiala mätningarna, trots att vatteninnehållet var högre under de mellanliggande testerna för alla testade sträckor. Denna ökning kan tillskrivas den totala hållfasthetsökningen till följd av vätnings- och torkningscyklerna, liksom härdningseffekten i de stabiliserade sträckorna som inträffade efter konstruktionen.

De slutliga mätningarna (efter trafiksimulering) visade en minskning av Evd-värdena för alla sträckor jämfört med de mellanliggande mätningarna. Omfattningen av denna minskning varierade beroende på varje enskild sträckas egenskaper, vilket belyser stabiliseringens positiva inverkan (se tabell 10).

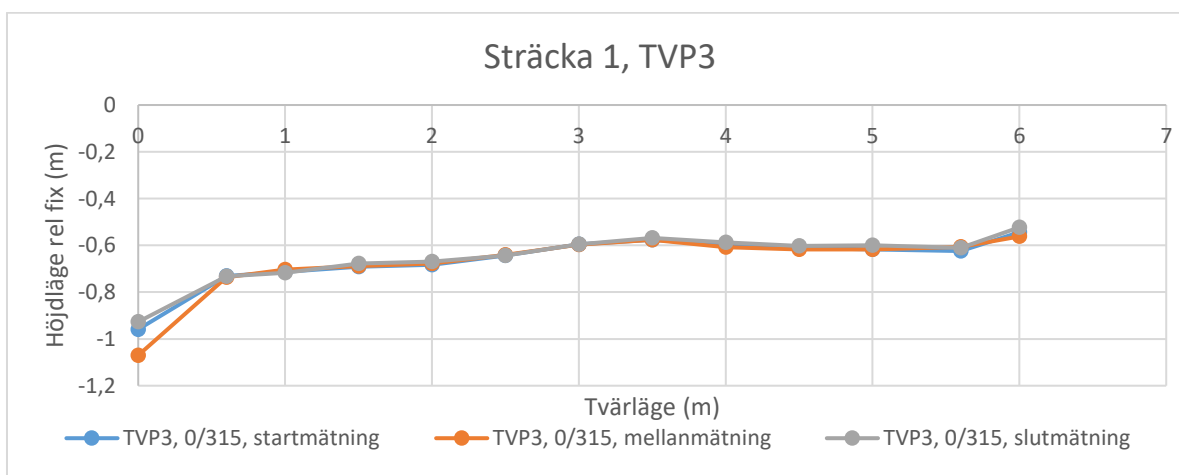
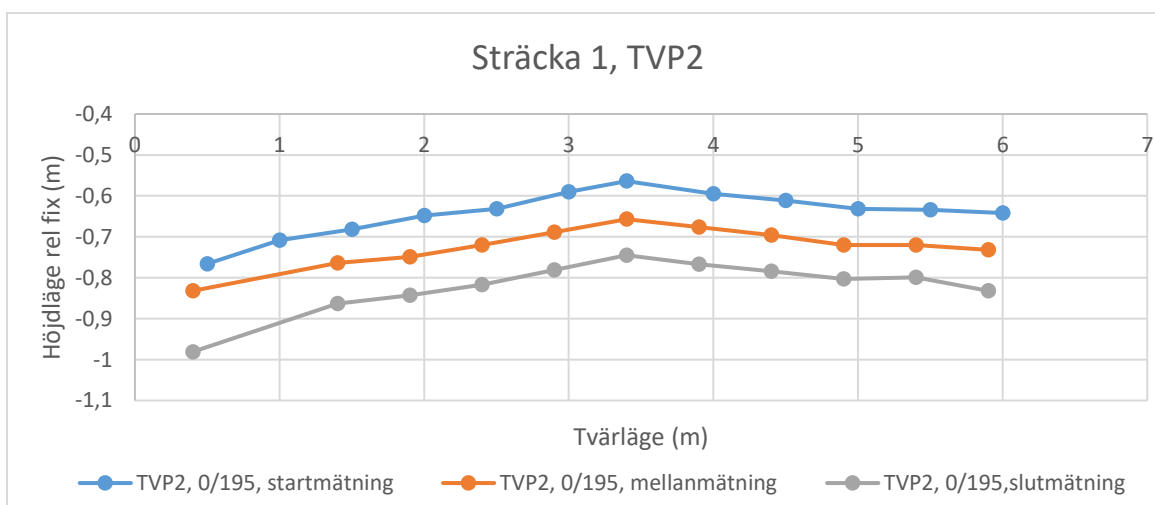
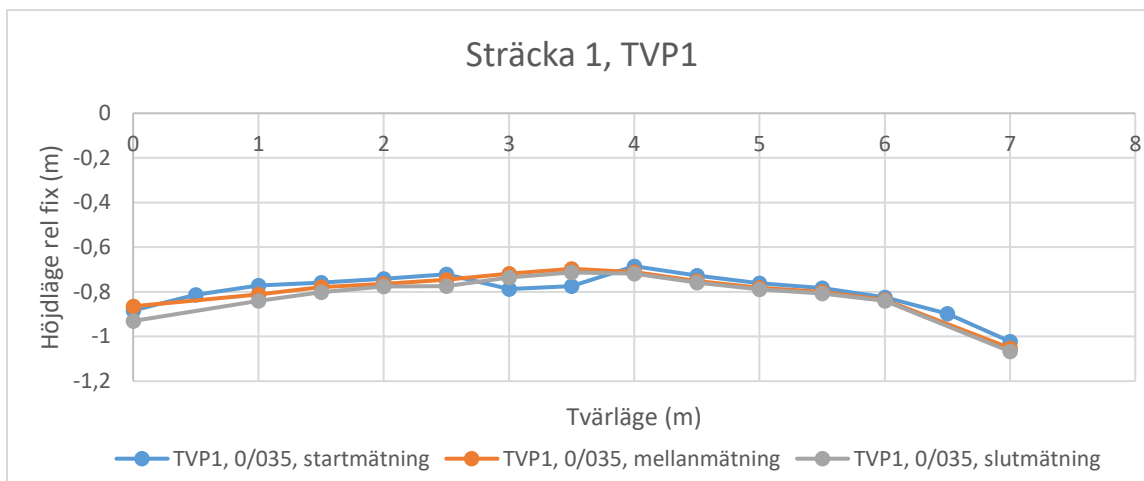
Tabell 10: Percent gain in strength due to stabilization with enzyme blends.

	Initiala mätning		↓ Klimatpåverkan	Mellanmätning		% ökning av Evd med tiden	↓ Trafiksimulering	Slutmätning		% minskning i Evd på grund av enbart trafik	Skillnad mellan intermediat och slutliga förändringar i Evd	Total procentuell ökning av styrkan mellan initial och slutlig Evd
	Evd (MPa)	WC (%)		Evd (MPa)	WC (%)			Evd (MPa)	WC (%)			
Str. 1 med RS & DB-SB	20,61	6,36		25,67	8,72	24,54		24,12	7,67	6,04	18,50	17,02
Str. 2.1 Ref utan packning	20,35	6,14		22,04	10,7	8,34		20,66	10,18	6,26	2,08	1,56
Str. 2.2 Ref med packning	24,51	8,89		27,37	11,31	11,67		24,91	9,52	9,00	2,67	1,62
Str. 3 med TZ	24,04	7,04		31,42	8,1	30,71		26,79	7,71	14,76	15,96	11,42

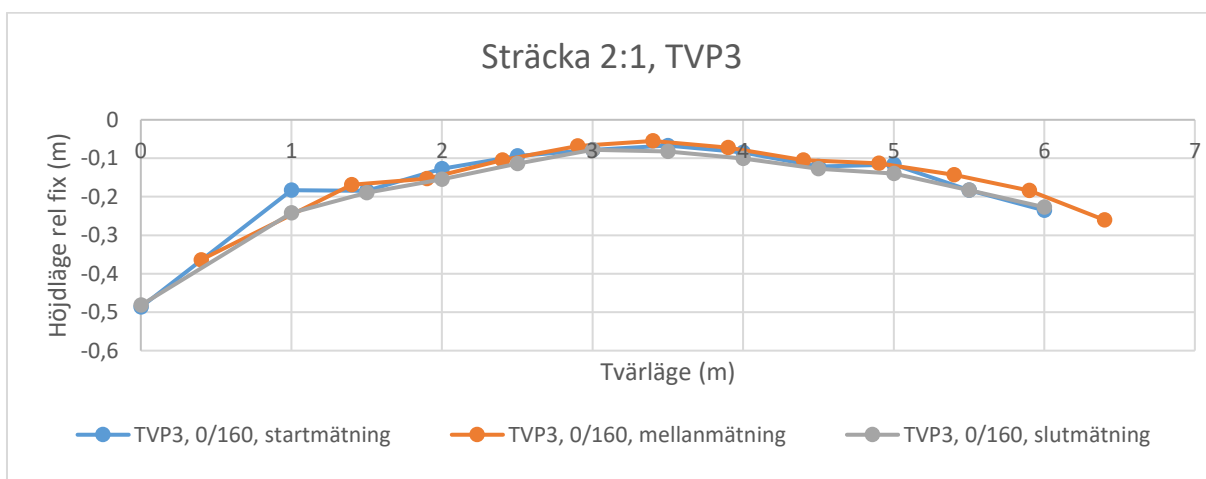
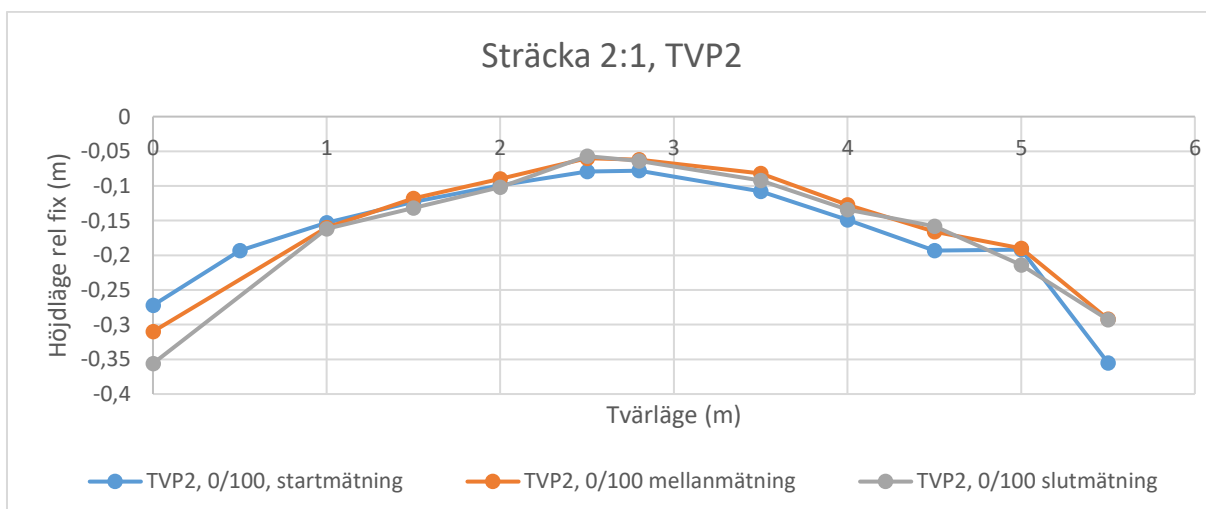
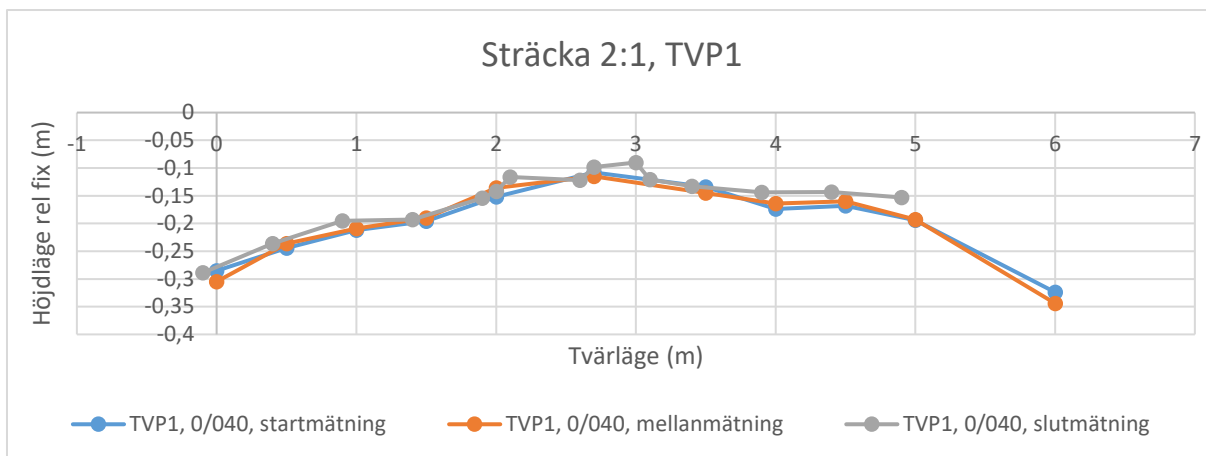
Som framgår av tabell 10 var den totala bärlighetökningen högre för de stabiliserade sträckorna jämfört med de ostabiliserade. Den bäst presterande sträckan var sträcka 1, stabiliserad med blandningar av RS och DB-SB, som uppvisade en total Evd ökning på 17%. För att bedöma effekten av enbart packning på bärförmågan i form av Evd jämfördes motsvarande Evd-värden för de två ostabiliserade delarna av sträcka 2. En ökning av bärförmågan med ca 20% observerades för den packade delsträckan 2.2 jämfört med den opackade delsträckan 2.1, både vad gäller de initiala och slutliga Evd-mätningarna för de två delsträckorna. Denna slutsats dras bortsett från den potentiella heterogeniteten hos det packade materialet i de testade sträckorna. Effektiviteten av enbart packning, liksom stabilisering med varje stabiliseringsmedel, kommer också att bedömas ur ett kostnads-nyttoperspektiv.

## 6.7. Profilmätningar för Holmen sträckor

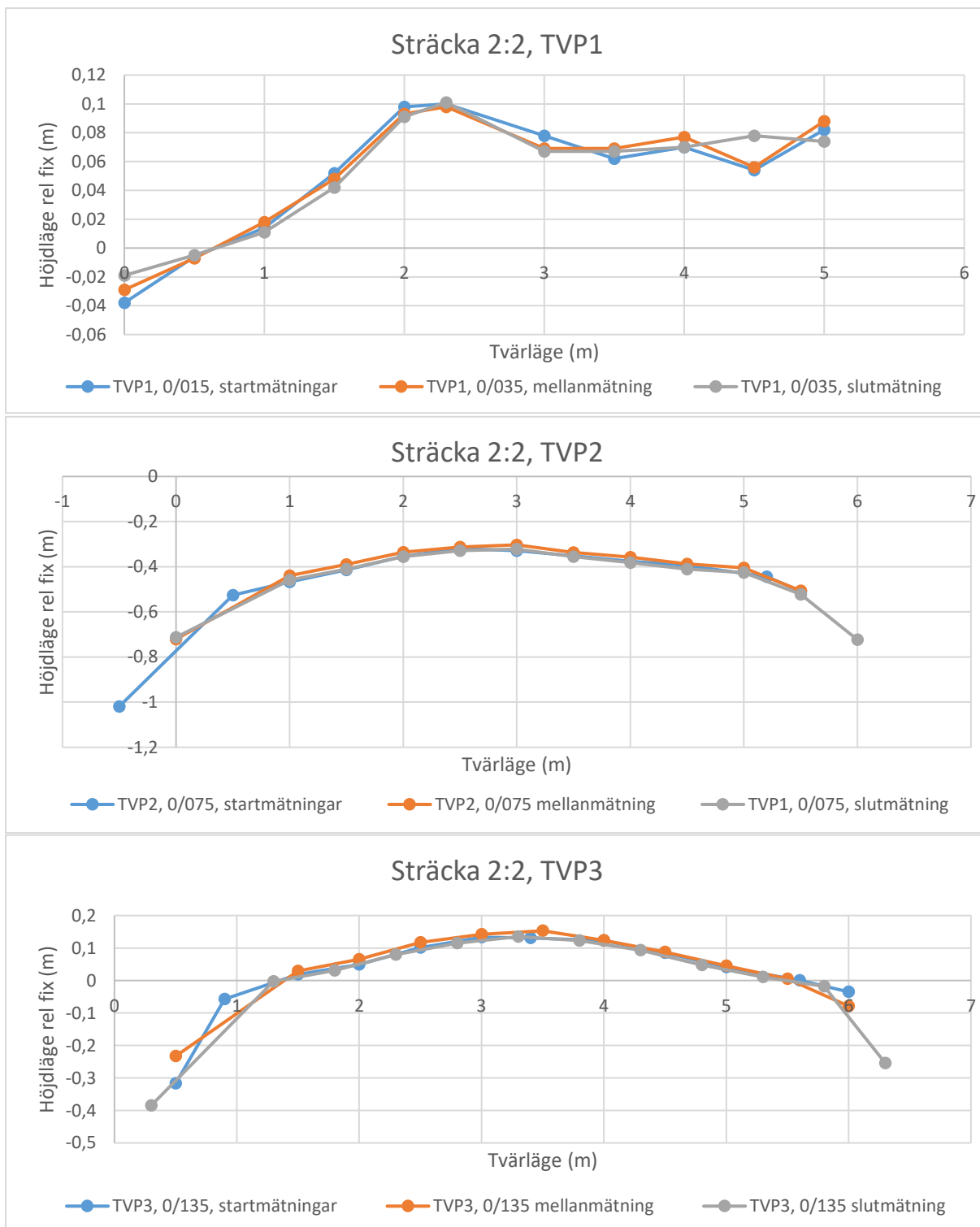
Profilmätningar genomfördes för vägsträckorna 1, 2 och 3 både före och efter att de utsatts för väder- och trafikpåverkan, vilket ger en jämförande analys av förändringar över tid. Uppgifterna belyser variationer i höjd, tvärsnittsform och materialfördelning över olika delar av vägen. Dessa mätningar, som visas i figurerna 40, 41, 42 och 43 för sträckorna 1, 2.1, 2.2 respektive 3, hjälper till att bedöma potentiella problem som ojämnt slitage, spårbildning eller materialförskjutning, vilket är avgörande för att utvärdera vägens egenskaper och fastställa nödvändiga underhålls- eller förbättringsåtgärder.



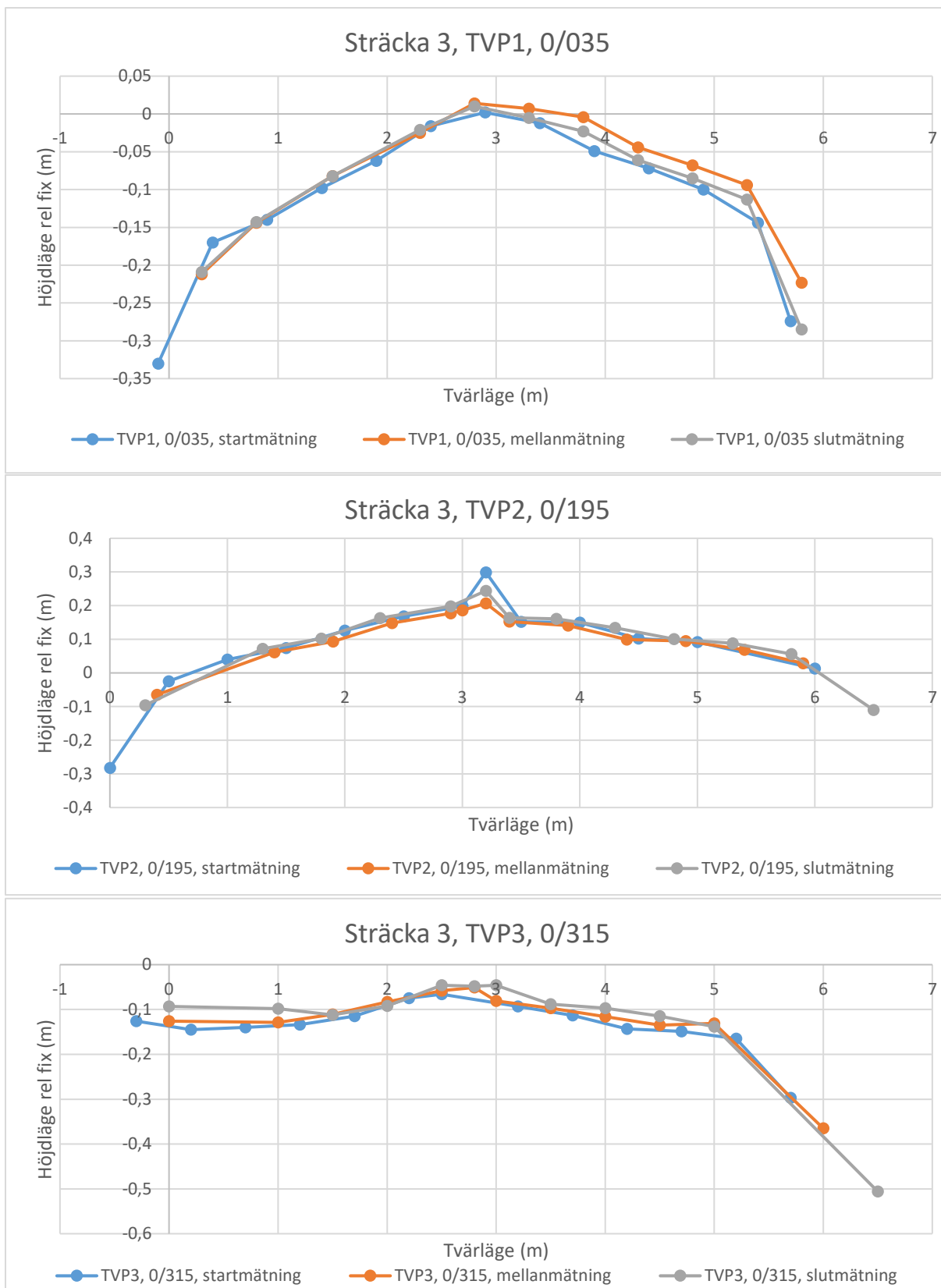
Figur 40: Initiala, mellan och slutliga profilmätningar för vägsträcka 1 med RS och DB-SB byggdes av Holmen i Trosa.



Figur 41: Initiala, mellan och slutliga profilmätningar för vägsträcka 2.1 byggdes av Holmen i Trosa.



Figur 42: Initiala, mellan och slutliga profilmätningar för vägsträcka 2.2 byggdes av Holmen i Trosa.



Figur 43: Initiala, mellan och slutliga profilmätningar för vägsträcka 3 med TZ byggdes av Holmen i Trosa.

För vägavsnitt 1 med RS och DB-SB visar Figur 40 en god överensstämmelse mellan de mätningar som gjorts vid tre tillfällen för profilerna TVP1 och TVP3, medan detta inte är fallet för profil TVP2. Avvikelsen i TVP2:s mätningar beror på förflyttningen av referenspunkten snarare än en faktisk



förändring av profilen, eftersom de tre profiler som registrerats vid de tre mätillfällena visar ett konsekvent mönster, men de är något förskjutna.

Figurerna 41 och 42 visar profilmätningarna för de ostabiliserade sträckorna utan respektive med packning. Det är tydligt att den packade sträckan 2.2, som visas i figur 42, upplevde färre förändringar i sina profiler under de tre mätillfällena jämfört med motsvarande profilmätningar för den opackade sträckan 2.1, som visas i figur 41.

När det gäller den stabiliserade sträckan 3 med TZ, som visas i figur 43, uppvisade profilerna TVP1, TVP2 och TVP3 märkbara förändringar mellan de mätningar som gjordes före och efter påverkan av väder- och trafikeffekter.

Sammanfattningsvis uppvisade sträcka 1 och sträcka 2.2 bäst prestanda när det gäller profilmätningar.

### 6.7.1. Okulär-inspektion för Holmen sträckor

Slutmätningen utfördes mellan den 26 och 27 oktober under grått och mulet väder med småduggregn och en temperatur på cirka 10°C. Det hade regnat under veckan då mätningen genomfördes, och diken var fyllda med vatten.

**På sträcka 1 med RS och DB-SB** visade bilderna gräs i mitten av vägen. Lera och vatten i vänster hjulspår mellan 0/000 och 0/030, fram till TVP1, med mindre vallar mellan 0/050 och 0/115, se figur 44. Det var fuktigt och lerigt i hjulspåren. Tvärsektionen kontrollerades enligt avvägningen och det fanns ingen korrugering eller några potthål. Spårbildning noterades, men ingen damning att tala om, och endast enstaka delar med löst grus, främst i mitten.



Figur 44: Sträcka 1 med RS och DB-SB, Trosa. Foto: Andreas Waldemarson, VTI.

**På sträcka 2.1, som inte var kompakterad**, visade bilderna gräs i mitten av vägen och leriga hjulspår. Antydningar till vallar kunde ses mellan 0/040 och 0/045 i höger hjulspår, se figur 45. Tvärsektionen följde avvägningen och det fanns ingen korrugering eller potthål. Spårbildning noterades enligt avvägningen, ingen damning och enstaka delar med löst grus, mest i mitten och vid väggkanten.



Figur 45: Sträcka 2.1, Trosa. Foto: Andreas Waldemarson, VTI.

**För sträcka 2.2, som var kompakterad**, visade bilderna gräs i mitten av vägen, leriga hjulspår och vallar mellan 0/090 och 0/105, se figur 46. Ett eventuellt potthål noterades vid 0/150 i höger hjulspår. Tvärsektionen följde avvägningen, och det fanns ingen korrugering. Potthål observerades möjligen vid 0/150 i höger hjulspår, och spårbildning följde avvägningen. Ingen damning att tala om, och löst grus fanns främst i mitten och vid väggkanten.



Figur 46: Sträcka 2.2, Trosa. Foto: Andreas Waldemarson, VTI.

**På sträcka 3 (TZ)** visade bilderna gräs i mitten av vägen, med mindre gräs mot slutet av sträckan, samt leriga hjulspår, se figur 47. Vallar noterades mellan 0/090 och 0/120 samt mellan 0/170 och 0/200. Vatten observerades vid höger vädkant mellan 0/155 och 0/160. Tvärsektionen följde avvägningen och ingen korrugering noterades. Potthål observerades möjligen vid 0/150 i höger hjulspår. Spårbildning följde avvägningen och ingen damning att tala om, med enstaka delar löst grus mest i mitten och vid vädkanten.



Figur 47: Sträcka 3 med TZ, Trosa. Foto: Andreas Waldemarson, VTI.

## 6.8. Viktiga observationer och insikter för Holmens försök

Generellt visade LWD-data att de stabiliserade sträckorna hade högre bärförmåga, vilket indikeras av Evd-värden, jämfört med de ostabiliserade sträckorna. Kostnaden för de stabiliserade sträckorna var dock också högre. En detaljerad kostnads-nyttoanalys krävs för att fullt ut utvärdera nyttan av stabilisering och packning. En betydande del av kostnaderna var relaterade till bevattning av de stabiliserade vägsträckorna före stabiliseringsprocessen, vilket medförde avsevärda extrakostnader. I framtiden kan dessa kostnader minskas genom att stabiliseringsprocessen inleds efter en regnig dag, vilket eliminerar behovet av vattning. Dessutom finns det stor potential för kostnadsminskningar med ökad erfarenhet av enzymspridning och genom att använda mer kostnadseffektiva maskiner. DB-SB-transporten krävde stora volymer material, vilket ledde till användning av tankbilar, vilket ökade kostnaderna avsevärt jämfört med de mindre volymerna enzymer, såsom RS och TZ. Denna faktor bör beaktas i kostnadsanalysen.

När det gäller de ostabiliserade sträckorna, särskilt sträcka 2.1 ”opackad” och sträcka 2.2 ”packad”, är det viktigt att notera att sträcka 2.1 ibland packades av maskinrörelser under stabiliseringen av sträcka 1 och 3, eftersom sträcka 2 var placerad i mitten. Denna oavsiktliga packning bör också beaktas i kostnadsanalysen, eftersom sträcka 2.1 utan den sannolikt skulle ha visat ännu lägre Evd-värden än vad som rapporterats.

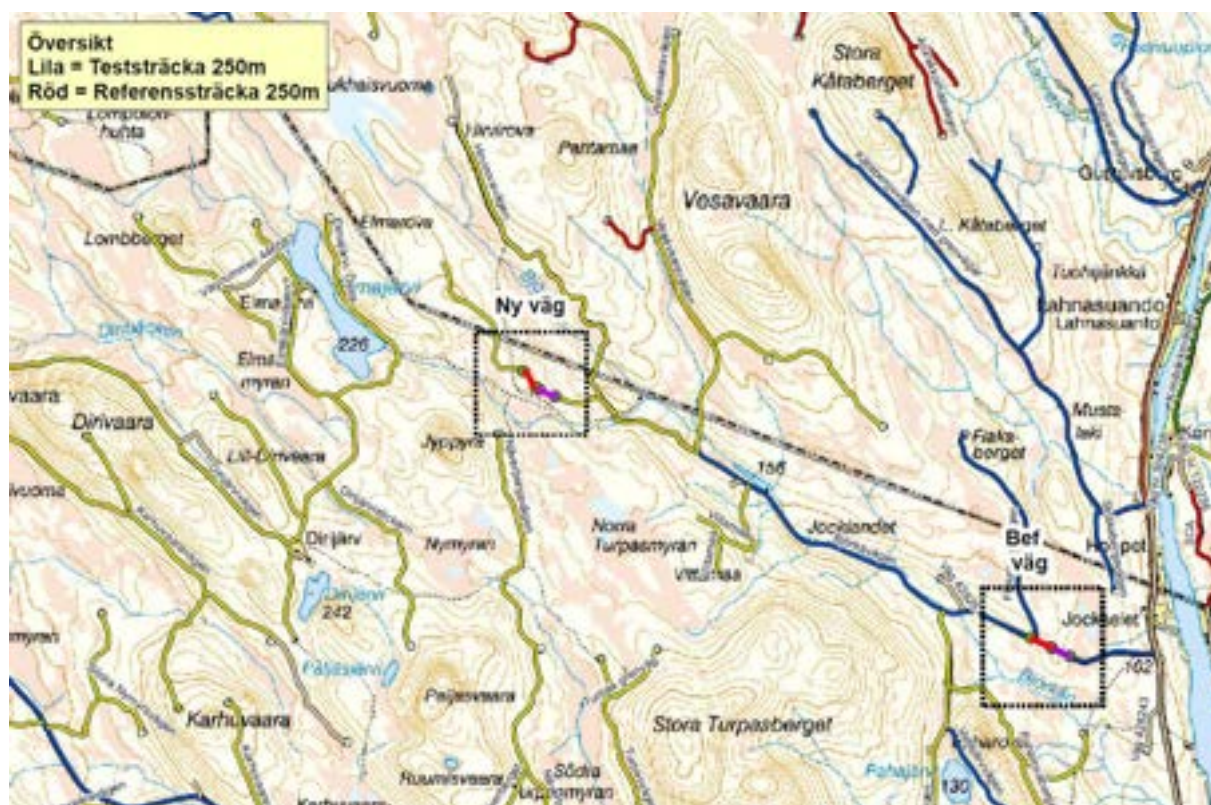


## 7. Packning med hjälp av tung vältkompaktor

Packning ökar markens densitet mekaniskt genom att minska hålrummen i marken (Kodikara et al., 2018, Craig, 1992; Selig, 1982). Denna process minskar risken för sättningar, ökar markens bärlighet, förbättrar vägens bärlighet och minimerar oönskade volymförändringar orsakade av vatteninfiltration, frysning, upptining och andra miljöfaktorer (Holtz & Kovacs, 1981). I enlighet med detta har Sveaskog valt att pröva effekten av att packa en testväg med en tung vält för att öka dess bärlighet.

### 7.1. Plats för de vägsträckor som testades av Sveaskog

Sveaskog har valt att bygga sina teststräckor i Överkalix, se figur 48. Koordineringen av start- och slutpunkterna för varje sträcka illustreras i Tabell 11 nedan.



Figur 48: Platsen för de fyra teststräckor som byggdes av Sveaskog.

Tabell 11: Koordinater för de fyra teststräckor som byggdes av Sveaskog enligt Sweref 99 system.

	Befintlig väg				Ny väg			
	Test	Test	Ref	Ref	Test	Test	Ref	Ref
	Start	Slut	Start	Slut	Start	Slut	Start	Slut
N	7421649	7421756	7421763	7421875	7424890	7424975	7425010	7425203
E	836270	836044	836034	835789	829843	829645	829590	829446

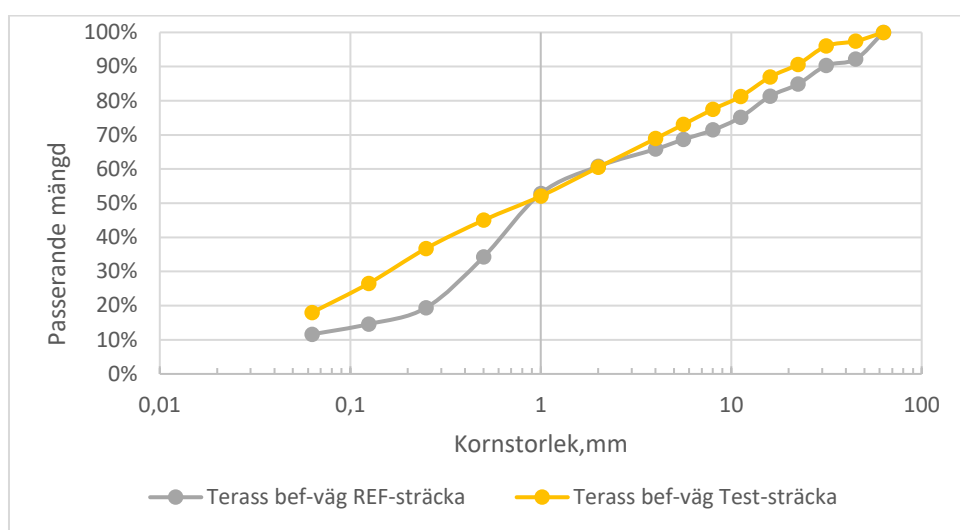
## 7.2. Egenskaper hos materialen i vägsträckorna

Prover av ytmaterial som finns i de utvalda vägsträckorna skickades till VTI-laboratoriet i Linköping för testning. Kornstorleksfördelningen har bestämts enligt SS-EN 933-1 (2012) för terrassen på de befintliga vägsträckorna och terrassen på de nybyggda vägsträckorna enligt figur 49 respektive 50.

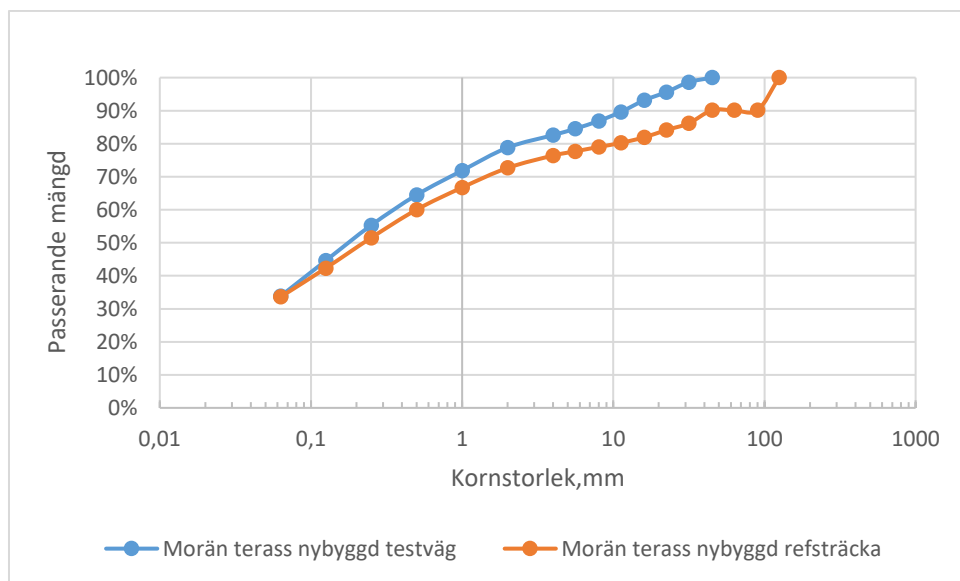
För den befintliga vägen visar figur 49 att cirka 10 % av partiklarna passerar genom 0,063 mm-sikt, 60 % är finare än 2 mm-sikt, och samtliga partiklar passerar genom 63 mm-sikt.

För den kompakterade teststräckan på den nybyggda vägen visar figur 50 att terrassen består av morän, där cirka 28 % av partiklarna passerar genom 0,063 mm-sikt, 77 % är finare än 2 mm-sikt, och 100 % passerar genom 45 mm-sikt.

För referenssträckan på den nybyggda vägen visar figur 50 att cirka 26 % av partiklarna passerar genom 0,063 mm-sikt, 70 % är finare än 2 mm-sikt, och 100 % passerar genom 125 mm-sikt. Terrassen består till största delen av sandfraktion på båda sträckorna på den befintliga vägen.

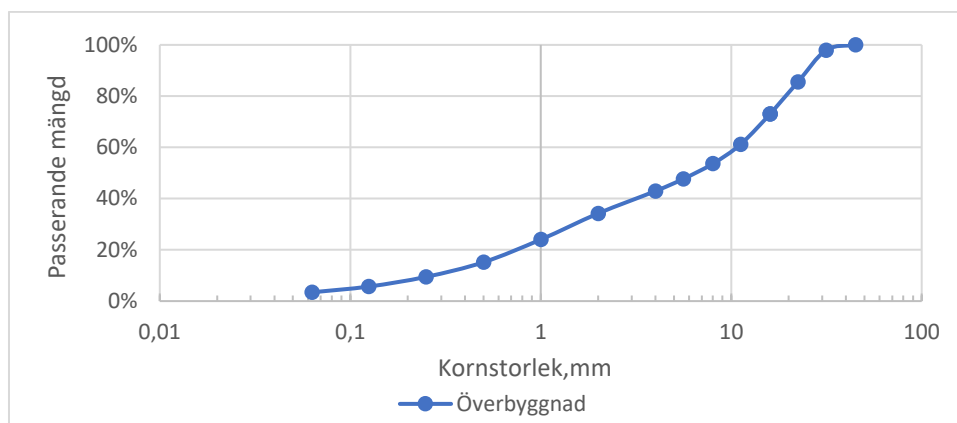


Figur 49: Partikelstorleksfördelningen i bärlagret på referens- och teststräckorna på en befintlig skogsbilväg i Överkalix.



Figur 50: Kornstorleksfördelningen i terrassen på referens- och teststräckorna på en nybyggd skogsbilväg i Överkalix.

Figur 51 visar att ca 3% av materialet passerar genom 0,063 mm-sikt, 34% passerar genom 2 mm-sikt och 100% passerar genom 45 mm-sikt, vilket tyder på att materialet huvudsakligen består av grus.



Figur 51: Kornstorleksfördelningen för överbyggnad på samtliga nybyggda och befintliga skogsvägssträckor i Överkalix.

### 7.3. Byggprocessen för vägsträckorna av Sveaskog

#### Den befintliga vägen

Den befintliga vägen är byggd av sandig morän, troligen under 1960-talet, och har nyligen förstärkts i augusti 2023 med ett 10 cm lager krossad morän från Jierivaara-täkten, som innehåller en hög andel sand. På teststräckan genomfördes en kompaktering av överbyggnadens yta den 29 augusti med åtta överfarter. Detta gjordes med en Bomag 6-tons vält och en Volvo L90 hjullastare. Framryckningshastigheten var 250 meter på 5 minuter och 49 sekunder, vilket motsvarar en hastighet av 2,6 km/h under vältningen, figur 52.



Bomag 6 ton vält

Figur 52: Vältning av befintligväg, Foton: Mikael Bergqvist, Sveaskog.

#### Den nya vägen

Den nya vägen byggdes under perioden juli till september 2023. Terrassen kompakterades med hjälp av en bandtraktor och en ringvält för att säkerställa framkomlighet på både teststräckan och referenssträckan. Kompakteringen utfördes för att skapa en stabil grund och förbättra väggroppens hållbarhet, vilket var en viktig del av byggprocessen för dessa sträckor, se figurerna 53 och 54.

På teststräckan påfördes och kompakterades grus den 31 augusti 2023. På referenssträckan påfördes grus den 4 september. Därefter utförde VTI sina mätningar den 5- 6 september 2023.





*Figur 53: Vältad ny väg. Foto: Mikael Bergqvist, Sveaskog.*



*Figur 54: Bandtraktor med Ringvält, vältning av terrass ny väg. Foto: Mikael Bergqvist, Sveaskog.*

## 7.4. Trafiksimulering

En trafiksimulering med 50 överfarter utfördes den 17 juni 2024 för att bedöma trafikens påverkan på vägsträckorna. Under simuleringen användes en lastbil med en totalvikt på 31,9 ton och tridemkonfiguration, vilket innebär att den har tre axlar. Axlarna hade följande avstånd: 1-4 var 3,75 meter.

Däckdimensionerna för lastbilen varierade mellan axlarna, där axel 1 och 4 hade däck av dimensionen 385/65 22,5'' och axel 2 och 3 hade däck av dimensionen 315/80 22,5''. Under trafiksimuleringen var vädret soligt och varmt, och vägbanan var torr utan vatten i diken.

Se figur 55 för en bild av lastbilen under simuleringen och figur 56 för specifikationer av last och axeltryck.



Figur 55: Lastbil vid trafiksimulering. Foto: Mikael Bergqvist, Sveaskog.



Figur 56: Specifikation last & axeltryck. Foto: Mikael Bergqvist, Sveaskog.

Figureerna 59 till 60 visar effekten av trafiksimulering på de fyra vägvägnitten som studeras efter olika antal lastbilspassager.



Figur 57 Teststräcka upprustning 1st överfart lastbi. Foto: Mikael Bergqvist, Sveaskog.



*Figur 58 Ref.sträcka upprustning 1 st överfart lastbil. Foto: Mikael Bergqvist, Sveaskog.*



*Figur 59 Teststräcka nybyggn 5st överfart lastbil. Foto: Mikael Bergqvist, Sveaskog.*



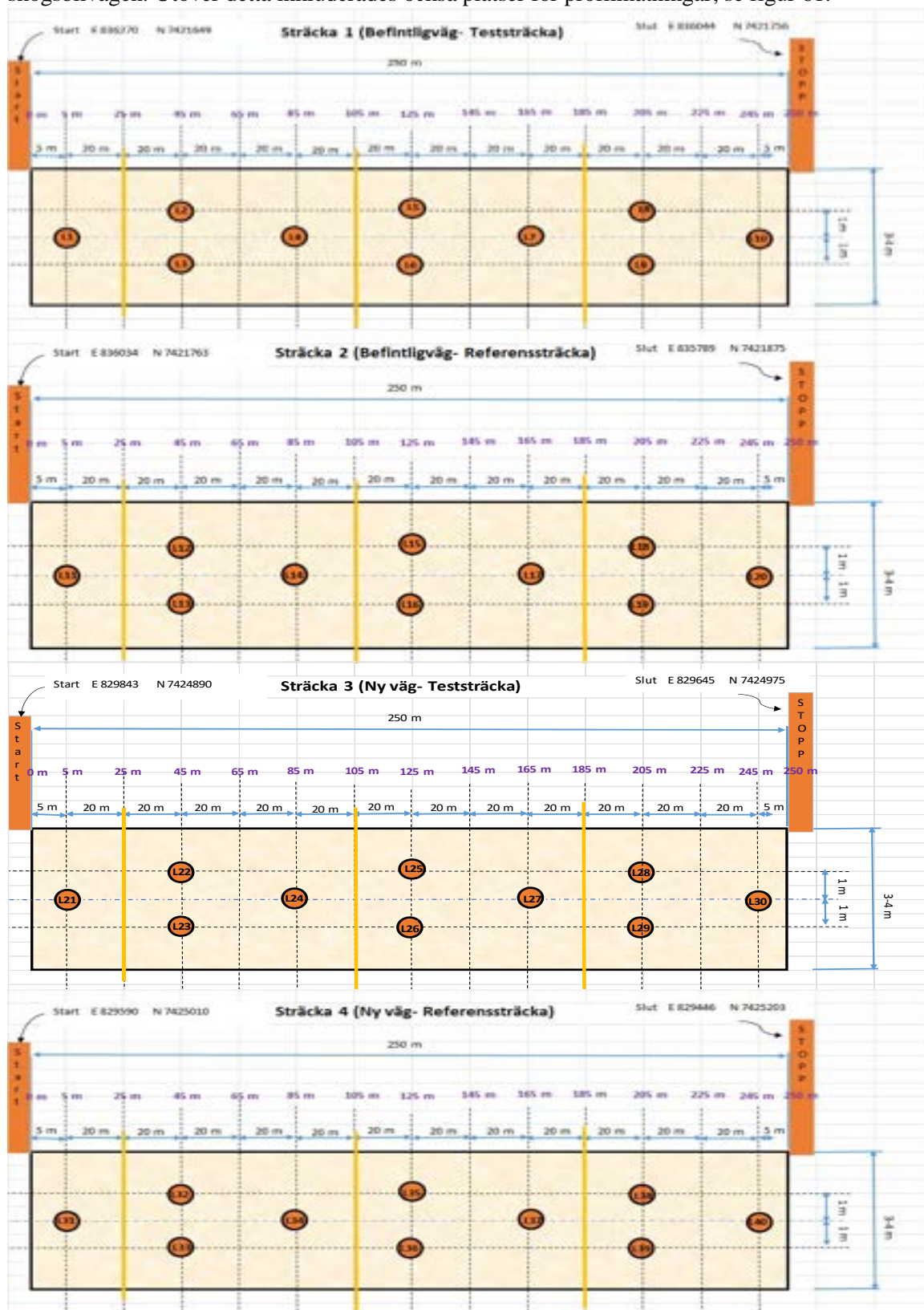


*Figur 60: Ref. sträcka nybyggnation 4st överfart lastbil. Foto: Mikael Bergqvist, Sveaskog.*

## 7.5. Testpunkter och mätlayout

De testade vägsträckorna hade en liknande layout för mätpunkterna, där varje sträcka omfattade flera mätplatser för lättviktsdeflektometer (LWD), som var strategiskt utplacerade både tvärs och längs

skogsbilvägen. Utöver detta inkluderades också platser för profilmätningar, se figur 61.



Figur 61: Testpunkter och mätlayout för de fyra testade vägsträckorna som byggdes av Sveaskog. Siffrorna i cirklarna anger LWD-mätpunkterna, medan de gula linjerna markerar positionerna för profil- och hjulspårsmätningar, och den prickade blå linjen indikerar vägens mittlinje. Totalt

genomfördes fyrtiotvå LWD-mätningar, tillsammans med nio profileringar, samt flera punkter i anslutning till LWD-platserna där fuktkvot bestämdes.

## 7.6. Mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderexponering

För att noggrant bedöma tillståndet hos de vägsträckor som byggts av Sveaskog genomfördes en serie detaljerade mätningar av VTI forskarteam, både omedelbart efter konstruktionen och efter exponering för trafik och väderförhållanden för att samla in data och utvärdera vägens tillstånd och de olika sträckornas egenskaper. Dessa tester omfattade mätningar med lättviktsdeflektometer, profilmätningar, mätningar av fuktkvot och visuella inspektioner av både de testade vägsträckorna och den omgivande terrängen, enligt protokollet som redovisas i Bilaga 1.

De initiala mätningarna för Sveaskog teststräckor genomfördes mellan 5 och 6 september 2023, strax efter att vägsträckorna byggts. De slutliga mätningarna utfördes på samma sätt mellan 25 och 26 juni 2024, efter att vägsträckorna hade utsatt för väder och trafikbelastningar under flera månader, se figur 62.



Figur 62: VTI-mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderpåverkan av de vägsträckor som Sveaskog byggte i Överkalix. Foton: Andreas Waldemarson, VTI.

De initiala och slutliga mätningarna utfördes enligt den mätlayout som visas i Figur 61. Det är viktigt att notera att LWD-testerna genomfördes exakt vid de angivna punkterna under de initiala testerna, innan vägsträckorna exponerades för trafik. Under de slutliga mätningarna justerades positionerna för LWD-testpunkterna något, med en förflyttning på cirka 30 cm, för att undvika eventuell efterkompaktning som skulle kunna inträffa om testerna utfördes på exakt samma ställen vid båda tillfällena. Dessa initiala och slutliga mätningar fungerar som referenspunkter för att bedöma vägprestandan och för att identifiera eventuella potentiella problem innan och efter att externa faktorer påverkat vägsträckorna. Resultaten från både de initiala och slutliga testerna redovisas i det följande avsnittet.



### 7.6.1. Mätningar med lätt fallvikt och fuktkvot för Sveaskog sträckor

Tabellerna 12, 13, 14 och 15 visar den de initiala och slutliga mätningarna för lätt fallvikt modulen (Evd) i MPa och fuktkvoten (WC) i procent för vägsträckorna 1, 2, 3 och 4.

Tabell 12: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 1 som byggdes av Sveaskog i Överkalix.

Sträcka 1 - (Befintligväg-Teststräcka)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell Ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L1	49,78	2,62	28,81	1,09%	-42,13
L2	54,22	2,16	56,83	1,60%	4,81
L3	42,21		56,2	1,80%	33,14
L4	40,32		23,15	1,31%	-42,58
L5	49,23		41,82	1,51%	-15,05
L6	55,28	2,47	41,74	1,77%	-24,49
L7	41,51		20,44	1,16%	-50,76
L8	51,61	2,33	46,49	1,34%	-9,92
L9	46,3		54,09	1,55%	16,83
L10	75		31,56	0,81%	-57,92
Medel	50,5	2,395	40,113	1,39%	-18,81

Tabell 13: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 2 som byggdes av Sveaskog i Överkalix.

Sträcka 2 - (Befintligväg-Referenssträcka)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell Ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L11	40,32	1,98	43,19	1,11%	7,12
L12	43,69		52,45	1,42%	20,05
L13	44,73	2,08	50,68	1,33%	13,30
L14	44,64		29,68	0,88%	-33,51
L15	54,74	1,88	49,56	0,90%	-9,46
L16	48,39		54,88	1,21%	13,41
L17	44,12		28,81	0,84%	-34,70
L18	55,28		71,66	1,43%	29,63
L19	63,2		52,82	1,42%	-16,42
L20	48,28	1,56	23,86	1,08%	-50,58
Medel	48,739	1,875	45,759	1,16%	-6,12

Tabell 14: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 3 som byggdes av Sveaskog i Överkalix.

Sträcka 3 - (Nyväg-Teststräcka)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell Ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L21	15,87		21,45	1,46%	35,16
L22	15,21	4,51	39,2	1,30%	157,73
L23	8,95		53,19	0,97%	494,30
L24	8,4		23,32	1,44%	177,62
L25	12,37		32,61	1,58%	163,62
L26	7,82	4,68	32,14	1,11%	311,00
L27	15,38		23,61	1,33%	53,51
L28	36,53	2,76	38,33	0,95%	4,93
L29	18,64		41,44	0,85%	122,32
L30	7,1	2,83	32,28	0,94%	354,65
Medel	14,627	3,695	33,757	1,19%	187,48

Tabell 15: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 4 som byggdes av Sveaskog i Överkalix.

Sträcka 4 - (Nyväg-Referenssträcka)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell Ökning eller minskning
	Initial Evd	Initial WC	Slut Evd	Slut WC	
L31	15,73	2,32	35,49	1,67%	125,62
L32	10,29		38,73	3,74%	276,38
L33	7,99		45,45	1,21%	468,84
L34	13,19	2,26	27,17	1,10%	105,99
L35	9,03		45,27	1,18%	401,33
L36	8,11	2,65	40,47	0,81%	399,01
L37	11,43		11,61	1,07%	1,57
L38	18,6		33,63	1,16%	80,81
L39	29,45		43,52	1,30%	47,78
L40	12,52	2,56	18,81	1,17%	50,24
Medel	13,634	2,4475	34,015	1,44%	195,76

Vid jämförelse av ändringar i bärförmåga baserat på Evd-värden vid de initiala mätningarna, observerades följande resultat: en ökning av Evd på 3,7 % registrerades mellan sträcka 1 (befintligväg - teststräcka) och sträcka 2 (befintligväg - Ref. sträcka), en större ökning av Evd på 7,3 % registrerades mellan sträcka 3 (nyväg - teststräcka) och sträcka 4 (nyväg - Ref. sträcka).

Vid slutmätning av Evd-värden observerades följande resultat: förändringen i Evd mellan sträckorna 1 och 2 indikerade en procentuell förändring, men det fanns ingen ökning i bärlast för teststräckan

jämfört med referenssträckan på den befintliga vägen, där Evd istället minskade med 12,3% på den åtgärdade sträckan.

Förändringen i Evd mellan sträckorna 3 och 4 visade också en viss variation, men inte heller här noterades någon ökning i bärighet för teststräckan på den nya vägen i jämförelse med referenssträckan, där Evd minskade med 0,8% på den åtgärdade sträckan.

Sammanfattningsvis indikerar resultaten att det inte skedde någon förbättring i bärighet på de åtgärdade sträckorna och i båda fallen observerades istället en minskning.

Vid jämförelse av procentuell förändring i Evd mellan start- och slutmätning för varje sträcka observerades följande: sträcka 1 visade en minskning i Evd med -18,81%, medan sträcka 2 uppmätte en mindre minskning på -6,12%. I kontrast till dessa resultat uppvisade sträcka 3 en betydande ökning med 187,48% och sträcka 4 noterade den största ökningen i Evd, uppgående till 195,76%.

Vid jämförelse mellan initiala och slutliga mätningar framgick att den befintliga vägen uppvisade en försämring, medan den nybyggda vägen visade en betydande förbättring. Den nybyggda vägen blev packad av trafiken under tiden, vilket bidrog till en ökning i bärighet, ett fenomen som kan tillskrivas postpackning-effekten. Den redan packade befintliga vägen, å andra sidan, visade en minskning i bärighet, vilket kan bero på att den förlorade en del av sin bärighet till följd av påverkan från trafik och väder.

## 7.6.2. Profilmätningar för Sveaskog sträckor

Profilmätningar utfördes för vägsträckorna 1, 2, 3 och 4 både före och efter att de utsatts för trafik och väder, vilket ger en jämförande analys av förändringar över tid. Uppgifterna visar variationer i höjd, tvärsnittsform och materialspridning över olika delar av vägen. Dessa mätningar, som visas i figurerna 63, 64, 65 och 66, visar potentiella problem som ojämnt slitage, spårbildning eller materialförskjutning, vilket är avgörande för att bedöma vägens prestanda och fastställa nödvändiga underhålls- eller förbättringsåtgärder.

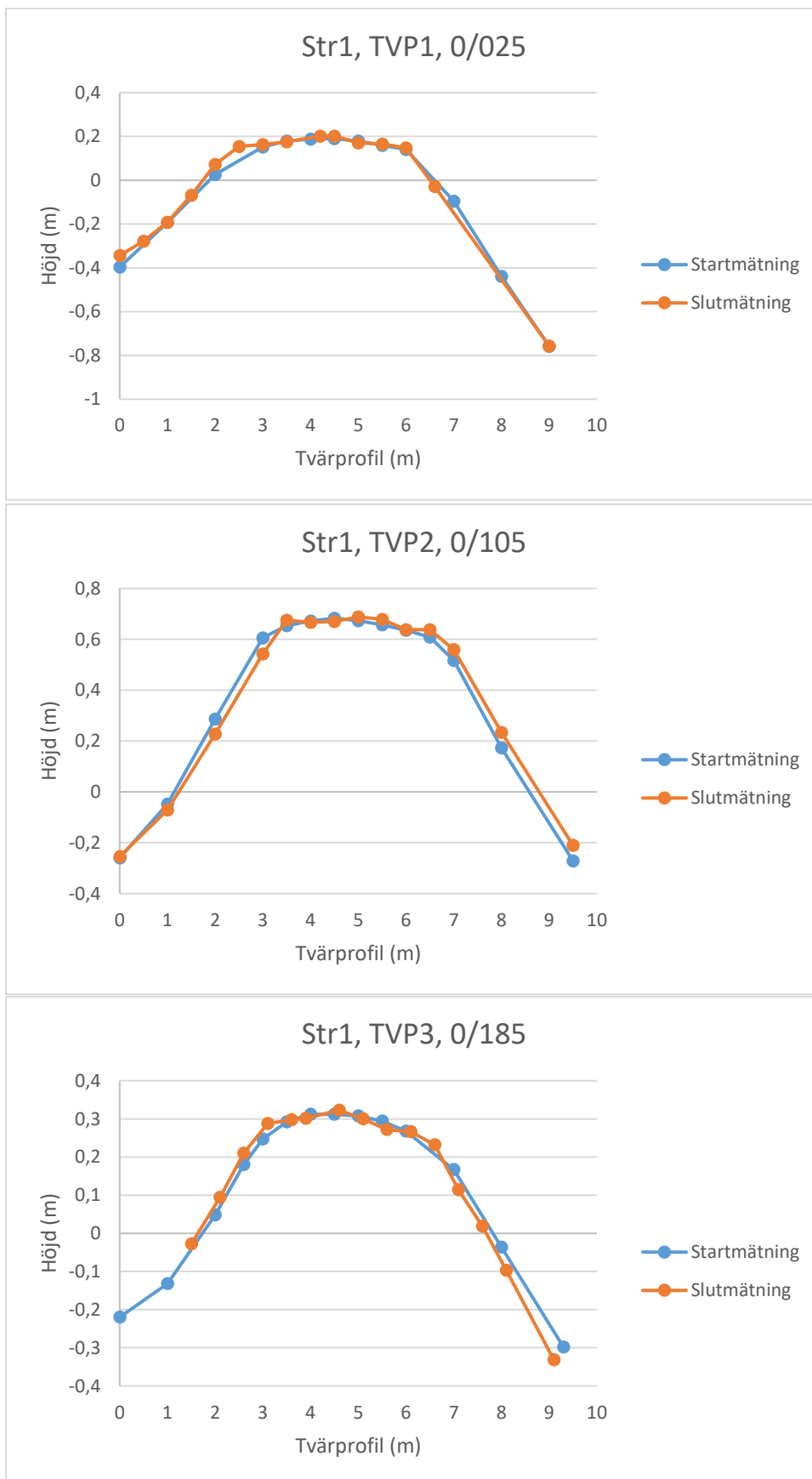
De tre profilerna (TVP1, TVP2 och TVP3) i figur 63 för sträcka 1 visar att det inte finns någon märkbar spårbildning under lastbilshjulen på den här sträckan.

Figur 64 visar att det finns lite märkbar spårbildning under lastbilens hjul för profilerna 1 och 3 medan det inte finns någon märkbar spårbildning under lastbilens hjul för profil 2 för sträcka 2.

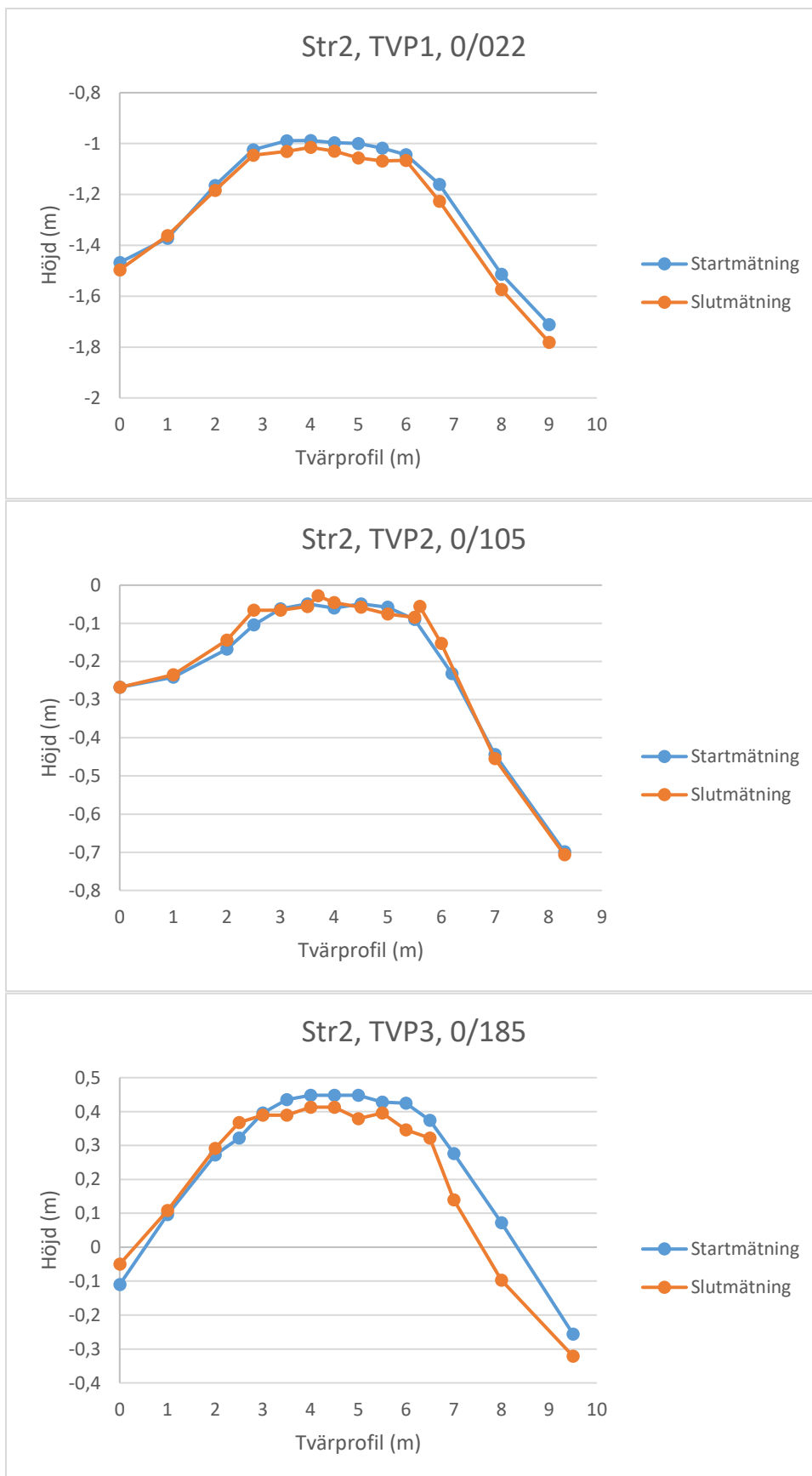
Figur 65 visar att det finns lite märkbar spårbildning under lastbilens hjul för alla tre profiler på vägsträcka 3.

De tre profilerna i figur 66 för sträcka 4 visar att det inte finns någon märkbar spårbildning under lastbilshjulen för profil 1 medan det finns lite märkbar spårbildning under lastbilens hjul för profilerna 2 och 3.

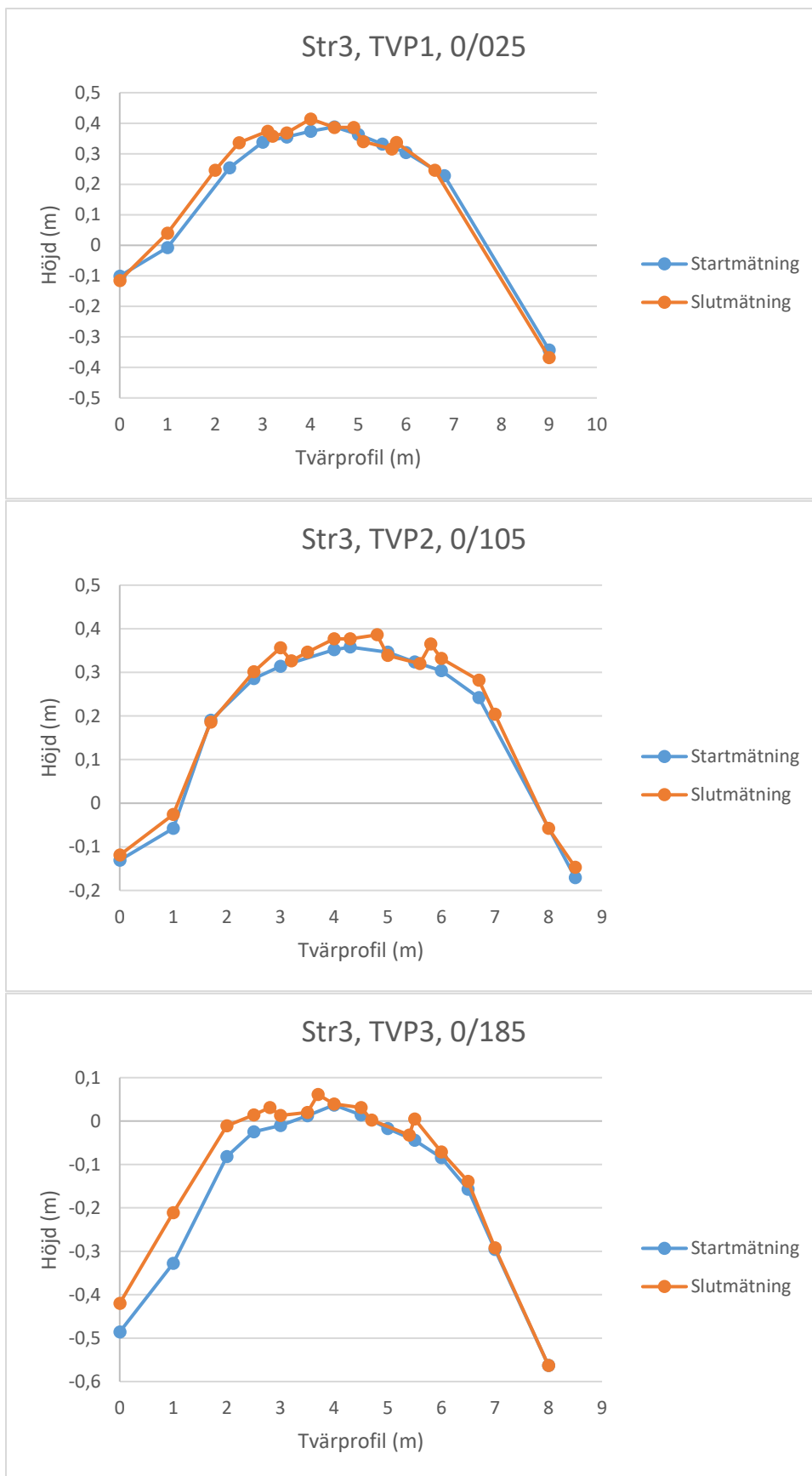
Vid utvärderingen av spårbildningen uppvisar sträckorna 1 och 2 i allmänhet mindre spårbildning jämfört med sträckorna 3 och 4. Mer specifikt verkar det som om sträcka 1 är bättre än sträcka 2 när det gäller spårbildning, medan sträcka 4 visar en fördel gentemot sträcka 3 i detta sammanhang. Sammanfattningsvis tyder resultaten på att sträcka 1 och sträcka 4 presterar bättre än sina respektive jämförelsealternativ.



Figur 63: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 1 som byggdes av Sveaskog i Överkalix.

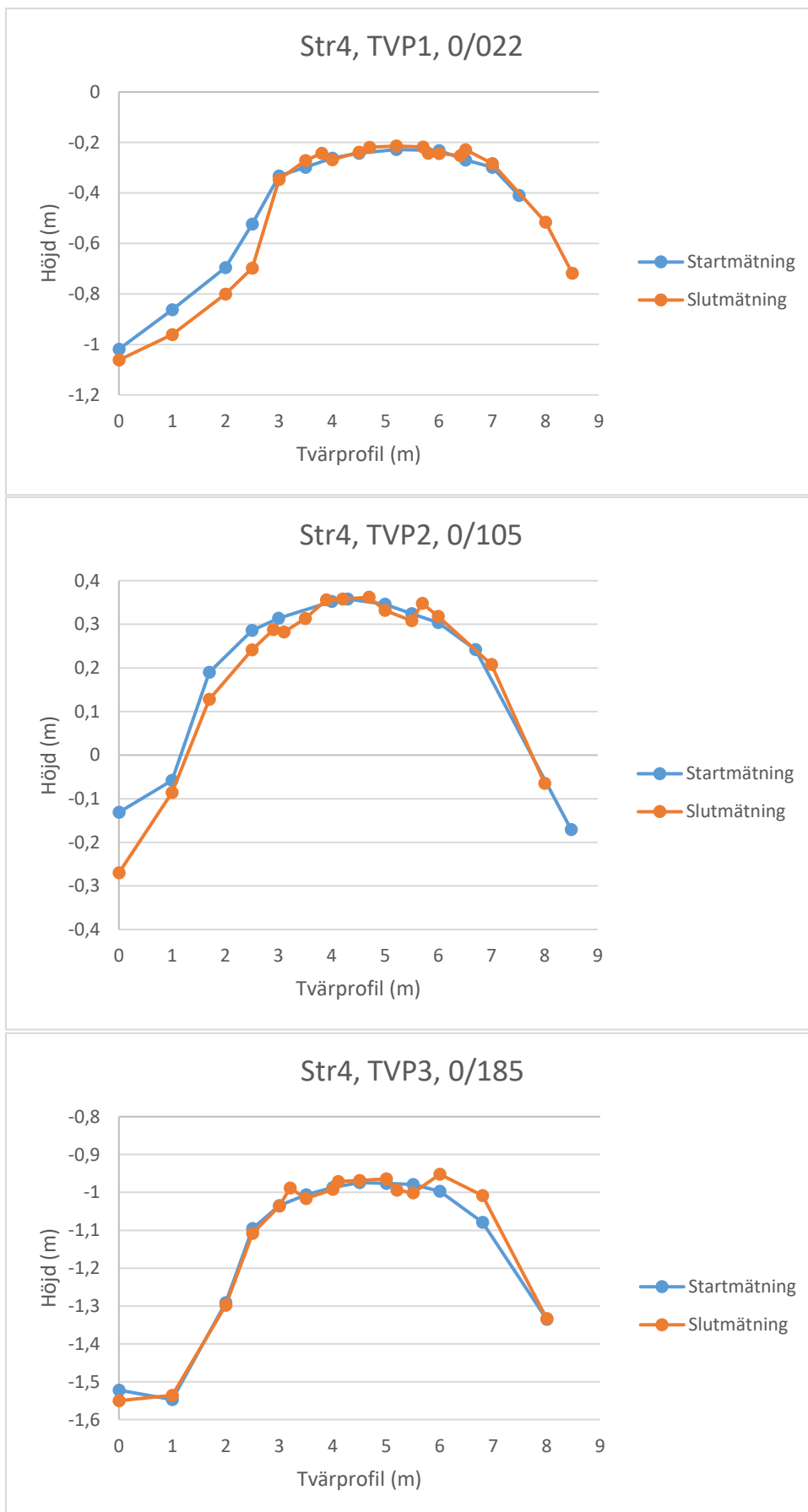


Figur 64: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 2 som byggdes av Sveaskog i Överkalix.



Figur 65: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 3 som byggdes av Sveaskog i Överkalix.





Figur 66: Initiala och slutliga profilmåttningar för vägsträcka 4 som byggdes av Sveaskog i Överkalix.

### 7.6.3. Okulär-inspektion för Sveaskog sträckor

Mätningar utfördes den 25-26 juni med växlande temperaturer på 20-25 grader under dagtid. Det var fuktigt. Bedömningen av status den 25/26 juni 2024 visade att vägbanan generellt var mycket torr och ytorna relativt lösa. Det verkade som om tjälen hade luckrat upp materialet, vilket gjorde det lätt att ta vattenkvotsprover. Inget spett behövdes vare sig i vägmitt eller i hjulspår, och materialet var sandigt och höll inte ihop, vilket resulterade i mycket löst material över hela vägbanan på samtliga vägsträckor.

Sträcka 1, se figur 67.

Ingen korrugering observerades, och det fanns inga potthål. Spårbildningen visade tendenser till spår, där det lösa gruset var nedtryckt i vägen och tydligt visade var trafiken hade gått. Damning var svårt att bedöma, men vägbanan var torr och de lösa stenarna torra, vilket troligen gjorde den ganska dammande, även om ingen trafik var närvarande vid tillfället.



Figur 67: Okulär-inspektion av sträcka 1 i Överkalix. Foton Andreas Waldemarson, VTI.

Det fanns en hel del löst grus över hela vägbanan och mer i vägkanterna, vilket tydligt framgick av bilderna. Vid provtagning av vattenkvotsproverna behövdes ett spett, men det gick att gräva med en trädgårdsspade direkt. Det verkade som om tjälen hade luckrat upp vägmaterialet, vilket resulterade i lösa ytor och en stor skillnad jämfört med referensmätningstillfället.

Sträcka 2, se figur 68.

Ingen korrugering observerades och inga potthål fanns. Spårbildningen visade att det lösa materialet som samlats vid vägkanterna och i vägmitt skapade intrycket av ganska stora spår. Damning var svårt att bedöma, men vägbanan var torr, de lösa stenarna torra och förmodligen ganska dammande, utan trafik vid tillfället. Lösa grusmassor återfanns över hela vägbanan och mer i vägkanterna, vilket också kunde ses tydligt på bilderna. Vid provtagning av vattenkvotsproverna behövdes ett spett, men det gick att gräva med trädgårdsspade direkt. Återigen verkade tjälen ha luckrat upp vägmaterialet, vilket ledde till lösa ytor och en stor skillnad sedan referensmätningstillfället.



Figur 68: Okulär-inspektion av sträcka 2 i Överkalix. Foton Andreas Waldemarson, VTI.



Sträcka 3, se figur 69.

Ingen korrugering noterades och inga potthål fanns. Spårbildningen visade tendenser till spår där det lösa gruset var nedtryckt i vägen, vilket tydligt visade var trafiken hade gått. Damning var återigen svårt att bedöma; vägbanan var torr och de lösa stenarna torra, vilket troligen gjorde den ganska dammande, med ingen trafik vid tillfället. Det fanns en hel del löst grus över hela vägbanan och mer i vägkanterna, tydligt dokumenterat i bilderna. Vid provtagning av vattenkvotsproverna behövdes ett spett, men det var möjligt att gräva med trädgårdsspade direkt. Det verkade som om tjälen hade luckrat upp vägmaterialet, vilket resulterade i lösa ytor och en markant skillnad sedan referensmätningstillfället.



Figur 69: Okulär-inspektion av sträcka 3 i Överkali. Foton Andreas Waldemarson, VTI.

Sträcka 4, se figur 70.

Ingen korrugering observerades och inga potthål fanns. Spårbildningen visade tydliga tendenser där det lösa gruset var nedtryckt i vägen och visade tydligt var trafiken hade gått. Damning var svårt att bedöma; vägbanan var torr och de lösa stenarna torra, vilket troligen gjorde den ganska dammande, utan trafik vid tillfället. Det fanns en hel del löst grus över hela vägbanan och mer i vägkanterna, vilket framgick tydligt på bilderna. Vid provtagning av vattenkvotsproverna behövdes ett spett, men det gick att gräva med trädgårdsspade direkt. Tjälén hade troligen luckrat upp vägmaterialet, vilket resulterade i lösa ytor och en stor skillnad jämfört med referensmätningstillfället.



Figur 70: Okulär-inspektion av sträcka 4 i Överkalix. Foton Andreas Waldemarson, VTI.



## 7.7. Viktiga observationer och insikter för Sveasskogs försök

Denna metod hade svårigheter att hitta lämpligt försöksobjekt. Försöken förutsätter att transportavstånd inte är för långa samt att åtgärderna ska medföra nytta till skogsbruket. Efter letande i Bergslagen valdes till slut objekt i en helt annan landsända, Björkåvägen i Överkalix kommun, baserat på bedömningar från Sveaskog experter.

Genomförande med teststräckor och referenssträckor fungerade väl. Entreprenörer som uppdrogs att delta visade stort intresse. Synkroniseringen i tid med VTI som genomförde mätningar var krävande men fungerade bra.

Det grus som var tillgänglig och användes för försöken visades sig att bestå av något hög andel sandfraktion. Vilket kan påverka bärighetsresultatet negativt.

Som tidigare beskrivits kunde man vid jämförelsen av de inledande och slutliga mätningarna av LWD-testresultaten konstatera att den befintliga vägen visade tecken på försämring, medan den nybyggda vägen uppvisade en tydlig förbättring. Den ökade bärförmågan på den nya vägen kan hänföras till efterkompakteringseffekten, eftersom trafiken över tid bidrog till dess kompaktering. Den befintliga vägen, som redan var packad, uppvisade däremot en minskning av bärigheten, sannolikt på grund av att trafiken och vädret gjorde att vägen förlorade sin bärighet. Detta mönster visar hur nybyggda vägar kan förbättras under trafikbelastningar över tid, medan äldre vägar är mer benägna att försämrans av yttre faktorer.

Profilmätningarna visar också att sträckorna 1 och 2 hade mindre spårbildning än sträckorna 3 och 4, där sträcka 1 presterade bättre än sträcka 2 när det gäller spårbildning, och sträcka 4 var bättre än sträcka 3 i detta avseende. Generellt sett verkar sträckorna 1 och 4 prestera bättre än sina respektive jämförelseobjekt.

Okulära inspektioner av alla fyra sträckorna visade tydliga spår, vilket tyder på att fördelarna med tung packning inte var uppenbara för pilotvägen i Överkalix. Däremot visade samma ökade kompakteringsåtgärd betydande fördelar, med en 20 % ökning i bärighet för den ostabiliserade leriga vägsträckan som byggdes i Trosa av Holmen, vilket diskuteras i avsnitt 6.

Finkorniga, kohesiva jordar, som de som kompakteras i Trosa, har vanligtvis en tydlig optimal fuktkvot (OMC) och maximal torrdensitet (MDD), vilket framgår av deras Proctor-kompakteringskurva. Denna kurva har en topp som markerar den ideala fuktnivån där jorden når maximal densitet med en given kompakteringsansträngning.

Granulära material, som sand och grus som packas i Överkalix, saknar kohesion och är i stället beroende av friktion mellan partiklarna för sin hållfasthet. När de väl har packats till en viss nivå har ytterligare packning minimal inverkan på densiteten eller bärförmågan. Granulära jordar når snabbt sin maximala densitet och ytterligare kompaktering kan till och med orsaka att partiklar går sönder eller omplaceras, vilket kan lossa strukturen snarare än att förbättra den.

För finkorniga jordar fungerar en viss mängd fukt som ett smörjmedel som hjälper partiklarna att lägga sig till rätta i ett tätare arrangemang. Granulära material drar dock inte nytta av denna smörjning vid lägre fuktnivåer. Även en liten ökning av fuktigheten, tillräckligt för att göra materialet något fuktigt, kan minska partikelfriktionen och hjälpa till med kompakteringen. Utan denna fuktighet ger ytterligare kompaktering endast små förbättringar av densiteten eller bärförmågan. På det hela taget är effektiv fuktkontroll under packningen avgörande för optimala resultat.

I Sverige är bristen på reglering av fuktkontroll i realtid under packning av obundna material en utmaning, även vid byggande av allmänna vägar, vilket understryker behovet av ökad uppmärksamhet.

Dessutom gav den tunga kompakteringen i Överkalix inte de förväntade fördelarna. En möjlig orsak kan vara terrängens utformning och de varierande lutningarna, vilket påverkade dräneringen och hade en större inverkan på bärigheten än själva kompakteringen.



## 8. Förstärkning av skogsbilväg med Geoceller

Geocellstabilisering är en teknik som används för att förbättra stabiliteten och bärförmågan hos skogsbilvägar Banerjee et al (2023). Tekniken innebär användning av geoceller, som är tredimensionella cellulära inneslutningssystem tillverkade av polyeten med hög densitet (HDPE) eller andra material Zhao et al. (2024). Geoceller fylls med kompakterad jord eller ballastmaterial för att skapa en förstärkt struktur som förbättrar skogsbilvägarnas prestanda.

Förstärkning av skogsbilvägar med Geocells testas för första gången i Sverige i detta projekt, såvitt parterna känner till. Mer information om försöket ges i följande avsnitt.

### 8.1. Plats för de vägsträckor som testades av Stora Enso

Teststräckan ca 3 mil väster om Karlstad i Värmlands län, valdes utifrån geotekniska förutsättningar där jordarten består av mer finjordsrik mark med typisk karaktär utav siltig lera eller lerig silt som normalt har låg eller mycket låg bärighet när den utsätts för vatten, se figur 71. Tabell 16 visar koordinater för de tre teststräckor som byggdes av Stora Enso.



Figur 71: Platsen för teststräckor som byggdes av Stora Enso.

Tabell 16: Koordinater för de tre teststräckor som byggdes av Stora Enso i Grums.

Sträcka	1 (med Geocell+ Bergkross material)		2 (med Geocell+ Harpat material)		3 (Utan Geocell+ Bergkross material)	
	N	E	N	E	N	E
Start	59.433607	12.860141	59.435249	12.859455	59.436992	12.858922
Slut	59.435249	12.859455	59.436992	12.858922	59.439091	12.857661

## 8.2. Val och egenskaper av materialen i vägsträckorna

### 8.2.1. Val av Geoceller

Geocellerna var av fabrikat Neoloy Geocell 330-150-C. Valet av typen utav Geoceller gjordes i samråd med utvecklaren och tillverkaren PRS Geo-Technologies Ltd samt återförsäljaren, ASP Europas, svenska representant. Geocellerna hade en höjd på cellväggen med 150 mm och kom i sträckor om 2700 mm bredd och längd på 8000 mm. Geocellerna är ett system som även kan återanvändas på andra sträckor då de kan lyftas upp ur konstruktionen och förvaras i ett förvarningssystem som är anpassat för geocellerna. Geocellernas garanterade livslängd är minst 75 år.

### 8.2.2. Val av överbyggnad material

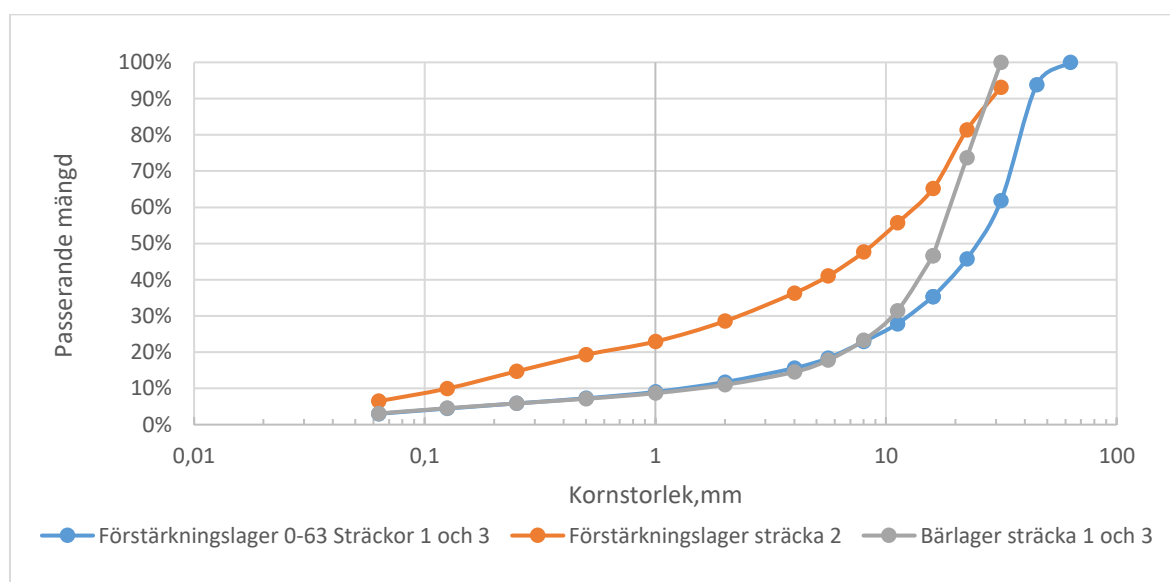
Teststräckan utan geoceller avvek kraftigt från det planerade utförandet då nederbörden var så riklig vid anläggningstillfället att bärligheten i vägen (underbyggnaden) var för låg och kunde inte trafikeras av byggrafiken utan att totala överbyggnadstjockleken på delsträcka 3 ökades till 55-60 cm krossat material. Geocellsträckorna ökade något i verkligt utlagt material till ca 33-37 cm krossat/harpat material i överbyggnaden.

### 8.2.3. Egenskaper av materialen i vägsträckorna

Prover av ytmaterial från de valda vägsträckorna skickades till VTI laboratorium i Linköping för analys. Kornstorleksfördelningen har bestämts enligt standarden SS-EN 933-1 (2012) För samtliga byggmaterial som har använts i Stora Ensos projekt, se figur 72 och 73.

För förstärkningslager 0-63 mm av sträckor 1 och 3, visar figur 72 att cirka 3 % av partiklarna passerar genom 0,063 mm-sikt, 12 % är finare än 2 mm-sikt, och 100 % passerar genom 63 mm-sikt.

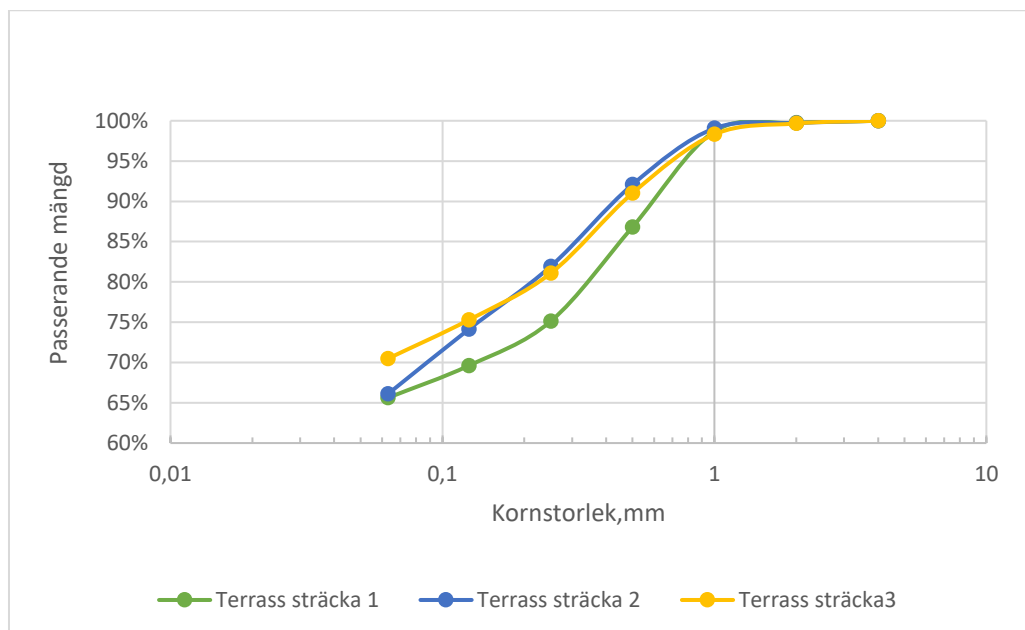
Figur 72 visar att för det harpat materialet som använts som förstärkningslager i sträcka 2 passerar cirka 6 % av partiklarna genom 0,063 mm-sikt, medan 30 % är finare än 2 mm-sikt, och 93 % passerar genom 31,5 mm-sikt.



Figur 72: Kornstorleksfördelningen för bärlager och förstärkningslager som har använts i Stora Ensos projekt.

Om bärlager, visar figur 72 att 3 % av partiklarna passerar genom 0,063 mm-sikt, 11 % är finare än 2 mm-sikt, och samtliga 100 % passerar genom 31,5 mm-sikt.

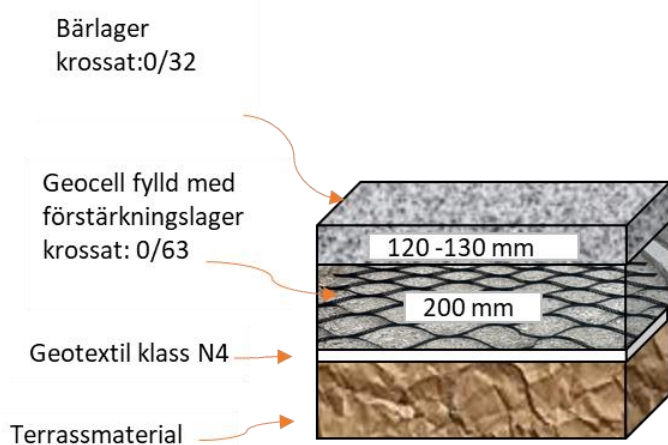
Figur 73 visar att för terrassmaterial passerar cirka 65–70 % av partiklarna genom 0,063 mm-sikt, medan samtliga partiklar är finare än 2 mm-sikt för de tre sträckorna. Terrassen består främst av silt- och lerfraktioner på samtliga sträckor.



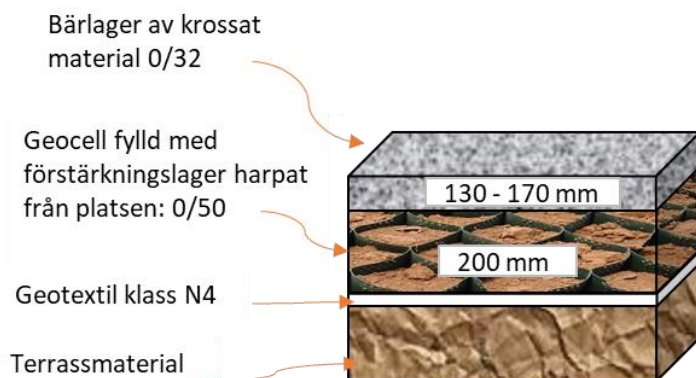
Figur 73: Kornstorleksfördelningen för terrassmaterial på samtliga sträckor byggda av Stora Enso.

### 8.3. Överbyggnadskonstruktion

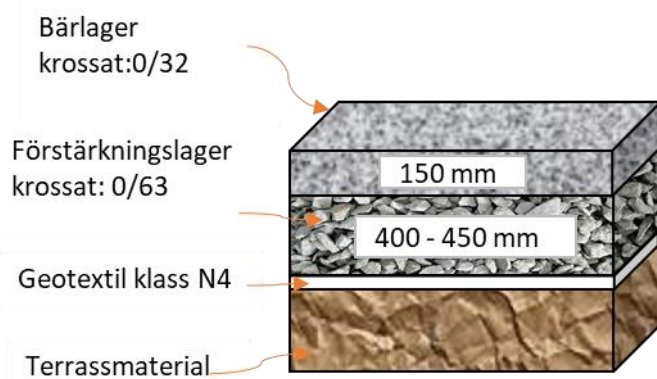
Stora Enso byggde tre vägsträckor: 1, 2 och 3. Delsträcka 1, 2 och 3 var 170, 175 respektive 270 meter långa och med en bredd på cirka 4–4,5 meter. Geoceller installerades i sträckorna 1 och 2, medan sträcka 3 lämnades oarmerad för jämförelsens skull. I sträcka 1 fylldes geocellerna med förstärkningslager av krossad sten, medan de i sträcka 2 fylldes med befintligt material (sorterat material kompletterat med krossat material) till bärlagret. I sträcka 3 bestod både bärlagret och förstärkningslagret enbart av krossad sten. För testet sorterades material fram genom harpning av befintligt morän/sand/grus och lades på upplag ca 400 m från teststräckan och krossat bergmaterial hämtades från bergtäkt och lades på upplag ca 150 m från teststräckan. Totalt har 1000 m<sup>2</sup> geoceller använts för sträcka 1 och 1560 m<sup>2</sup> för sträcka 2. Lagrens tjocklek och ytterligare konstruktionsdetaljer för varje sträcka framgår av figurerna 74, 75 och 76, som gäller för respektive sträcka 1, 2 och 3.



Figur 74: Överbyggnadskonstruktion av sträcka 1 byggd av Stora Enso.



Figur 75: Överbyggnadskonstruktion av sträcka 2 byggd av Stora Enso.

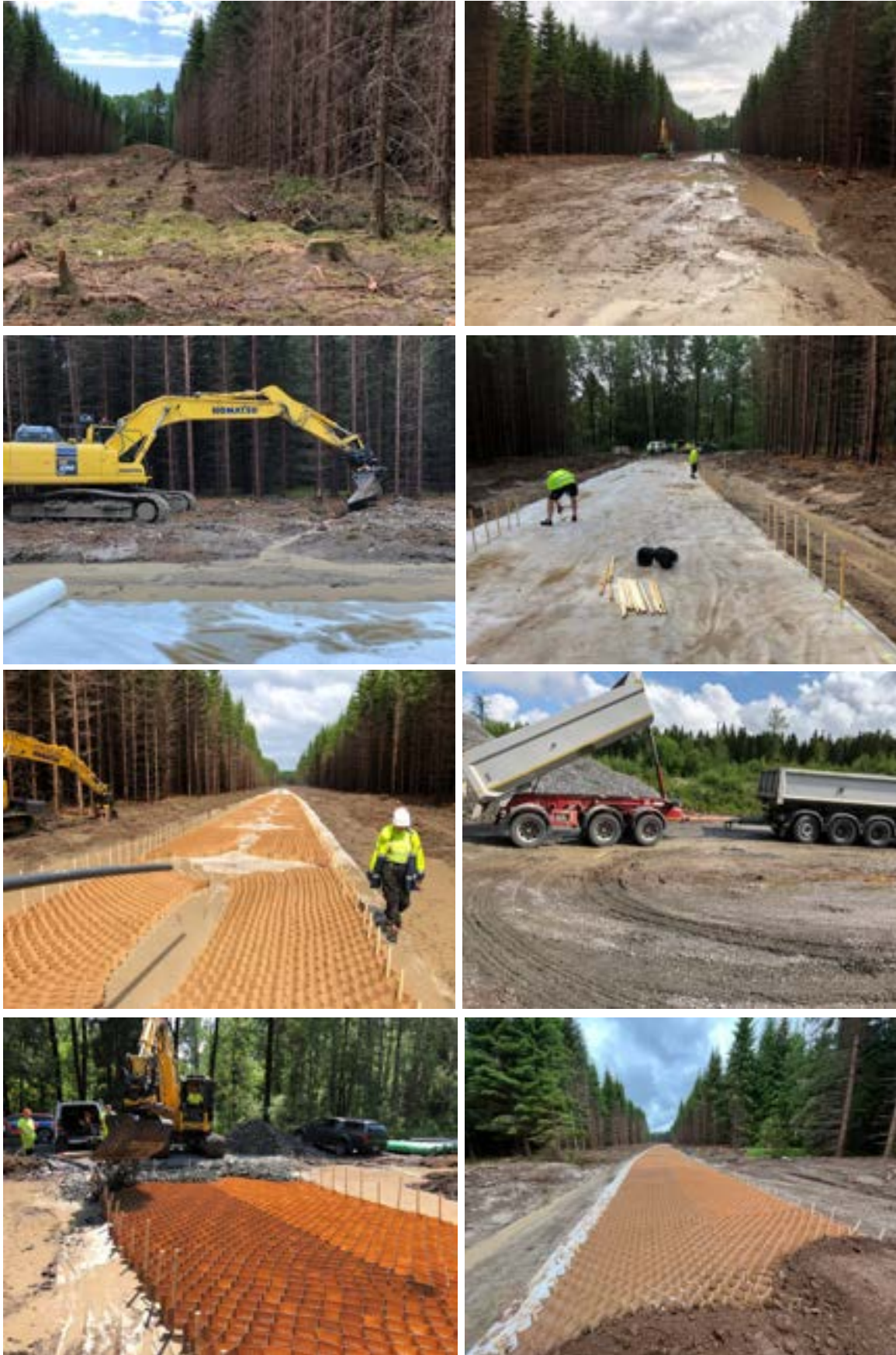


Figur 76: Överbyggnadskonstruktion av sträcka 3 byggd av Stora Enso.

## 8.4. Byggprocessen för vägsträckorna av Stora Enso

För teststräckorna med geoceller provades flera olika maskinsystem och typer. För merparten av sträckorna användes grävmaskin för ifyllnad av material i geocellerna då fraktionsstorleken som användes var för stor för att fungera optimalt för ifyllnad av geocellerna vilket försvårade användandet av lastmaskin, se figur 77 och figur 78.





Figur 77: Byggprocessen för vägsträckorna i Grums av Stora Enso. Foton Mikael Hindrikes, Stora Enso.



Figur 78: Vägsträckor efter byggnation i Grums. Foton Mikael Hindrikes, Stora Enso.

Enligt Stora Ensos vägtekniker finns det en betydande potential för att optimera byggprocessen. Deras värdefulla förslag beskrivs i följande avsnitt.

## 8.5. Effektiviseringspotential

Angående möjligheten att effektivisera genomförandet så beskrivs det i nedanstående kategorier där potential för att genomföra effektiviseringar bedömts som möjlig i förhållande till insatsen.

### 8.5.1. Materialval

Gällande materialval så kan det delas in i två kategorier, okrossat men sorterat material från platsen och krossat bergmaterial. För teststräckan med material från platsen sorterades genom harpning ca 600 ton material i fraktion 0–50 fram för att användas på sträcka två som förstärkningslager. På sträcka ett användes krossat bergmaterial i fraktion 0–63 som förstärkningslager.

#### Materialval vid användning av befintligt sorterat material

Vid val av sorterat material från platsen handlar dels om val av utrustning, dels val av fraktionsstorlek. Om testerna visar att sträcka två har bra bärighetsvärden så kan, med fördel, material från platsen användas utan att särskilda restriktioner kring materialtyp vilket innebär att det material som finns på platsen används. Även val av fraktionsstorlek bör anpassas till en mindre fraktionsstorlek där 0–40 dvs stenstorleken är max 40 mm är att föredra då ifyllnaden av grusmaterial i geocellerna är enklare än med en större stenstorlek.

#### Materialval vid användning av krossat bergmaterial

Vid val av krossat bergmaterial där fraktionen kan väljas vid krossanläggningen är en mindre fraktionsstorlek än 0–63 att föredra då ifyllnaden av geocellerna var mindre effektiv då stenstorleken på materialet gjorde att det krävdes mer tid för att få ner materialet i geocellerna då det fastnade och låstes fast vid ifyllnad. Fraktionsstorlek på ca 0–40 dvs med största stenstorlek på 40 mm är att föredra för att förenkla ifyllnaden av geocellerna.

### 8.5.2. Maskinval

#### Maskinval för användning av befintligt sorterat material

Gällande utrustningen så är en grävmaskin med kombinerad fräs- och sorteringskopa att föredra då den sorterar och fräser ned/ut stenar/större fraktionsdelar i färre arbetsmoment och kan fylla geocellerna med material i samma moment som sorteringen utan mellanlagring i upplag.



## Maskinval för användning av krossat bergmaterial

Gällande utrustning för ifyllnad av krossat bergmaterial så kan, med fördel, lastmaskin användas med planeringsskopa för direkt ifyllnad i geocellerna.

### 8.5.3. Logistik

#### Logistik för användning av befintligt sorterat material

Det befintligt sorterade materialet tas fram lämpligast med en grävmaskin med kombinerad fräs- och sorterings-skopa så undviker man momenten med harpning som en separat åtgärd samt även transporter och lastning/lossning.

#### Logistik för användning av krossat bergmaterial

Vid användande av krossmaterial så är det lämpligt att ha upplaget så nära teststräckan som möjligt vilket medför att materialet kan hämtas direkt utan mellantransporter.

### 8.5.4. Anläggning

Viktigt att man vid terrassering och grovbrytning av väglinjen planerar och tillser att material läggs upp i ytterkanterna av väglinjen så det finns tillgänglig med minimal åtgärd för att fylla i geocellerna om maskinsystem med grävmaskin med kombinerad fräs- och sorterings-skopa används.

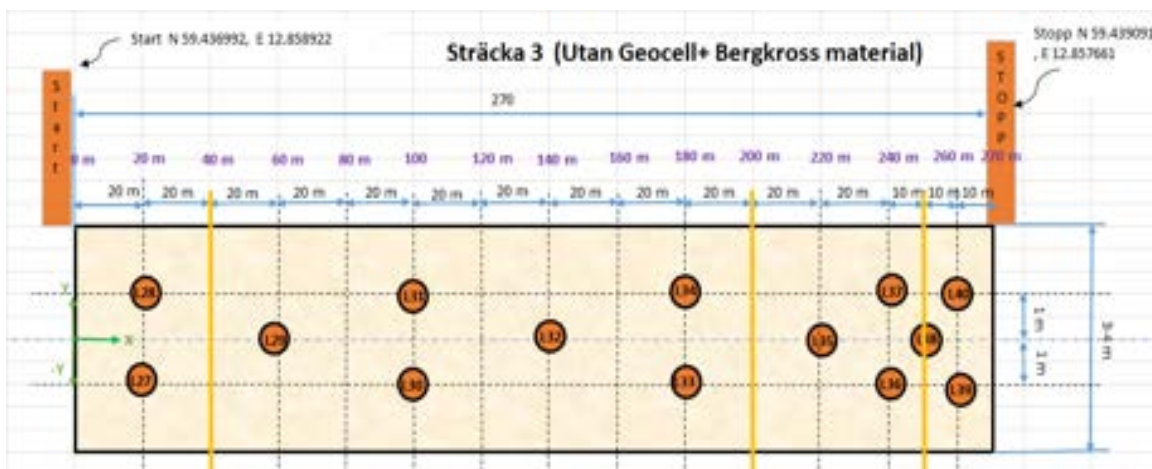
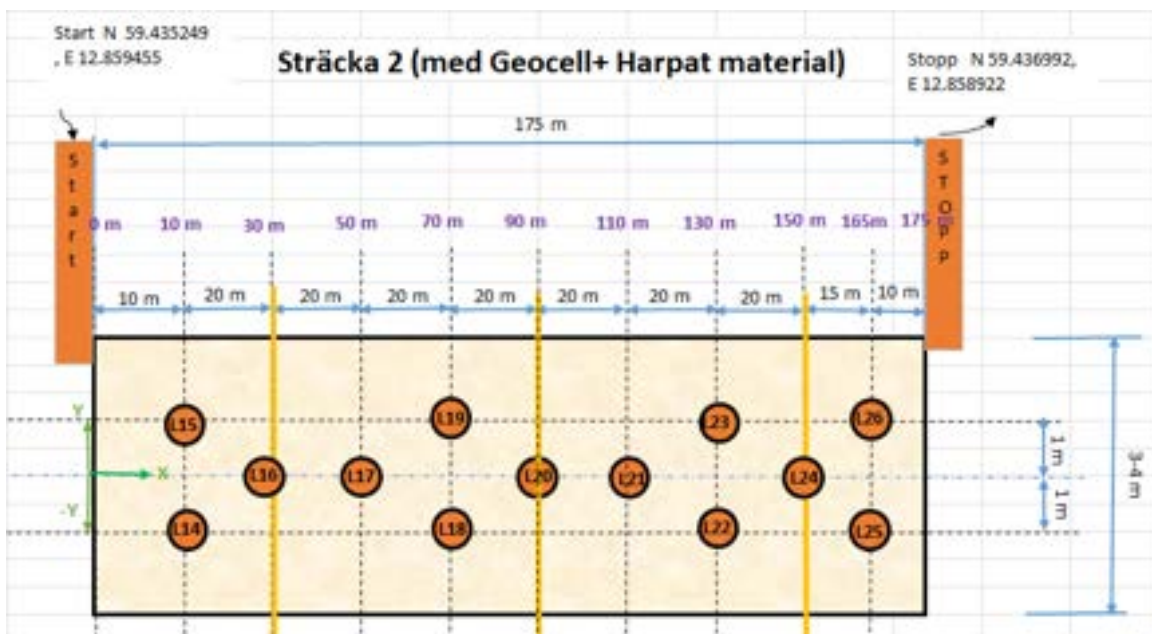
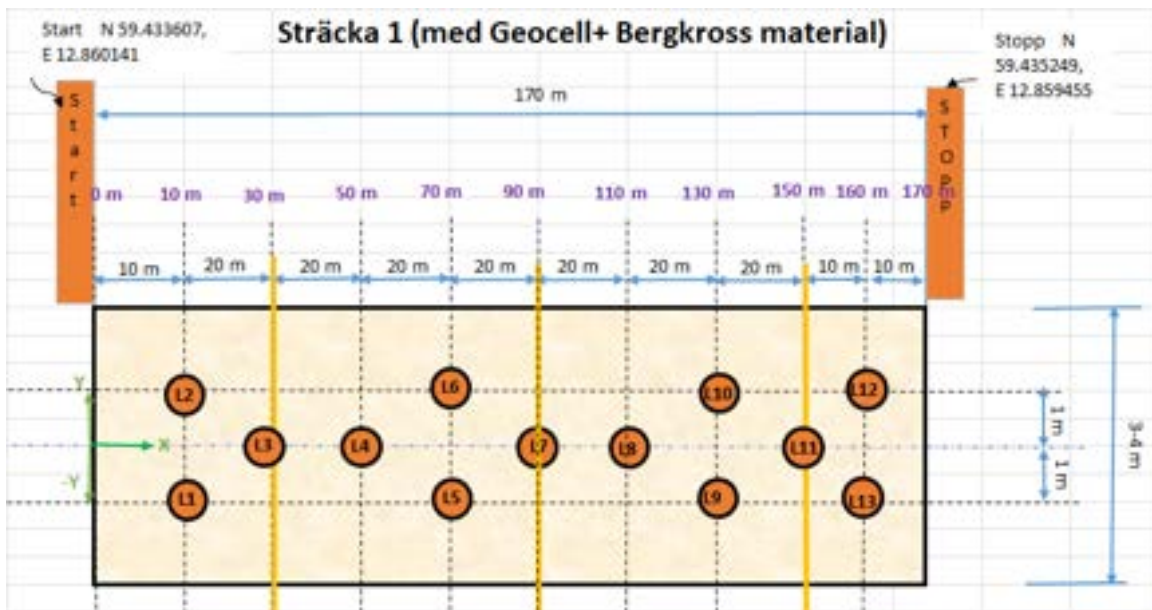
Om det samordnas en tydlig standardstorlek på geocellerna för skogsbilvägar så kan momentet med ihophäftning i längsled av geocellerna undvikas vilket spar tid för anläggningsarbetarna. Ihophäftning tvärs mot färdriktningen blir då det moment som måste utföras för sammanlänkning av geocellerna och det kan eventuellt minskas beroende på möjlighet att anpassa storleken på geocellerna från tillverkningen i fabriken med beaktande av ett fortsatt enkelt handhavande vikt och storleksmässigt. Under projektets genomförande upptäcktes att vid anläggande av geocellerna, så var det lämpligt att spänna fast dem i varannan cell i ytterväggen för att öka flexibiliteten i cellerna vid anpassningar och ifyllnad av material. Materialet för fastspänning av ytterväggarna kan utvecklas genom att använda förbockade järn av typen armeringsjärn. I detta projekt användes stakkäpp. Se figur 77 för byggprocess.

## 8.6. Trafiksimulering

Den färdigbyggda teststräckan belastades genom trafikering med en grusbil som hade tridemkonfiguration av hjulaxlarna och en totallast om 30 ton. Antalet överfarer med fordonet blev 80 stycken. Trafikbelastningen genomfördes 2024-05-17 och väderleken var i huvudsak sol och temperatur ca 20 grader.

## 8.7. Planerade testpunkter och mätlayout

De testade vägsträckorna hade en liknande layout för mätpunkterna, där varje sträcka innehöll flera mätplatser för lättviktsdeflektometer (LWD). Mätpunkternas placering valdes noggrant för att täcka in olika delar av vägkroppen och ge en omfattande bild av vägsträckornas bärförmåga och stabilitet. LWD-mätningarna utfördes för att kontinuerligt övervaka deformationerna i vägytan under belastning, vilket bidrar till en mer detaljerad förståelse av vägens bärighet under verkliga trafikförhållanden. Utöver dessa mätpunkter inkluderades även platser för profilmätningar för att dokumentera eventuella förändringar i vägytans jämnhet och struktur över tid. Denna layout av mätpunkter säkerställde en omfattande utvärdering av vägsträckornas tekniska prestanda, se figur 79. Som för de andra försöken, anger siffrorna i cirkelarna LWD-mätpunkterna, medan de gula linjerna markerar positionerna för profil- och hjulspårsmätningar, och den prickade blå linjen indikerar vägens mittlinje. Totalt genomfördes fyrtio LWD-mätningar, tillsammans med nio profileringar, samt flera punkter i anslutning till LWD-platserna där fuktkvot bestämdes.



Figur 79: Testpunkter och mätlayout för de fyra testade vägsträckorna som byggdes av Stora Enso.

## 8.8. Mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderexponering

För att bedöma tillståndet på de vägsträckor som byggts av Stora Enso, genomförde VTI forskarteam en serie detaljerade mätningar. Dessa utfördes både omedelbart efter byggnationen och efter exponering för trafik och väderförhållanden, i syfte att samla in data och utvärdera vägarnas tillstånd samt de olika sträckornas egenskaper. Mätningarna inkluderade lätt fallvikt undersökningar (LWD), profilmätningar, fuktkvotmätningar samt visuella inspektioner av både de testade vägsträckorna och den omgivande terrängen, enligt protokollet som finns i Bilaga 1.

De första mätningarna av Stora Enso teststräckor utfördes mellan den 14 och 15 september 2023, strax efter vägarnas färdigställande. Slutmätningarna genomfördes mellan den 27 och 28 maj 2024, efter att vägsträckorna hade utsatts för väder och trafikbelastningar under flera månader, samt en trafiksimulering med 80 överfarer av en 30-tons lastbil, se figur 80.



*Figur 80: VTI-mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderpåverkan av de vägsträckor som Stora Enso byggt i Grums. Foto: Andreas Waldemarson, VTI.*

De initiala och slutliga mätningarna genomfördes enligt mätlayouten som visas i Figur 79. Det är viktigt att notera att LWD-testerna under de initiala mätningarna utfördes exakt vid de angivna punkterna, innan vägsträckorna exponerades för trafik. Vid de slutliga mätningarna justerades dock LWD-testpunkterna något, med en förskjutning på cirka 30 cm, för att undvika eventuell efterkompaktning som kunde uppstå om mätningarna utfördes på exakt samma platser vid båda tillfällena. Dessa initiala och slutliga mätningar fungerar som referenspunkter för att bedöma vägprestandan och identifiera eventuella problem före och efter att vägsträckorna påverkats av externa faktorer.

För profilmätningarna kan mätpositionerna ha avvikit något från de som redovisas i figur 79, beroende på vägsträckornas tillstånd och praktiska överväganden vid mätningstillfällena. De slutliga positionerna för profilmätningarna anges i avsnitt 7.8.2.

Resultaten från både de initiala och slutliga testerna presenteras i det följande avsnittet

### 8.8.1. Mätningar med lätt fallvikt och fuktkvot för Stora Enso sträckor

Tabellerna 17, 18 och 19 redovisar de initiala och slutliga mätningarna av lätt fallvikt modulen (Evd) i MPa samt fuktkvoten (WC) i procent för vägsträckorna 1, 2 och 3.

Testresultaten för geocellerna visade en betydande förbättring av bärigheten vid mätning av E-modul med hjälp av lätt fallvikt, jämfört med en traditionell överbyggnadskonstruktion. Resultaten indikerade en ökning av Evd-modulen (bärighet) med cirka 50–65 % på teststräckorna med geoceller, i jämförelse med referenssträckan utan geoceller. Detta trots att referenssträckan hade nästan dubbelt så tjock överbyggnad som sträckorna med geoceller.

Vid en jämförelse mellan startmätningarna (september 2023) och slutmätningarna (maj 2024) för varje sträcka visade geocellssträckorna en positiv bärighetsutveckling med 6 % och 10 % för sträcka 1 respektive sträcka 2. I kontrast till detta uppvisade referenssträckan, som anlagts med en vanlig obunden överbyggnad, en negativ bärighetsutveckling på cirka 2 %.

För de initiala Evd-mätningarna visade en jämförelse av den procentuella förändringen i genomsnittlig Evd mellan de geocellsarmerade vägsträckorna 1 och 2 och den oarmerade vägsträckan 3 en ökning med 42% respektive 49%. I de slutliga Evd-mätningarna steg dessa procentsatser till 52% och 64% för sträckorna 1 och 2 jämfört med sträcka 3 trots att referenssträckan hade nästan dubbelt så tjock överbyggnad som geocellssträckorna.

När det gäller procentuella skillnader visade de initiala mätningarna på en ökning av Evd med 34% och 39% för sträckorna 1 och 2, jämfört med sträcka 3. Vid de slutliga mätningarna hade dessa skillnader ökat till 41% och 49% för sträckorna 1 och 2 i jämförelse med sträcka 3.

Tabell 17: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 1 som byggdes av Stora Enso i Grums.

Sträcka 1 - (med geocell + bergkross material)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L1	48,28	2,59	37,5	3,92%	-22,33
L2	51,84		49,89	3,87%	-3,76
L3	28,02		37,82	3,40%	34,98
L4	36,29	2,28	40,04	2,73%	10,33
L5	61,98		51,96	3,77%	-16,17
L6	76,01		58,9	3,70%	-22,51
L7	22,66		36,06	3,18%	59,14
L8	34,99		36,12	3,02%	3,23
L9	60,81	2,63	62,85	3,09%	3,35
L10	45,82		47,27	3,46%	3,16
L11	31,08		37,5	3,72%	20,66
L12	56,53	2,76	55,69	3,67%	-1,49
L13	47,67		51,96	3,89%	9,00
Medel	46,31	2,56	46,43	3,50%	5,97

Tabell 18: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 2 som byggdes av Stora Enso i Grums.

<b>Sträcka 2 - (med geocell + harpat material)</b>					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L14	48,18		52,82	3,98%	9,63
L15	52,33	2,72	56,25	3,83%	7,49
L16	67,98		65,6	3,14%	-3,50
L17	46,68		48,28	3,67%	3,43
L18	52,20	2,63	64,47	4,16%	23,51
L19	54,61		49,23	3,54%	-9,85
L20	42,69		41,44	3,44%	-2,93
L21	60,65	3,32	52,69	2,96%	-13,12
L22	42,29		47,57	4,66%	12,49
L23	57,25		47,67	3,55%	-16,73
L24	36,06		31,73	3,69%	-12,01
L25	29,53	3,14	53,07	3,66%	79,72
L26	39,89		42,13	3,15%	5,62
Medel	48,49	2,95	50,23	3,65%	10,03

Tabell 19: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 3 som byggdes av Stora Enso i Grums.

<b>Sträcka 3 (utan geocell + bergkross material)</b>					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L27	41,82		38,07	3,92%	-8,97
L28	42,61	3,16	42,78	3,24%	0,40
L29	39,68		35,16	3,02%	-11,39
L30	51,84		48,6	3,59%	-6,25
L31	64,29		39,82	2,78%	-38,06
L32	18,40	3,25	31,08	3,14%	68,91
L33	32,33		34,3	2,91%	6,09
L34	25,22		24,17	3,71%	-4,16
L35	18,38		20,93	2,77%	13,87
L36	26,75	2,88	28,16	2,54%	5,27
L37	22,66		21,91	3,75%	-3,31
L38	27,64		28,2	2,83%	2,03
L39	23,01		18,72	3,78%	-18,64
L40	22,19	2,24	15,77	3,00%	-28,93
Medel	32,63	2,88	30,55	3,21%	-1,65



Trafikbelastning och mätningarna var utförda under en relativt torr period vilket troligtvis minskat nedbrytningsskillnaden till referenssträckans fördel då materialet var finjordsrikt lerigt/siltigt material i underbyggnaden. Vid mer nederbördsrika perioder hade Geocellerna påvisat ännu högre bärighetsförbättringar.

Fuktkvoten i vägkroppen mättes vid start och slutmätningarna visar att sträcka 1 och 2 hade högre fuktkvot i materialet än sträcka 3 vilket är negativt ur bärighetssynvinkel för sträcka 1 och 2.

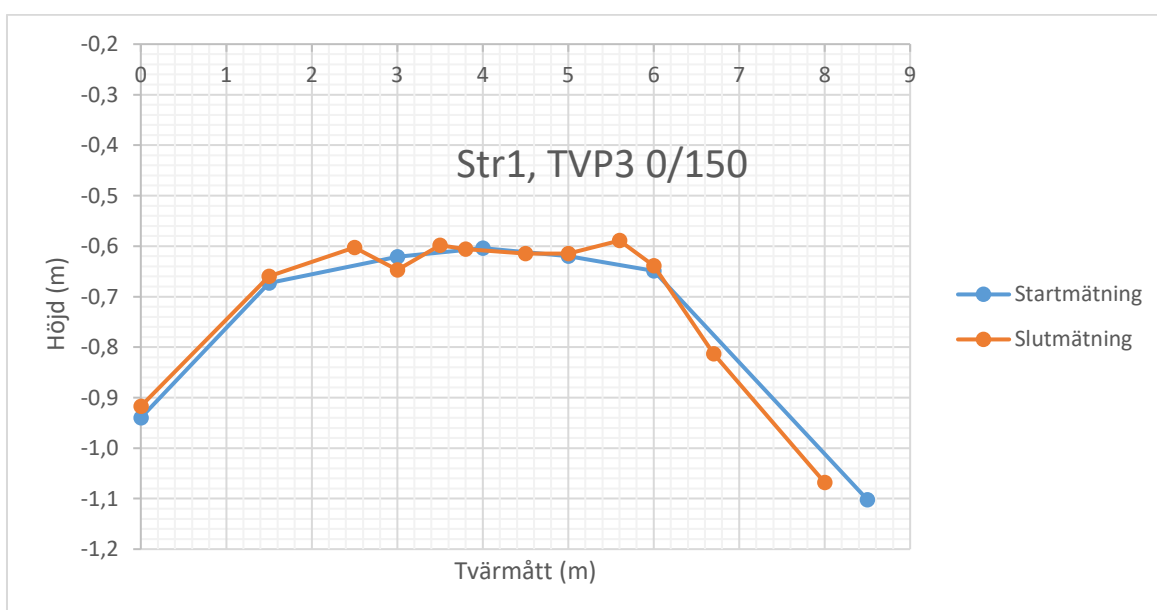
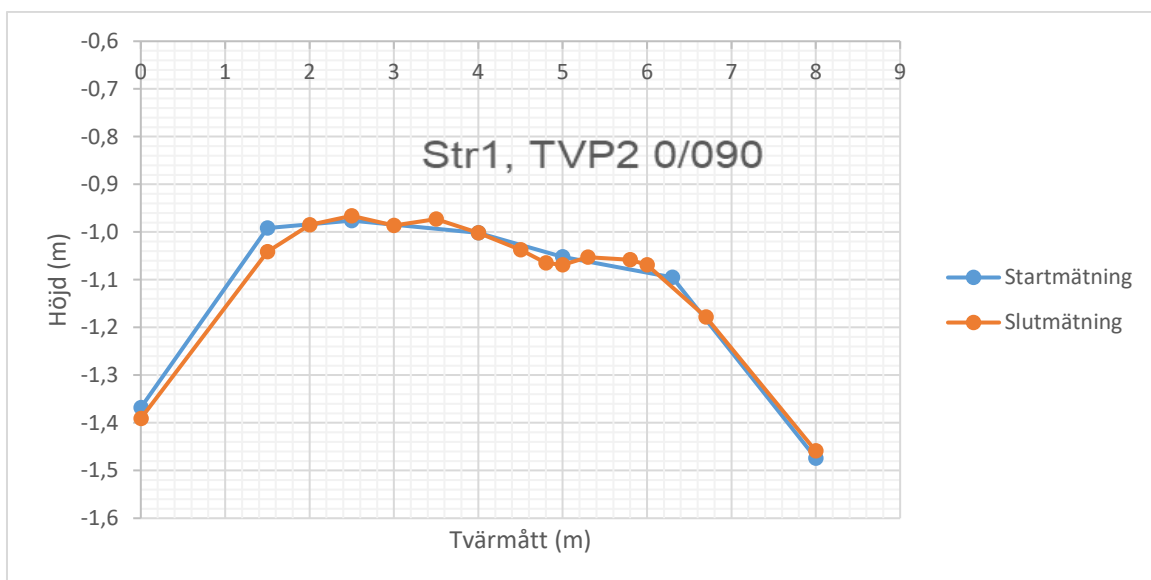
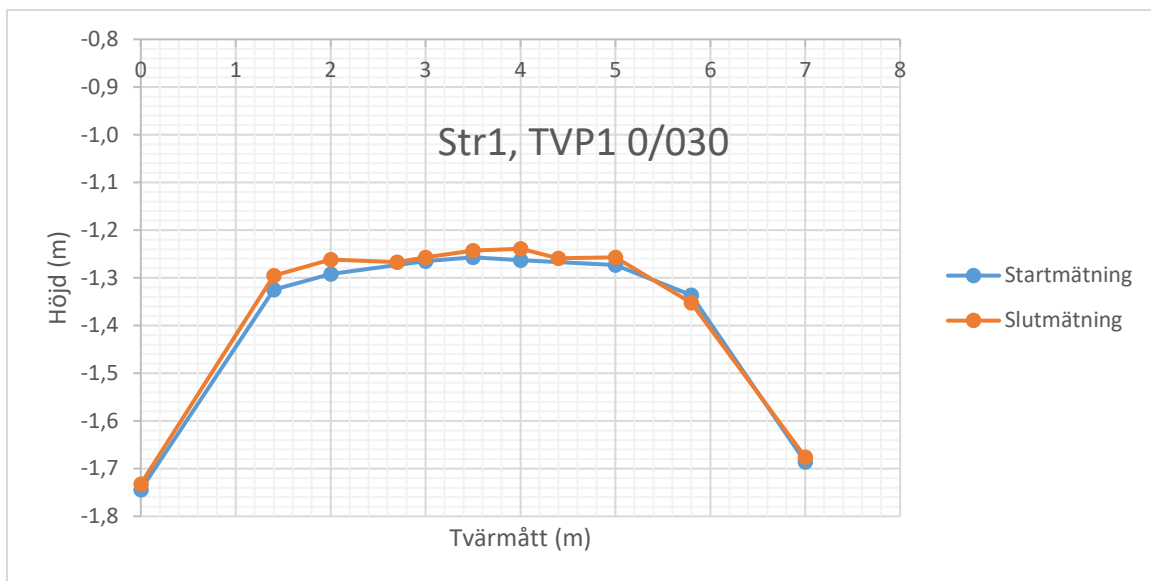
### 8.8.2. Profilmätningar för Stora Enso sträckor

Profilmätningar genomfördes på vägsträckorna 1, 2 och 3 både före och efter exponering för trafik och väder, vilket möjliggör en jämförande analys av förändringar över tid. Mätningarna visar variationer i höjd, tvärsnittsform och materialspridning över olika delar av vägen. Dessa data, som illustreras i figurena 81, 82 och 83, belyser potentiella problem som ojämnt slitage, spårbildning eller materialförskjutning, vilket är avgörande för att bedöma vägens prestanda och fastställa behovet av underhåll eller förbättringsåtgärder.

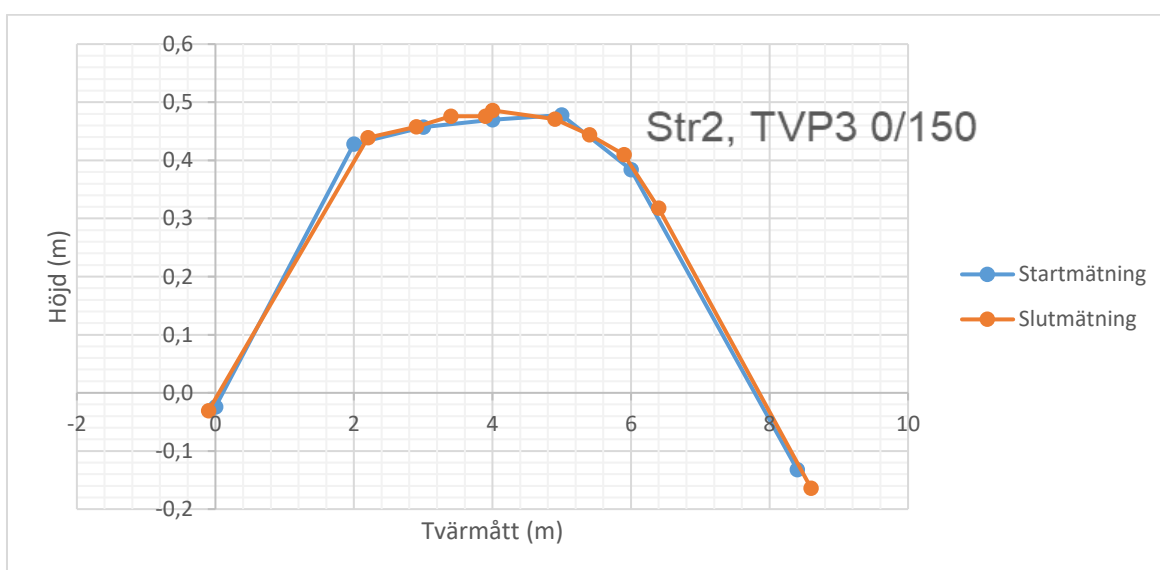
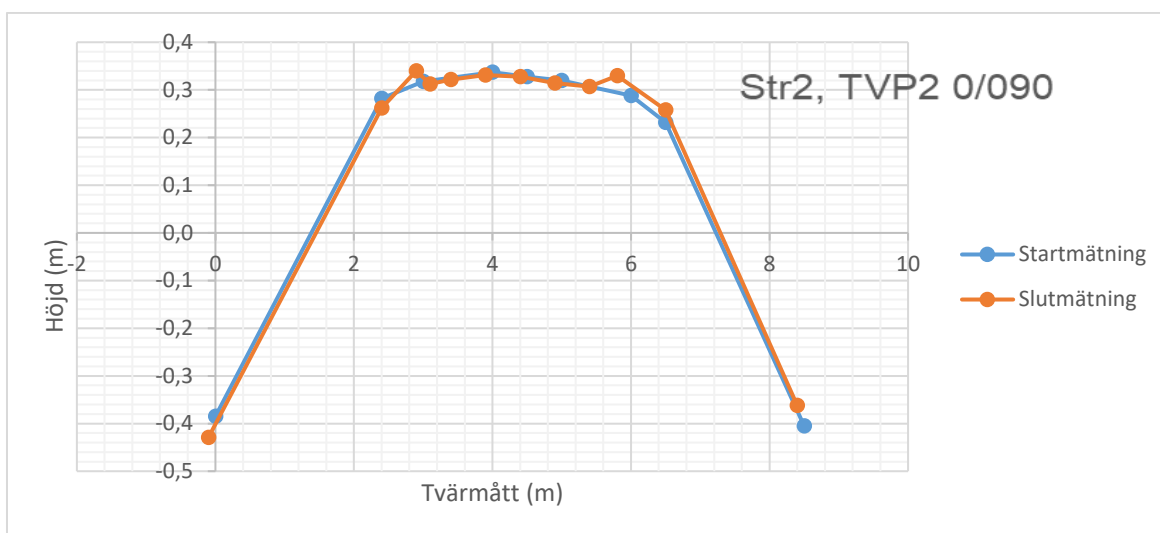
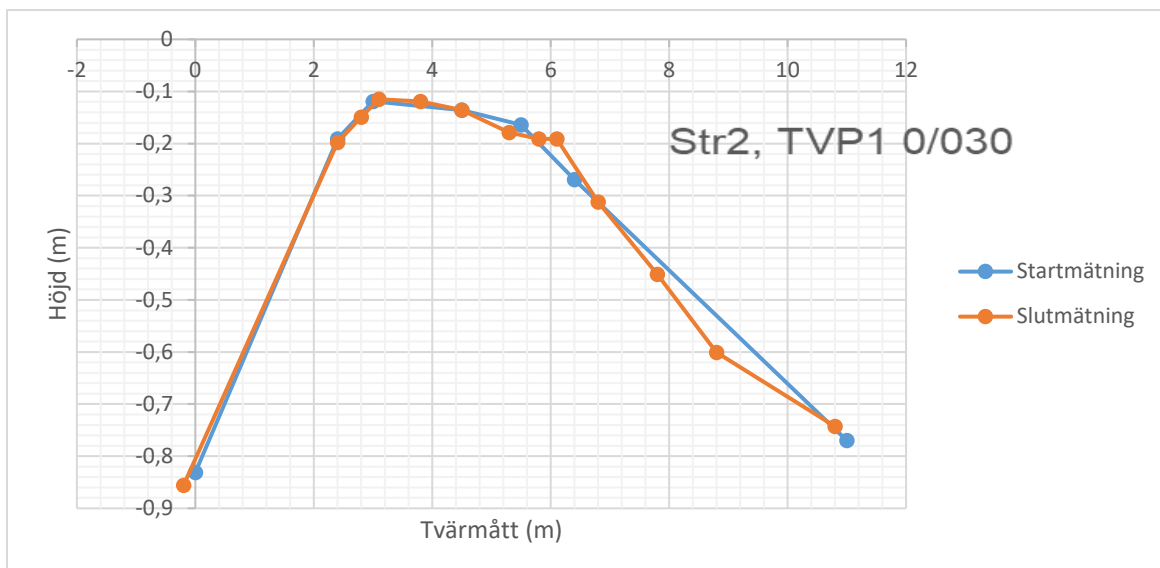
De tre profilerna i figur 81 för sträcka 1 visar att ingen märkbar spårbildning har uppstått under lastbilshjulen på denna sträcka. Samma observation gäller för de tre profilerna i sträcka 2 (se figur 82).

Däremot, visar Figur 83 att det finns lite märkbar spårbildning under lastbilens hjul för profilerna 1 och 2 medan det inte finns någon märkbar spårbildning under lastbilens hjul för profil 3 för sträcka 3.

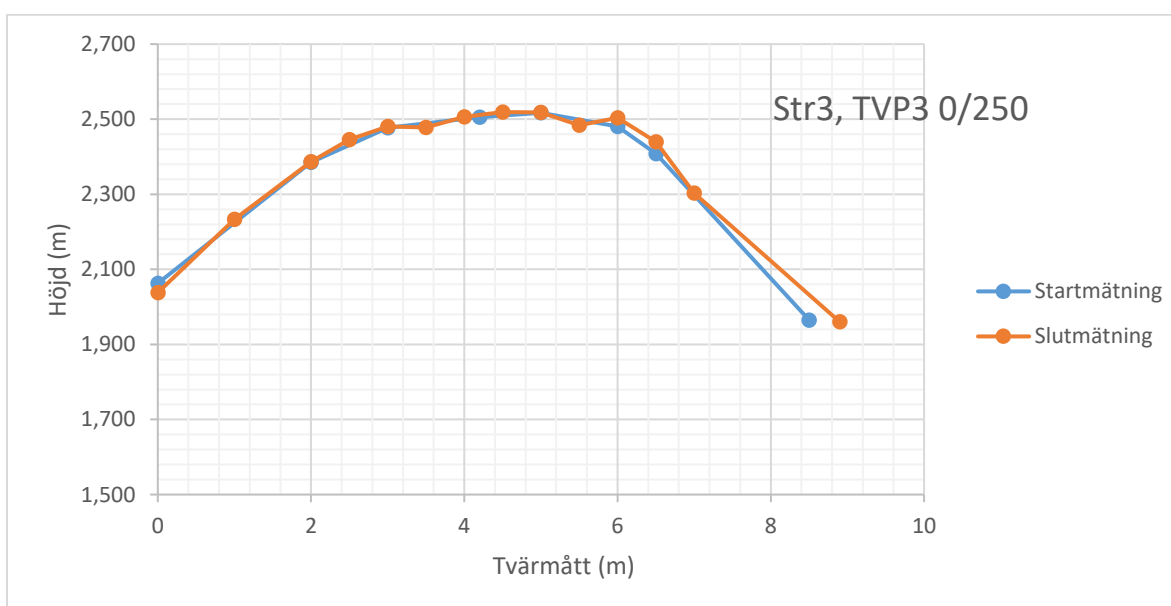
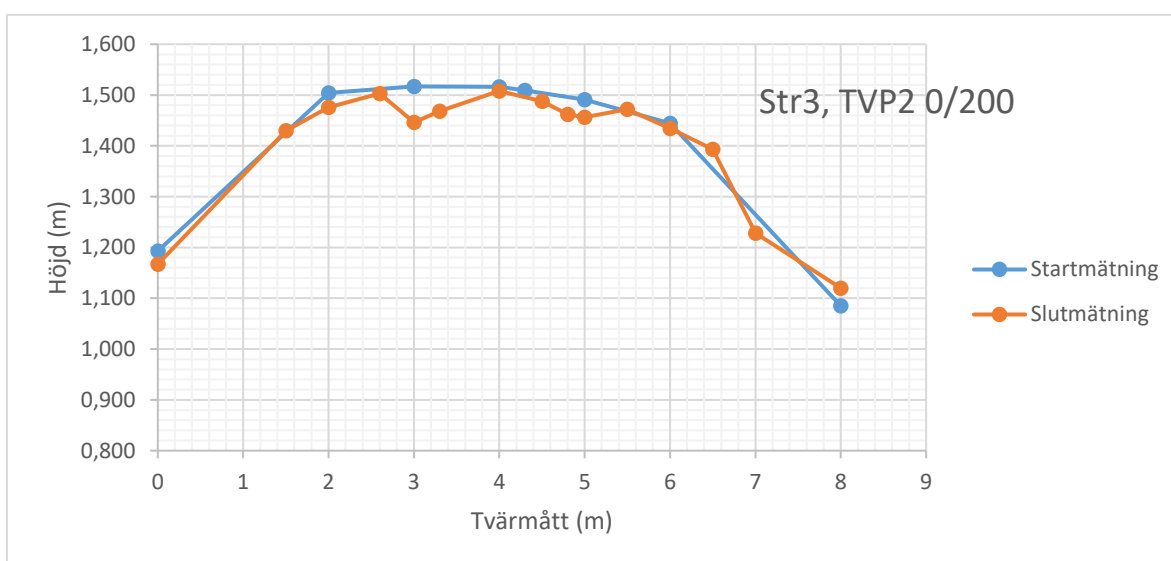
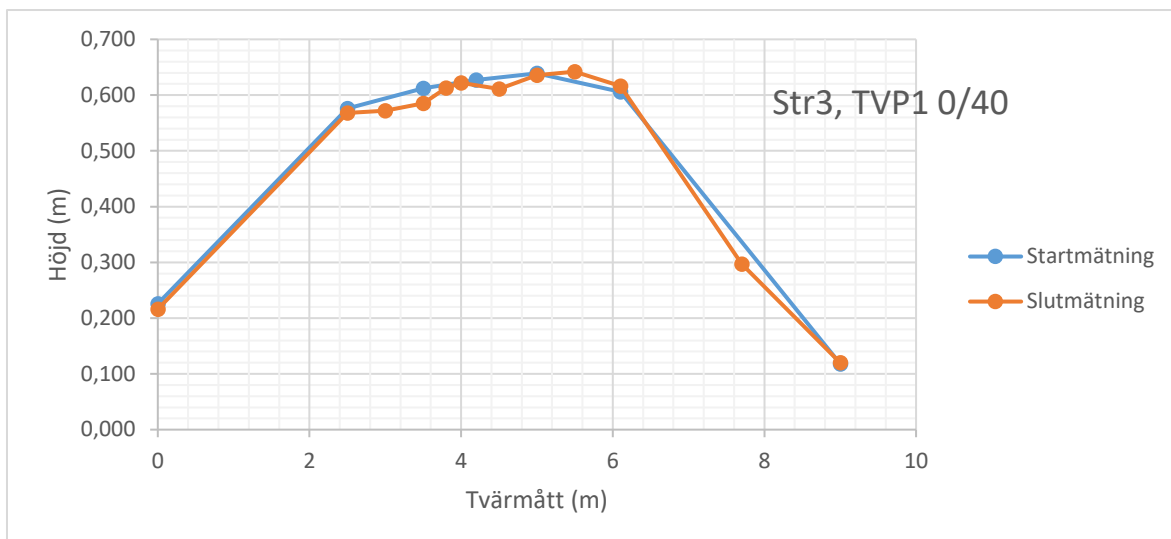
Sammanfattningsvis påvisade testerna ingen tydlig spårbildning på förstärkningssträckorna med geoceller. På referenssträckan utan geoceller påvisade mätningarna en tydlig spårbildning trots att den sträckan trafikerats betydligt mindre av byggtrafiken under anläggningsskedet och framför allt efter att den belastats med trafik i maj 2024.



Figur 81: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 1 som byggdes av Stora Enso i Grums.



Figur 82: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 2 som byggdes av Stora Enso i Grums.



Figur 83: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 3 som byggdes av Stora Enso i Grums.

### 8.8.3. Okulär-inspektion för Stora Enso sträckor

Slutmätningarna utfördes den 27-28 maj under växlande väderförhållanden med regnskurar och temperaturer mellan 20-25 grader dagtid. Vid statusbedömningen den 28 maj 2024 var vägen relativt fuktig på grund av regnet, men ytan var torr vid själva bedömningen. Inget stående vatten noterades i diken, och ingen erosion kunde observeras.

På sträcka 1 togs foton vid varje mätpunkt, med ett avstånd om 20 meter mellan dem. Gällande tvärsektionen hänvisas till avvägningsdata, och ingen korrugering eller potthål observerades. När det gäller spårbildning kan visuellt svaga tendenser till spår noteras, då det lösa gruset är nedtryckt i vägbanan och tydligt visar var trafiken har passerat, men de synliga spåren är inte särskilt stora eller tydliga. Dammbildning är svår att bedöma då vägbanan var fuktig, men de lösa stenarna på ytan var torra. Löst grus från en otillräcklig grusblandning noterades, framför allt i vägmitt och vägkanterna, men mängden var under 5 cm och kan tydligt ses på fotona, se figur 84.



*Figur 84: Okulär-inspektion av sträcka 1 i Grums. Foton: Andreas Waldemarson, VTI.*

På sträcka 2 togs också foton vid varje mätpunkt med samma avstånd. Precis som på sträcka 1 hänvisas tvärsektionsmätningarna till avvägningen och ingen korrugering eller potthål observerades. Spårbildning visade sig genom det lösa materialet som samlats vid vägkanterna, vilket ger intryck av



ganska stora spår. Liksom på sträcka 1 var det svårt att bedöma dammbildning på grund av den fuktiga vägbanan, även om stenarna på ytan var torra. Löst grus observerades både i vägkanterna och vägmitt, och det lösa gruset var mer nedtryckt i spåren. Det fanns inte mycket trafik, och de gamla markeringarna från hösten 2023 var fortfarande synliga trots förekomsten av löst grus. Mängden löst grus bedömdes till mindre än 5 cm, se figur 85.



*Figur 85: Okulär-inspektion av sträcka 2 i Grums. Foton: Andreas Waldemarson, VTI.*

Sträcka 3 var längre än de först två sträckorna, och foton togs vid de platser där mätningar genomfördes. Mittpartiet på vägen var mer löst än på sträcka 1 och 2, vilket noterades särskilt vid provtagning av fuktprover. För tvärsektionen hänvisas även här till avvägningen. Ingen korrugering eller potthål noterades. Spårbildningen var mer uttalad på denna sträcka, då det lösa materialet vid vägkanterna indikerade större spår än på de andra sträckorna. Avvägningen bekräftade att spåren här var något större, och visuellt kunde detta också skönjas. Dammbildning var svår att avgöra på grund av den fuktiga vägbanan, men de lösa stenarna var torra. Löst grus fanns i både vägkanterna och vägmitt, och mängden var något större här än på de andra sträckorna. Gruset var mer nedtryckt i spåren, och markeringarna från hösten 2023 fanns fortfarande kvar. Mängden löst grus bedömdes till mindre än 5 cm, men den var mer omfattande på denna sträcka än på de tidigare, se figur 86.



Figur 86: Okulär-inspektion av sträcka 3 i Grums. Foton: Andreas Waldemarson, VTI.

## 8.9. Viktiga observationer och insikter för Stora Ensos försök

Resultaten påvisar tydligt de positiva egenskaperna som förstärkningen med geoceller medför. Ur bärighetssynvinkel är det mycket stora förbättringar jämfört med traditionell överbyggnad och med de förutsättningar som projektet hade vid anläggande är det anmärkningsvärt att sträckorna kunde trafikeras och belastats med tunga anläggningsmaskiner direkt utan några deformationer trots att geocellerna och överbyggnaden låg i vatten på finjordsrik underbyggnad, se bild i figur 87.

Angående fuktkvot så hade sträckorna med geoceller lite högre fuktkvot än referenssträckan utan geoceller vilket är naturligt då topografin medför att vattnet rinner mot förstärkningssträckans början. Trots en högre fuktkvot i materialet så påvisar ändå geocellerna en 52–64% ökning av Evd vid testerna jämfört med referenssträckan. Referenssträckan påvisade dessutom en minskning i bärigheten då värden vid slutmätningen av Evd var lägre än vid startmätningen och sträckorna med geoceller visade förbättrade (sträcka 2) eller likvärdiga (sträcka 1) värden vid slutmätningen.





*Figur 87: Geocellerna och överbyggnaden låg i vatten på finjordsrik underbyggnad vid byggnation i Grums. Foto: Mikael Hindrikes, Stora Enso.*

Resultaten från profilmätningarna stödjer också denna slutsats, eftersom det inte finns någon märkbar spårbildning under lastbilens hjul på sträckorna 1 och 2 med geoceller. Däremot visar två av tre profilmätningar på sträcka 3 utan geoceller märkbar spårbildning under lastbilens hjul.

Visuell inspektion bekräftar att sträckorna 1 och 2 är i bättre skick än sträcka 3, både när det gäller mängden löst grus och spårbildning.

Utifrån detta dras slutsatsen att material från platsen kan med fördel användas då sträcka 2 påvisar en högre bärighet än sträcka 1 trots att den byggts med harpat finjordsrikt material från platsen och sträcka 1 byggts med bergkross.

**Reflektioner:** Vid anläggningsförfarandet påverkade vädret projektet avsevärt då det fick avbrytas två gånger för att delar av vägsträckan stod under vatten då nederbörds mängderna var avsevärda under anläggandet sommaren 2023.

Det medförde att terrassens bärighet på sträckorna utan geoceller var mycket låg så krossmaterialet, trots geotextil, inte klarade av att fördela ut trycket till underbyggnaden utan att trycka ned krossmaterialet i underbyggnaden genom terrassen. Problemet uppstod inte på sträckorna med geocellerna trots att det haft högre trafikbelastning från byggtrafik än vad sträckan utan geoceller haft. Detta medförde att vi fick öka tjockleken på förstärkningslagret till ca 45–50 cm för att byggtrafiken skulle kunna trafikera sträckan utan geoceller. Trots den ökade tjockleken på överbyggnaden så blev sträckan spårig och fick deformationer ner i underbyggnaden.

Testresultaten var anmärkningsvärt positiva för Geocellerna då de höjde uppmätt bärighet, med lätt fallvikt, till 52–64% högre än den normala överbyggnaden trots att tjockleken på den normala överbyggnaden var dubbelt så stor som för Geocellerna. Det innebär troligtvis en eller flera

väglklassers förbättring till en kostnad som troligtvis är lägre eller likvärdig med en normal överbyggnadskonstruktion. Material från platsen kan med fördel användas vilket minskar transportbehovet med positiva klimateffekter genom reducerat CO<sub>2</sub>-avtryck och minskat slitage på befintlig infrastruktur och dessutom att mindre än hälften av överbyggnadstjockleken krävs för att uppnå 64% starkare konstruktion vilket är mycket anmärkningsvärt i sig.

Förslag på vidare undersökningar: Analys av sträckan med georadar hade varit önskvärt för att kunna se de olika lagrens deformationer och även tester med statisk plattbelastning för att komplettera bedömningen av bärigheten hade varit intressant att genomföra.

---

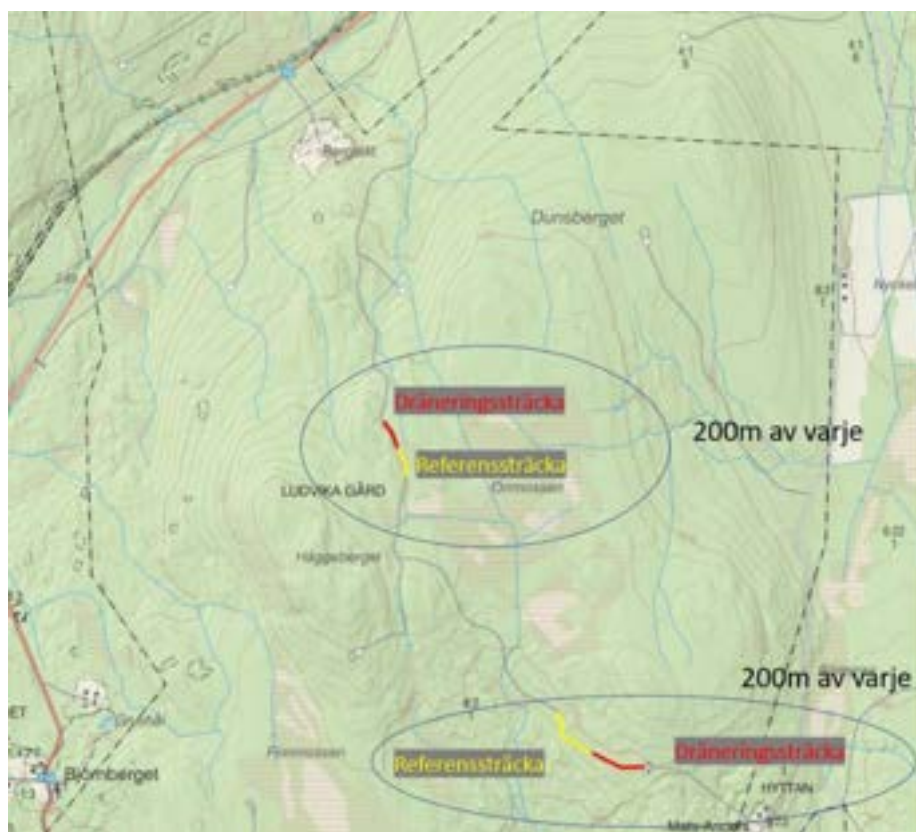
## 9. Stabilisering genom förbättrad dränering med hjälp av stenmadrasser

---

Dräneringsmetoden som har testats i försöket var så kallade Franska madrasser eller stenmadrasser. Madrasserna anläggs genom att diken grävs tvärs över vägen och kläs med geotextil, därefter fylls dikena med makadam och slutligen täcks makadamen med geotextil och ett finare material överst. Storleken på madrasserna och avståndet mellan dem är flexibelt beroende på mängden vatten som ska dräneras bort och de aktuella förhållandena på platsen. I försöket har en bredd om 1,5–2 m används och ett avstånd mellan madrasserna på ca 40 m för sträcka 1 och 25 m för sträcka 3. I början av projektet bedömdes tre vägsträckor - sträckorna 1, 2 och 3 - som möjliga för försök med stenmadrasser som skulle byggas av Kopparfors. Senare valdes sträckorna 1 och 3 ut som de mest lämpliga för försöket och därför har dessa sträckor konsekvent benämnts ”sträcka 1” och ”sträcka 3” i beskrivningen av det aktuella försöket.

### 9.1. Plats för de vägsträckor som testades av Kopparfors

Försöket utfördes på en befintlig skogsbilväg drygt 2 km nordöst om Grängesberg i Dalarnas län, se figur 88. Två sträckor om ca 200 meter vardera valdes ut efter vägen. Varje sträcka delades därefter upp i en dräneringssträcka och en referenssträcka. Koordinater för de två teststräckor som byggdes av Kopparfors i Grängesberg finns i tabell 20.



Figur 88. Karta som visar försöksträckorna som byggdes av Kopparfors i Grängesberg.

Den aktuella vägen och omkringliggande terräng har en stor andel finkornigt material som håller vatten. Vilket historiskt har orsakat problem med tillgänglighet vid tunga transporter.

Tillgången till grusmaterial på platsen är god, då det finns en kommersiell bergtäkt i nära anslutning till vägen.



Tabell 20: Koordinater för de två teststräckor som byggdes av Kopparfors i Grängesberg.

	Sträcka 1				Sträcka 3			
	Med stenmadrasser		Ref		Med stenmadrasser		Ref	
	Start	Slut	Start	Slut	Start	Slut	Start	Slut
N	503290	503335	503335	503370	504047	504191	503938	504047
E	6660103	6660011	6660011	6659930	6658925	6658888	6658997	6658925

## 9.2. Val och egenskaper av materialen i vägsträckorna

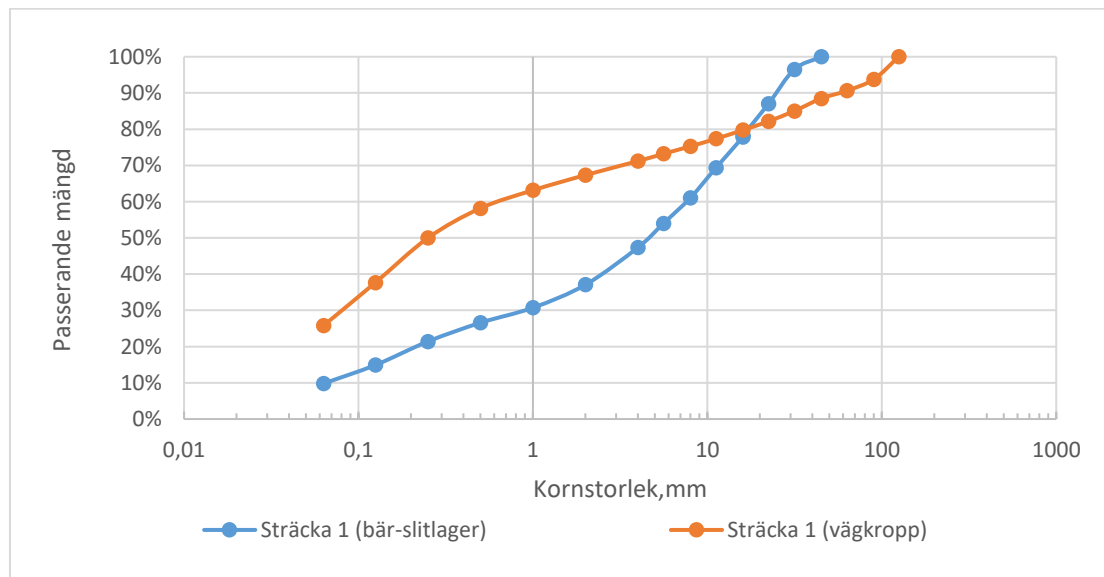
### 9.2.1. Val av stenmadrassmaterial och geotextil

Makadam i fraktionen 70–150 mm har använts i madrasserna. Makadamen täcktes med geotextil av typ klass N1 och ett finare material överst av fraktion 0-32.

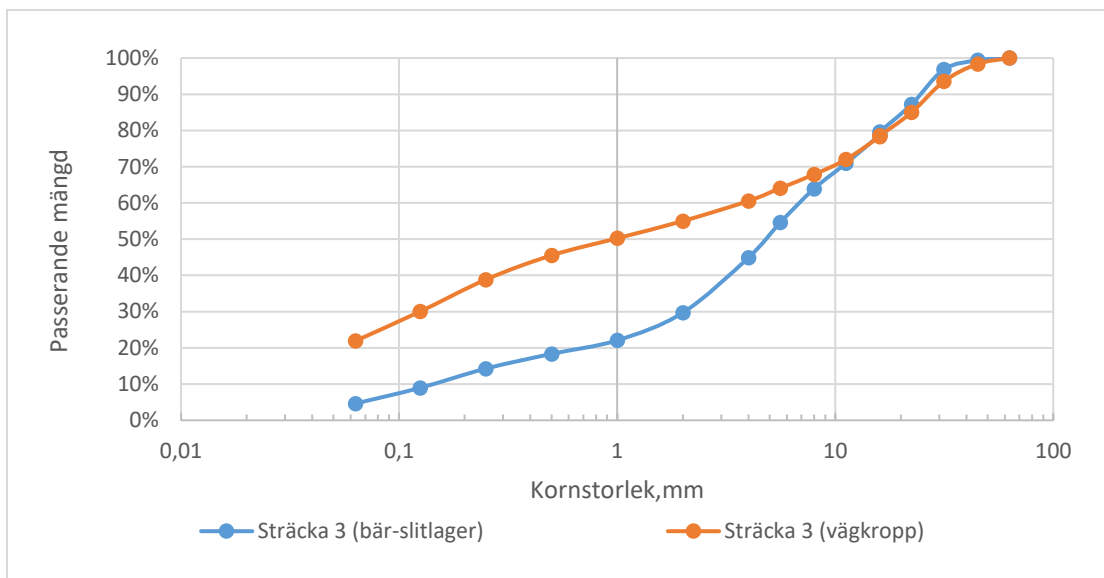
### 9.2.2. Egenskaper av materialen i vägsträckorna

Innan dräneringsförsöket påbörjades så togs materialprover på den befintliga vägen, dels från vägens bärlager, dels från vägkroppen. Provet togs på båda sträckorna och skickades till VTI i Linköping för analys. Kornstorleksfördelningen har bestämts enligt standarden SS-EN 933-1 (2012). Teststräckornas materialsammansättning framgår av figurerna 89 och 90.

För bär-slitlager av sträckor 1, visar figur 89 att cirka 10 % av partiklarna passerar genom 0,063 mm-sikt, 37 % är finare än 2 mm-sikt, och 100 % passerar genom 45 mm-sikt. För vägkroppmaterial för sträcka 1, visar figur 89 att cirka 25% av partiklarna passerar genom 0,063 mm-sikt medan 67 % är finare än 2 mm-sikt, och 100 % passerar genom 125 mm-sikt.



Figur 89: Kornstorleksfördelningen för bär-slitlager samt vägkroppmaterial för sträcka 1 som byggdes av Kopparfors i Grängesberg.



Figur 90: Kornstorleksfördelningen för bär-slitlager samt vägkroppmaterial för sträcka 3 som byggds av Kopparfors i Grängesberg.

Analysen för bär-slitlager på sträcka 3 (figur 90) visar att 5 % av partiklarna passerar genom 0,063 mm-sikt, 30% är finare än 2 mm-sikt, och samtliga 100 % passerar genom 63 mm-sikt.

Figur 90 visar också att för vägkroppmaterial för sträcka 3 passerar cirka 22 % av partiklarna genom 0,063 mm-sikt, 55% är finare än 2 mm-sikt, och samtliga 100 % passerar genom 63 mm-sikt.

### 9.3. Byggprocessen för vägsträckorna sträckorna med och utan stenmadrasser

Som nämnts tidigare anläggs madrasserna genom att diken grävs tvärs över vägen och kläs med geotextil, därefter fylls diken med makadam och slutligen täcks makadamen med geotextil och ett finare material överst. I försöket har en bredd om 1,5–2 m används och ett avstånd mellan madrasserna på ca 40 m för sträcka 1 och 25 m för sträcka 3, se figur 91. Längs den norra dräneringssträckan (sträcka 1) anlades tre stenmadrasser och längs den södra dräneringssträckan (sträcka 3) anlades fyra stenmadrasser.



Figur 91: Överbyggnadskonstruktion med stenmadrasser.

Enligt Kopparfors experter, vid anläggandet av madrasserna krävdes det flera personer på plats samtidigt, en maskinförare för grävmaskinen, en chaufför för lastbilen, samt en person på marken som

ansvarade för att lägga ut geotextil och köra markvibrator. Vilket orsakade ineffektivitet i arbetet, eftersom varje moment var beroende av att det föregående blev klart innan nästa kunde påbörjas. Detta resulterade i att vissa arbetsroller var nästintill sysslösa under längre stunder, till exempel när markpersonalen väntade på att grävmaskinen skulle gräva färdigt eller när lastbilen var stillastående medan makadam lastades av.

Madrasserna anlades den 24 maj 2023. För grävning och utläggning av makadam användes en hjulgrävare, Hitachi 17 ton (Hitachi Zaxis 140W), samt en markvibrator för kompaktering av materialet. Dessutom användes en grusbil för att transportera grusmaterialet till platsen, samt en lastmaskin för att lasta materialet i tåkten.

**Steg 1:** Grävmaskinen började med att gräva ett dike tvärs över vägen, som gick från innerslänt till innerslänt. Dikets bredd var ca 1,5–2 meter och djupet var ner till dikesbotten, se figur 92.



*Figur 92: Bild på grävning av dike för stenmadrass. Foto: Johan Skoog, Kopparfors.*

**Steg 2:** Det nygrävda diket tvärs över vägen täcktes med en geotextil (markduk klass N1), där ett extra stycke geotextil sparades, för att senare kunna täcka över överdelen av stenmadrassen, se figur 93.



*Figur 93. Bild på färdiggrävt dike som är täckt med geotextil. Foto: Johan Skoog, Kopparfors.*

**Steg 3:** Därefter fylldes diket med makadam i fraktionen 70–150 mm. Makadamen transporterades med grusbil från närliggande bergtäkt och grävmaskinen lyfte makadamen från flaket på grusbilen till diket. När det var en mindre mängd makadam kvar på flaket så tippades det sista på marken och grusbilen kunde hämta ett nytt lass, medan grävmaskinen lyfte ut resterande makadam, se figur 94.



*Figur 94. Bild på när makadamen är på plats. Foto: Johan Skoog, Kopparfors.*



**Steg 4:** När all makadam var på plats så packades materialet med en markvibrator, se figur 95.



*Figur 95. Packning av makadamen med markvibrator. Foto: Johan Skoog, Kopparfors.*

**Steg 5:** Efter packningen så täcktes även överdelen av makadamen med geotextil, se figur 96.



*Figur 96. Makadamen täckt med geotextil. Foto: Johan Skoog, Kopparfors.*



**Steg 6:** Därefter toppades stenmadrassen med ett lager av finare fraktioner 0-32 mm, se figur 97.



*Figur 97. Toppades stenmadrassen och geotextilen med ett lager av finare fraktioner 0-32 mm. Foto: Johan Skoog, Kopparfors.*

**Steg 7:** Slutligen så packades även det översta lagret med markvibrator, se figur 98.



*Figur 98. I slutet packades det översta lagret med markvibrator. Foto: Johan Persson, Kopparfors.*

Efter att stenmadrasserna hade anlagts så grusades både dräneringssträckorna och referenssträckorna med ett tunt lager av grus i fraktionen 0–32 mm.

#### 9.4. Effektiviseringspotential

Kopparfors experter har identifierat flera potentiella förbättringar för att kunna effektivisera arbetet med att anlägga stenmadrasserna. Genom att göra justeringar i arbetssättet så tror de att det går att minska resursåtgången och spara tid.

I försöket användes en hjulgrävmaskin, vilket vi bedömer att är mindre lämpad för arbetet. Vi rekommenderar i stället att använda en bandgående grävmaskin, vilken är mer anpassad för arbetet och som lättare kan förflyttas förbi diket för stenmadrasserna, även när vägen är avgrävd. En bandgående maskin skulle därmed vara effektivare. Dessutom föreslår vi att en större grävmaskin används, vilket skulle kunna utföra grävjobbet mera effektivt genom att korta ner grävningstiden och hantera större volymer material.

Vi tror också att arbetet kan rationaliseras genom att köra ut grusmaterialen innan grävmaskinen påbörjar grävningen. Detta skulle potentiellt kunna spara tid, då både grävmaskinen och grusbilen skulle slippa väntetider. Dock innebär detta ett behov av att veta exakt materialåtgång för varje stenmadrass, vilket är utmanande då terrängen och förhållandena varierar. Om fel mängd material körs ut kan ineffektivitet i stället uppstå, vid för lite material kan arbetet stanna upp, och om vägen inte är framkomlig blir kompletteringar besvärliga. Om för mycket material körs ut så riskeras kostnader för hantering av överskottsmaterial eller slöseri om det lämnas kvar i skogen utan att användas. En mera precis uppskattning av materialåtgången skulle därför vara avgörande för att denna metod skulle kunna användas på ett effektivt sätt.

Ytterligare en förbättring är möjligheten att rationalisera bort markpersonalen, som i försöket ansvarade för att lägga geotextilen och hantera markvibratoren. I stället skulle en anordning/hållare på grävmaskinen kunna användas för att rulla ut geotextilen, vilket skulle eliminera behovet av extra personal för detta steg. Det skulle troligtvis även vara möjligt att rationalisera bort behovet av packning med markvibrator och i stället låta materialet självpacka. Ett alternativ är att låta föraren av grävmaskinen utföra detta arbete, så länge det inte påverkar effektiviteten i själva grävningen. Genom att minska överkapaciteten av personal så kan kostnaderna potentiellt sänkas.

Sammanfattningsvis så ser vi goda chanser att kunna effektivisera arbetet med stenmadrasserna. Genom att anpassa maskinvalet, förbättra logistiken kring materialhanteringen och minska personalbehovet så kan arbetet göras både snabbare och mer kostnadseffektivt.

## 9.5. Trafiksimulering

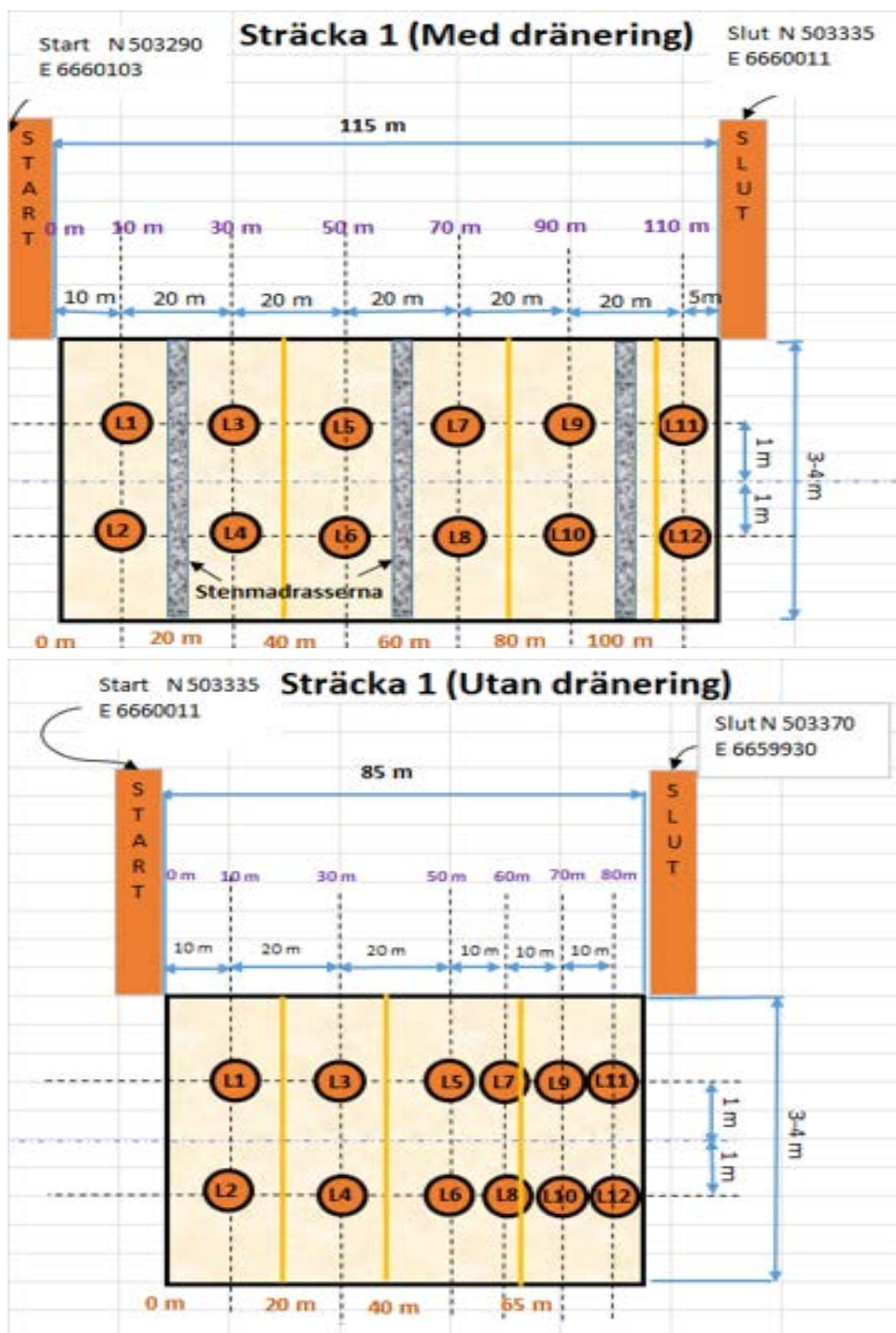
Efter att stenmadrasserna hade anlagts, så utfördes en trafiksimulering för att utvärdera hur försökssträckorna skulle reagera på tung trafik. Trafiksimuleringen genomfördes med en grusbil med tillkopplat släp, där både lastbilen och släpet hade tre axlar med dubbelmontage. Lastvikten på lastbilen var 13,5 ton och släpets lastvikt uppgick till 15,5 ton. Ekipaget vägde totalt 20 ton utan last, vilket innebar att den totala vikten under simuleringen var 49 ton.

Trafiksimuleringen utfördes genom att ekipaget körde över försökssträckorna totalt 60 gånger. Den aktuella dagen för simuleringen var vädret torrt och bra. Vägen var i gott skick både innan simuleringen påbörjades och efter att de 60 överfarterna hade utförts, och ingen synlig påverkan på vägen noterades, vare sig på dräneringssträckorna eller på referenssträckorna.

För att dokumentera trafiksimuleringen togs foton av försökssträckorna både före och efter överfarterna.

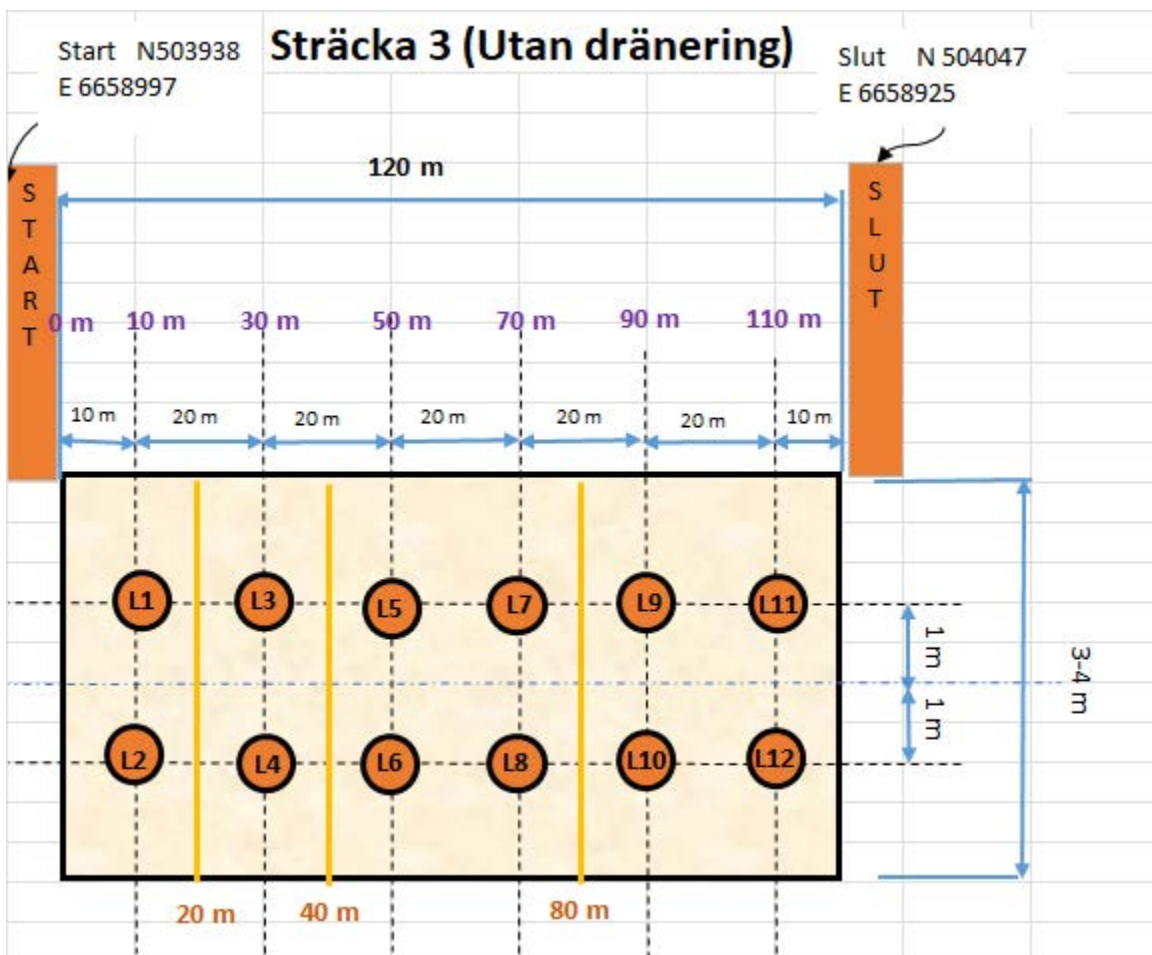
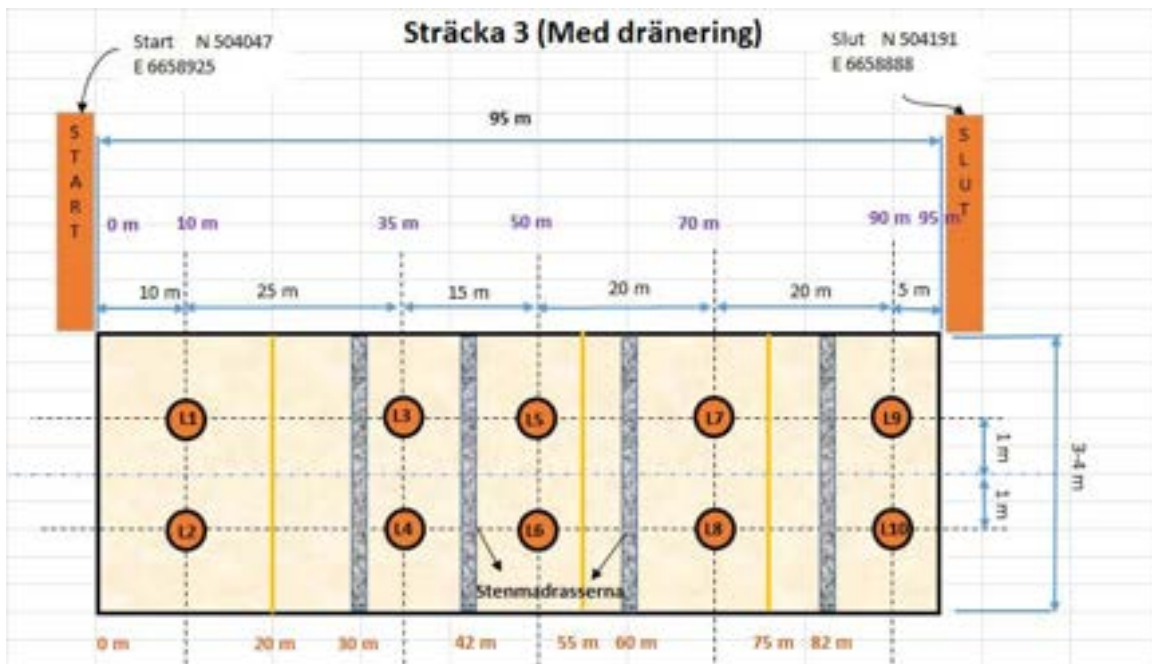
## 9.6. Testpunkter och mätlayout

De testade vägsträckorna hade en liknande layout för mätpunkterna, där varje sträcka innehöll flera platser för lättviktsdeflektometermätningar (LWD) och profilmätningar. Denna utformning av mätpunkter och profiler ger en god överblick över vägsträckornas tekniska prestanda, se figur 99 och figur 100. Som i de andra försöken representerar siffrorna i cirklarna LWD-mätpunkterna, medan de gula linjerna markerar positionerna för profil- och hjulspårsmätningar. Den streckade blå linjen visar vägens mittlinje. Totalt genomfördes 46 LWD-mätningar, tillsammans med 12 profilmätningar, samt flera punkter där fuktkvoten bestämdes i anslutning till LWD-platserna. En okulär inspektion genomfördes också i samband med slutmätningen.



Figur 99: Testpunkter och mätlayout för de två testade delar av sträcka 1 med och utan dräneringen (stenmadrasserna) som byggdes av Kopparfors.





Figur 100: Testpunkter och mätlayout för de två testade delar av sträcka 3 med och utan dräneringen (stenmadrasserna) som byggdes av Kopparfors.

## 9.7. Mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderexponering

För att bedöma tillståndet på de vägsträckor som byggts av Kopparfors, genomförde VTI forskarteam en serie mätningar. Dessa utfördes både direkt efter byggnationen och efter att vägsträckorna hade utsatts för trafik och väderpåverkan. Syftet var att samla in data och utvärdera vägarnas tillstånd samt de olika sträckornas egenskaper. Mätningarna omfattade tester med lätt fallvikt (LWD), profilmätningar, fuktkvotsmätningar samt visuella inspektioner av både vägsträckorna och den omgivande terrängen, enligt protokollet i Bilaga 1.

De initiala mätningarna på Kopparfors teststräckor genomfördes mellan den 29 och 30 maj 2023, strax efter att vägarna färdigställts. Slutmätningarna ägde rum mellan den 11 och 12 juni 2024, efter att vägsträckorna hade utsatts för väder och trafikbelastningar under flera månader, samt en trafiksimulering med 60 överfarter av en 49-tons lastbil, se figur 101. De initiala och slutliga mätningarna fungerar som referenspunkter för att bedöma vägprestandan och identifiera eventuella problem före och efter att vägsträckorna påverkats av yttre faktorer. Resultaten från både de initiala och slutliga testerna presenteras i det följande avsnittet.



Figur 101: VTI-mätningar efter byggnation före och efter trafik- och väderpåverkan av de vägsträckor som Kopparfors byggt i Grängesberg. Foton: Andreas Waldemarson, VTI.



### 9.7.1. Mätningar med lätt fallvikt och fuktkvot för Kopparfors sträckor

Tabellerna 21, 22, 23 och 24 redovisar de initiala och slutliga mätningarna av lätt fallvikt modulen (Evd) i MPa samt fuktkvoten (WC) i procent för vägsträckorna 1 och 3 med och utan dräneringen (stenmadrasserna).

Testresultaten för stenmadrasserna visade på en förbättring av bärigheten vid mätning av E-modul med hjälp av lätt fallvikt, jämfört med en traditionell överbyggnadskonstruktion utan stenmadrasser. Resultaten indikerade en ökning av Evd-modulen (bärighet) med cirka 12 % på teststräcka 1, där stenmadrasserna byggdes med ett relativt stort avstånd på cirka 40 meter mellan varje stenmadrass, i jämförelse med referenssträckan utan stenmadrasser.

För sträcka 3, där stenmadrasserna byggdes tätare med 25 meters avstånd mellan dem, dubblades Evd, vilket resulterade i en ökning på 23 % i Evd för den dränerade delen med stenmadrasserna jämfört med den odränerade delen för sträcka 3.

Tabell 21: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 1 med dräneringen (stenmadrasserna).

Sträcka 1 - (Med stenmadrasserna)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L1	31,78	2,09	34,94	4,06	9,94
L2	23,66		30,95	5,12	30,81
L3	26,01		26,44	5,34	1,65
L4	15,52		20,74	6,10	33,63
L5	33,33		32,75	4,89	-1,74
L6	24,73	2,94	25,77	5,38	4,21
L7	28,2		31,08	4,75	10,21
L8	29,84		37,25	4,29	24,83
L9	32,19	1,81	31,87	3,85	-0,99
L10	22,89		25,34	5,70	10,70
L11	27,44		26,56	5,27	-3,21
L12	22,8		24,81	4,11	8,82
Medel	26,53	2,28	29,04	4,91	10,74

Tabell 22: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 1 utan dräneringen (stenmadrasserna).

Sträcka 1 - (Utan stenmadrasserna)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L1	32,23	3,14	28,13	5,16	-12,72
L2	25,17		19,67	4,98	-21,85
L3	21,84		18,23	4,96	-16,53
L4	20,78		20,85	4,81	0,34

Sträcka 1 - (Utan stenmadrasserna)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L5	25,17		30,74	5,37	22,13
L6	23,05	2,94	22,91	5,10	-0,61
L7	24,3		25,34	5,60	4,28
L8	21,39		27,99	6,22	30,86
L9	38,53	2,25	31,69	4,84	-17,75
L10	25,83		19,89	7,24	-23,00
L11	31,56		31,34	4,21	-0,70
L12	23,89		28,74	4,48	20,30
Medel	26,15	2,77	25,46	5,25	-1,3

Tabell 23: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 3 med dräneringen (stenmadrasserna).

Sträcka 3 - (Med stenmadrasserna)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L1	22,87	2,45	35,38	5,29	54,70
L2	23,27		43,6	5,17	87,37
L3	23,66		29,37	3,09	24,13
L4	25,89		28,63	5,08	10,58
L5	25,77		47,47	6,55	84,21
L6	19,74	1,81	28,37	7,04	43,72
L7	38,4	1,65	30,28	5,63	-21,15
L8	37,56		33,33	7,89	-11,26
L9	27,74		40,04	5,80	44,34
L10	20,16		31,87	7,75	58,09
Medel	26,51	1,97	34,83	5,93	37,47

Tabell 24: Resultaten av LWD- och fuktkvotsmätningarna för sträcka 3 utan dräneringen (stenmadrasserna).

Sträcka 3 - (Utan stenmadrasserna)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L1	35,27	1,52	34,56	7,68%	-2,01
L2	26,44		38,07	6,34%	43,99
L3	31,56		30,16	6,78%	-4,44

Sträcka 3 - (Utan stenmadrasserna)					
Measurement point ID	Initiala mätningar		Slutliga mätningar		Total procentuell ökning eller minskning i Evd
	Initial Evd (MPa)	Initial WC (%)	Slut Evd (MPa)	Slut WC (%)	
L4	28,45		36,23	6,04%	27,35
L5	30,57		36,23	5,58%	18,51
L6	31,6	1,57	40,54	5,47%	28,29
L7	31,65		32,8	6,63%	3,63
L8	44,91		42,69	5,17%	-4,94
L9	33,48	2,28	34,14	6,01%	1,97
L10	27,54		30,95	5,11%	12,38
L11	31,03		35,71	5,74%	15,08
L12	26,56		35,66	6,72%	34,26
Medel	31,59	1,79	35,64	6,10%	14,5

### 9.7.2. Profilmätningar för Kopparfors sträckor

Profilmätningar genomfördes på vägsträckorna 1 och 3 både före och efter exponering för trafik och väder, vilket möjliggör en jämförande analys av förändringar över tid. Mätningarna visar variationer i höjd, tvärsnittsform och materialspridning över olika delar av vägen. Dessa data, som illustreras i figurerna 102, 103, 104 och 105, belyser potentiella problem som ojämnt slitage, spårbildning eller materialförskjutning, vilket är avgörande för att bedöma vägens prestanda och fastställa behovet av underhåll eller förbättringsåtgärder.

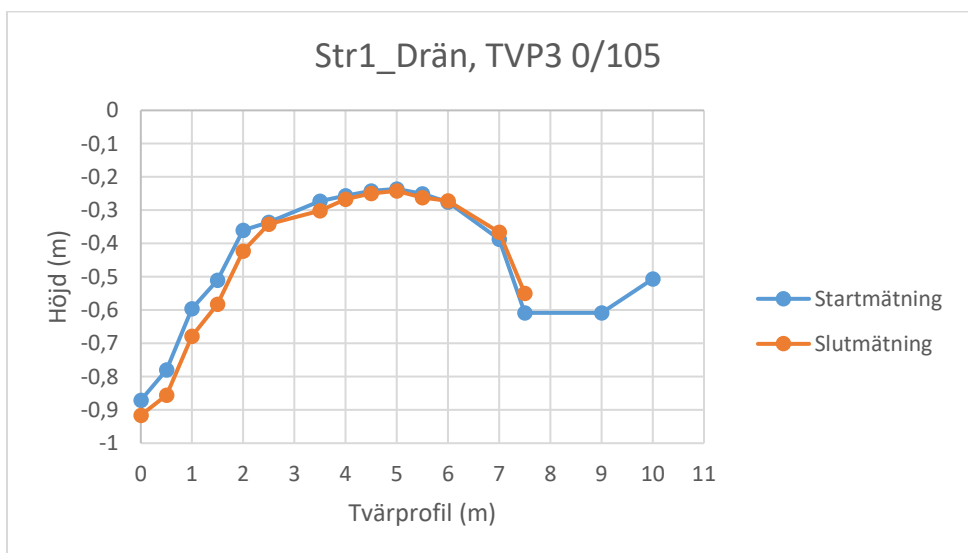
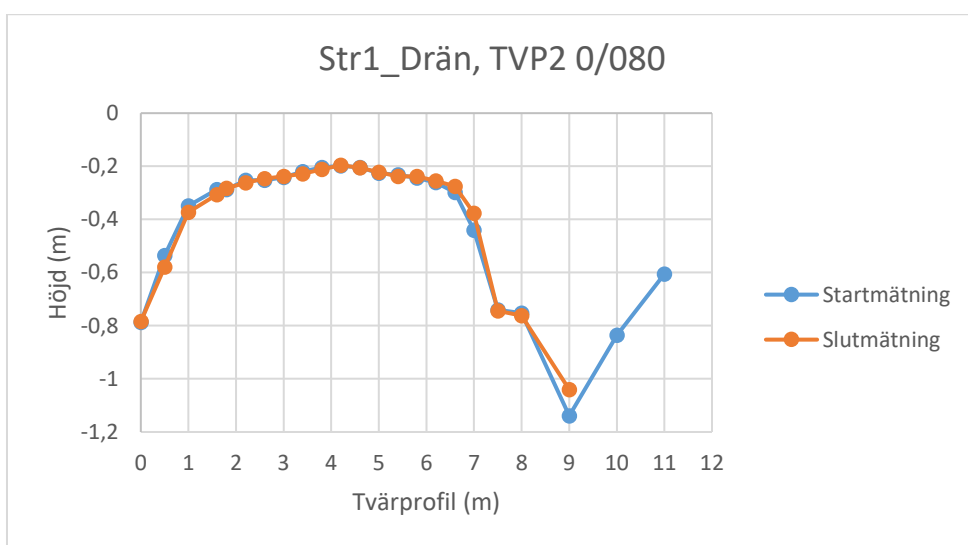
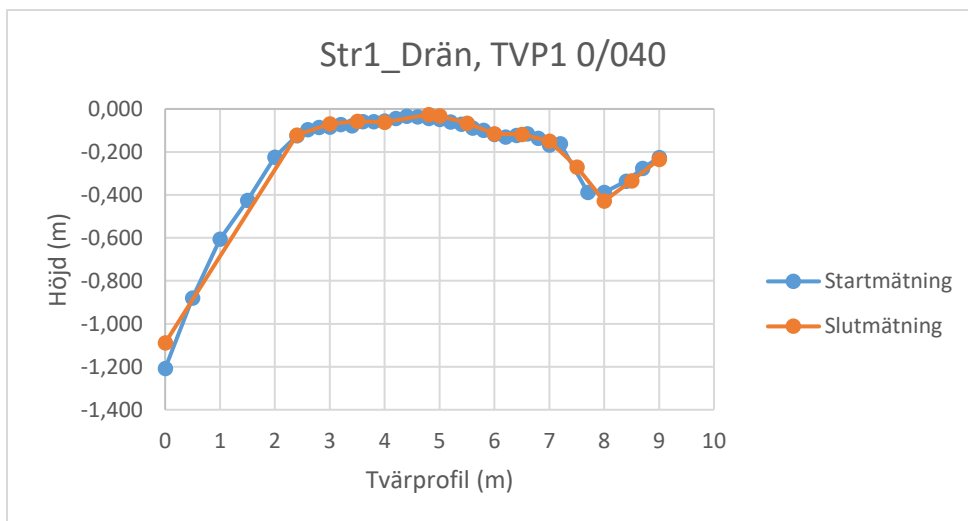
De tre profilerna i figur 102 för sträcka 1 med stenmadrasser visar att ingen märkbar spårbildning har uppstått under lastbilshjulen på denna sträcka.

Däremot, för sträcka 1 utan stenmadrasser, visar figur 103 att det finns en viss märkbar spårbildning under lastbilens hjul för profilerna 1 och 3, medan ingen märkbar spårbildning observeras under lastbilens hjul för profil 3.

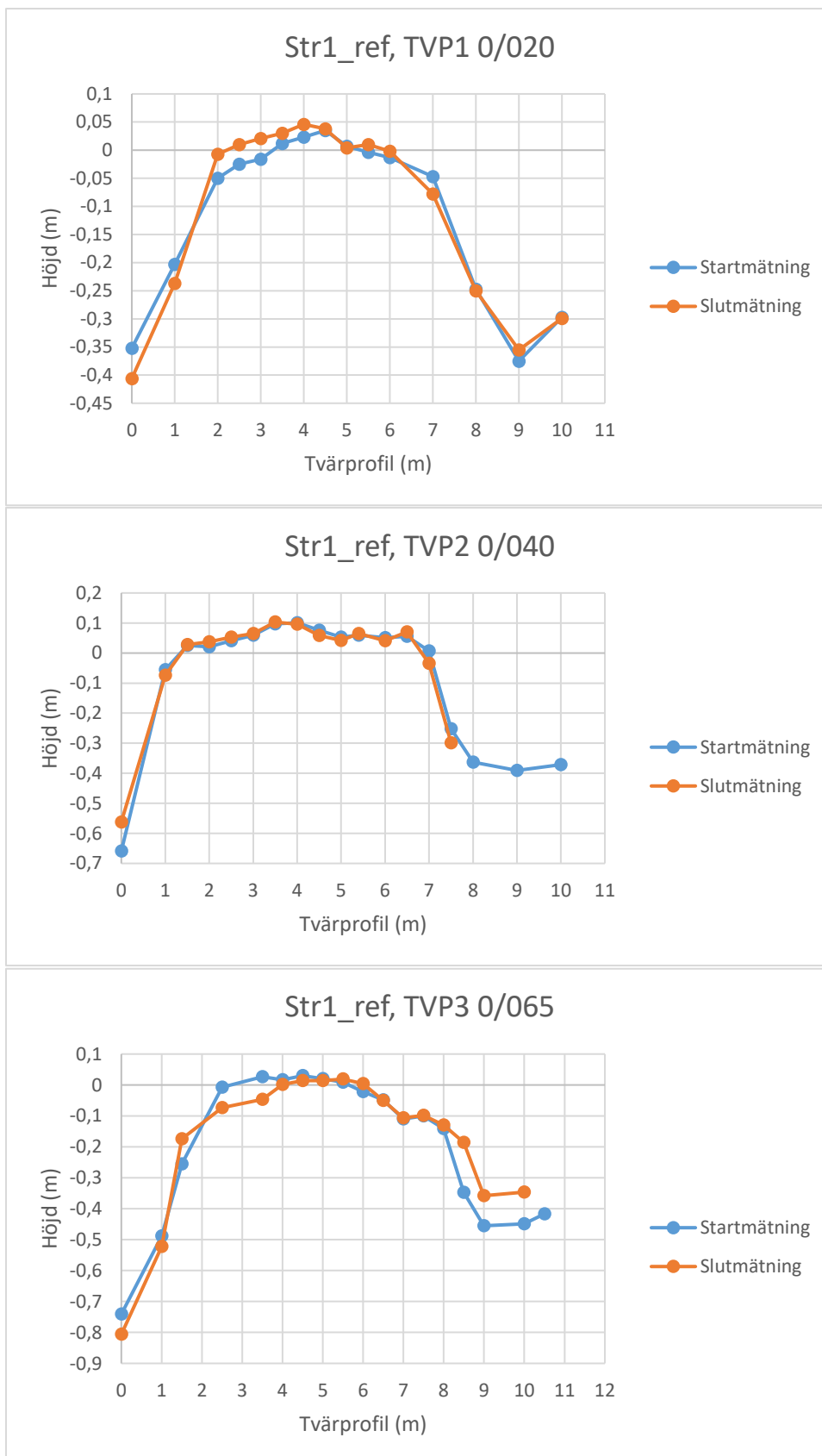
De tre profilerna i figur 104 för sträcka 3 med stenmadrasser visar att ingen märkbar spårbildning har uppstått under lastbilshjulen på denna sträcka.

Figur 105 visar en viss märkbar spårbildning under lastbilens hjul för profil 1, medan det inte finns någon märkbar spårbildning under hjulen för profilerna 2 och 3 på sträcka 3, utan stenmadrasser.

Sammanfattningsvis visade testerna ingen tydlig spårbildning på förstärkningssträckorna med stenmadrasser. Mätningarna på referenssträckan utan stenmadrasser visade däremot en viss märkbar spårbildning.

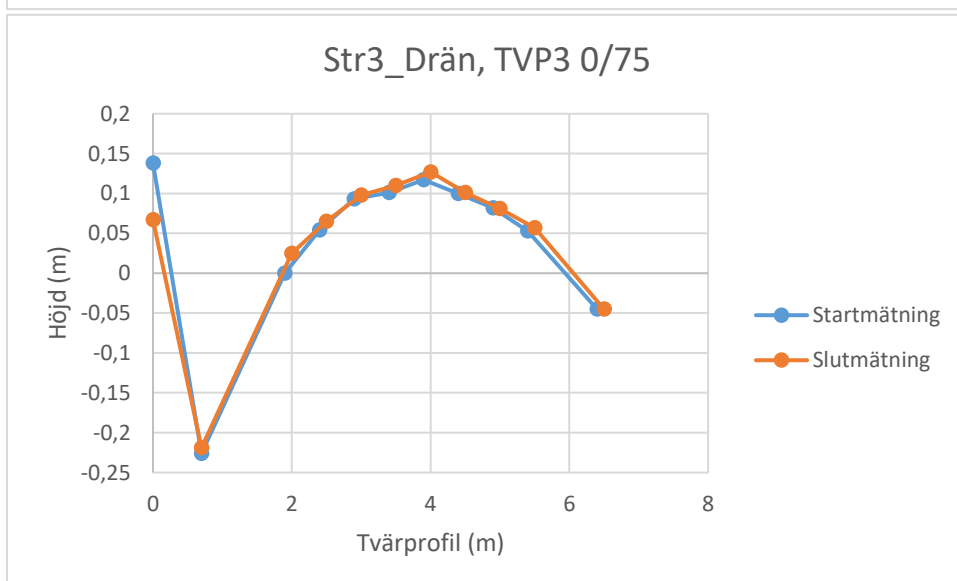
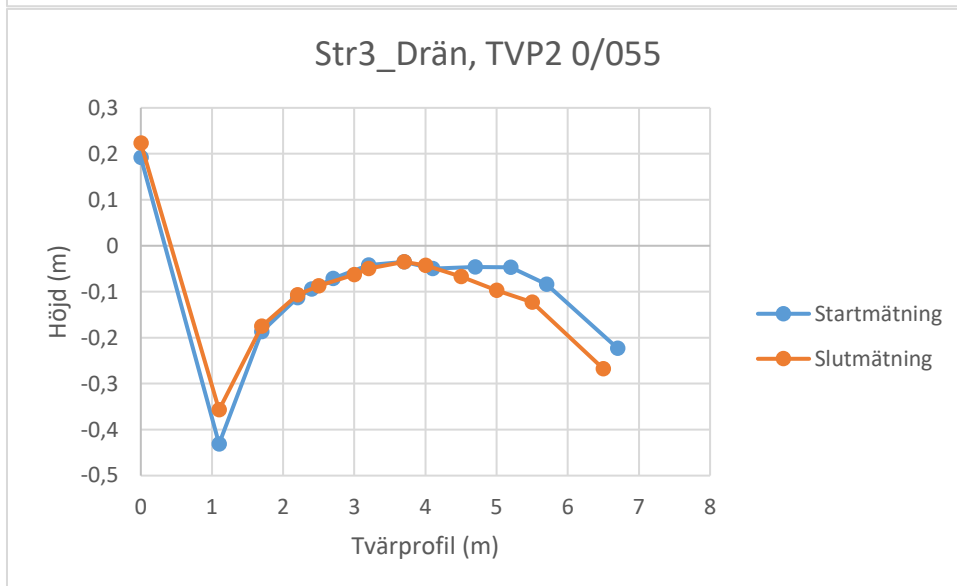
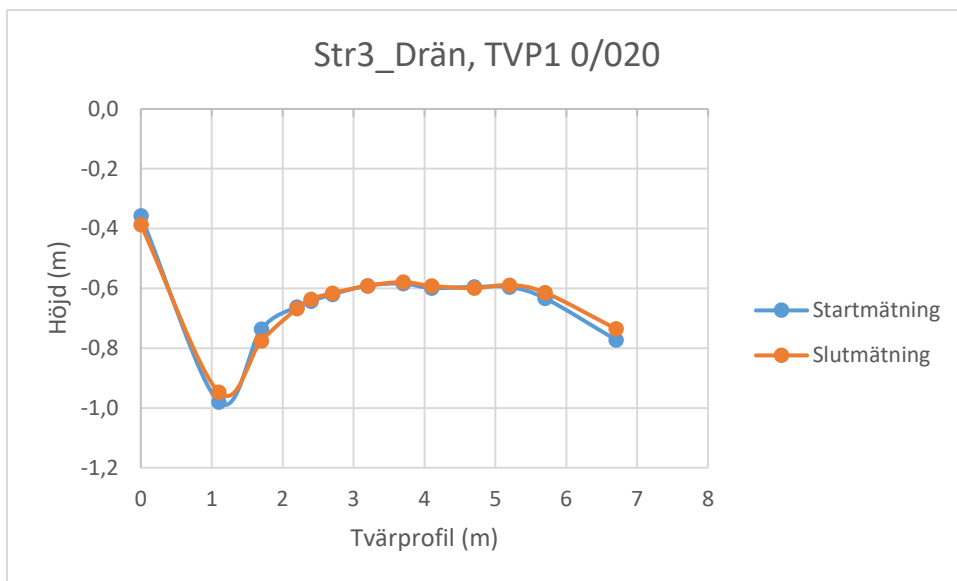


Figur 102: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 1 med stenmadrasser som byggdes av Kopparfors i Grängesberg.

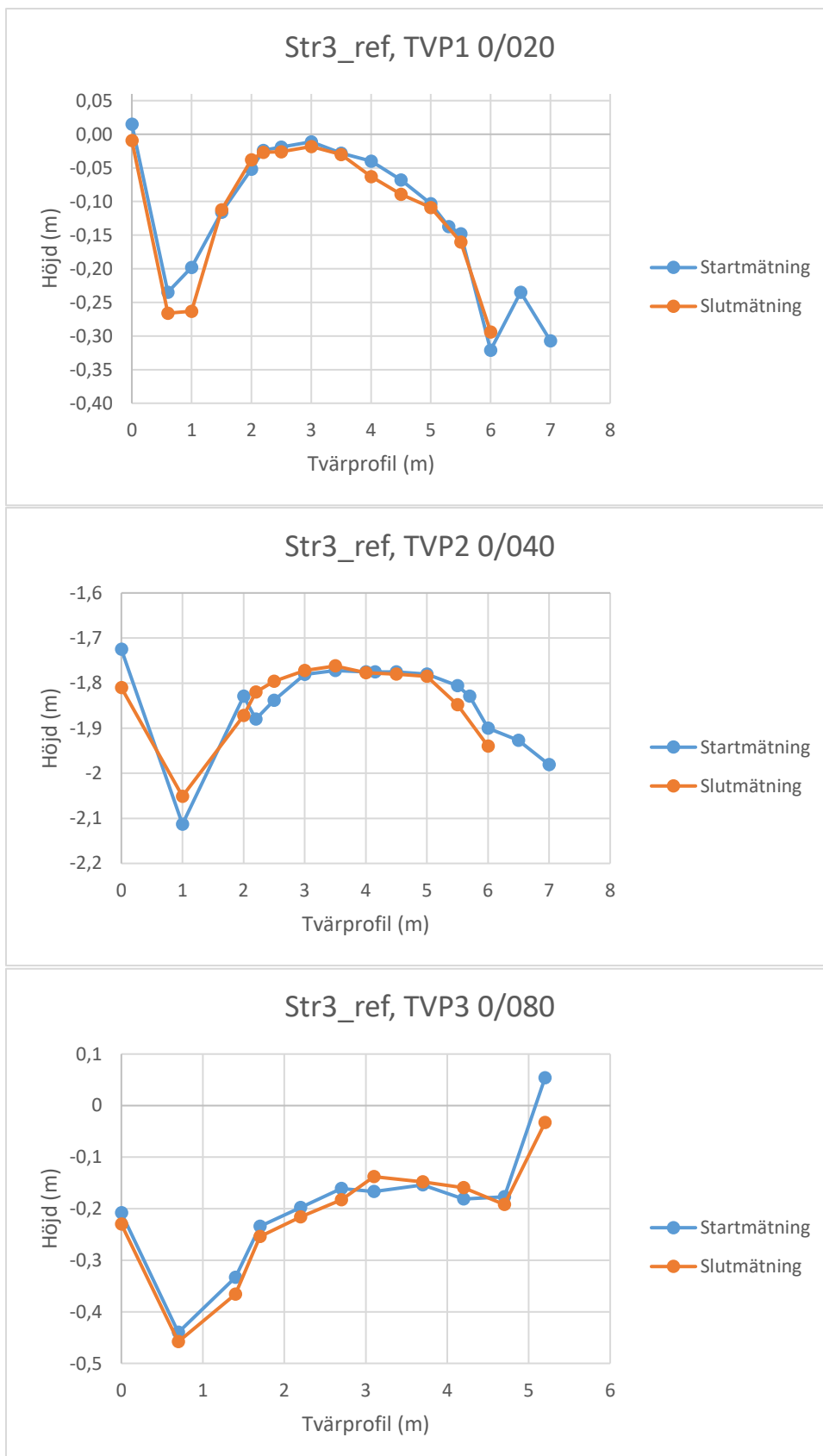


Figur 103: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 1 utan stenmadrasser som byggdes av Kopparfors i Grängesberg.





Figur 104: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 3 med stenmadrasser som byggdes av Kopparfors i Grängesberg.



Figur 105: Initiala och slutliga profilmätningar för vägsträcka 3 utan stenmadrasser som byggdes av Kopparfors i Grängesberg.

### 9.7.3. Okulär-inspektion för Kopparfors sträckor

Mätningar utfördes den 11–12 juni under växlande väderförhållanden med temperaturer mellan 20 och 25 grader under dagtid. Bedömningen av vägstatusen den 11-12 juni 2024 visade att regnet hade gjort vägen relativt fuktig, men ytan var torr vid bedömningen. På sträcka 1 fanns det stående vatten i diken, men ingen erosion noterades.

För sträcka 1 med stenmadrasser togs det foton runt varje mätpunkt, med ett avstånd på 20 meter mellan dem. Korrugering noterades inte, och inga potthål fanns. Vid spårbildningen, som kan ses i avvägningen, fanns det visuella tendenser till spår. Det lösa gruset var nedtryckt i vägen, vilket tydligt visade var trafiken hade gått, även om spåren inte var särskilt djupa. När det gäller damning var det svårt att bedöma på grund av fuktigheten i vägbanan, men de lösa stenarna var torra. Det fanns en hel del löst grus över hela vägbanan, särskilt vid vägkanterna, vilket tydligt framgår av bilderna, se figur 106.



*Figur 106: Okulär-inspektion av sträcka 1 (med dränering) i Grängesberg. Foton: Andreas Waldemarson, VTI.*



För referenssträckan 1 togs också foton runt varje mätpunkt med samma avstånd på 20 meter. Ingen korrugering eller potthål noterades här heller. Vid spårbildningen, som även den kan ses i avvägningen, samlades det lösa materialet vid vägkanterna, vilket gjorde att spåren verkade större. Damning var återigen svår att bedöma på grund av fuktigheten i vägbanan, men de lösa stenarna var torra. Det fanns löst grus både i vägkanterna och i mittpartiet, och det lösa gruset var mer nedtryckt i spåren. De gamla markeringarna från hösten 2023 var fortfarande synliga, trots det lösa gruset, se figur 107.



*Figur 107: Okulär-inspektion av sträcka 1 (utan dränering) i Grängesberg. Foton: Andreas Waldemarson, VTI.*



Sträcka 3 med dränering var längre än de första två sträckorna. Foton togs vid de platser där mätningar genomfördes, och det noterades att mittpartiet i vägen var mer löst, vilket observerades vid provtagningen av fuktprover. Korrugering noterades inte, och inga potthål fanns. Vid spårbildningen, som även den kan ses i avvägningen, fanns det lösa material som samlades vid vägkanterna, vilket gjorde att spåren verkade större. Det fanns mer grus i vägkanterna än på sträcka 1, och med blotta ögat kunde man se att spåren var något större här. Även avvägningen indikerade detta. Damning var återigen svår att bedöma, med fuktig vägbanan och torra lösa stenar. Det fanns löst grus både i vägkanterna och i vägmitt, och det lösa gruset var mer nedtryckt i spåren. De gamla markeringarna från hösten 2023 var fortfarande kvar, trots det lösa gruset. Denna sträcka var smalare och hade en del gräs i mitten av vägen, se figur 108.



*Figur 108: Okulär-inspektion av sträcka 3 (med dränering) i Grängesberg. Foton: Andreas Waldemarson, VTI.*



För referenssträckan 3 togs foton vid de ställen där mätningar utfördes. Mittpartiet i vägen noterades återigen vara mer löst. Korrugering noterades inte, och inga potthål fanns. Vid spårbildningen samlades det lösa materialet vid vägkanterna, vilket gjorde att spåren verkade större. Damning var svår att bedöma med fuktig vägbanan och torra lösa stenar. Det fanns löst grus både i vägkanterna och i vägmitt, och det lösa gruset var mer nedtryckt i spåren. De gamla markeringarna från hösten 2023 var fortfarande synliga, trots det lösa gruset, och denna sträcka var smalare med en del gräs i mitten av vägen, se figur 109.



*Figur 109: Okulär-inspektion av sträcka 3 (utan dränering) i Grängesberg. Foton: Andreas Waldemarson, VTI.*

## 9.8. Viktiga observationer, insikter och reflektioner för Kopparfors försök

När det gäller byggandet, varierade tidsåtgången för att anlägga stenmadrasserna med de aktuella förutsättningarna på respektive plats. Vid en terrasshöjd om ca en meter så var den genomsnittliga tidsåtgången ca 1,5 timme från påbörjat arbete till färdig stenmadrass.

Anläggandet av stenmadrasserna var relativt enkelt och det var lätt att förstå hur de olika arbetsmomenten skulle utföras. Arbetet med grävmaskinen gick smidigt, och utrullningen av geotextilen, följt av fyllningen med makadam, skedde utan några större hinder.

Testresultaten för stenmadrasser visade en förbättring av bärigheten (E-modul) jämfört med traditionell överbyggnad. På teststräcka 1, med ett avstånd på 40 meter mellan stenmadrasserna, ökade bärigheten med cirka 12 % jämfört med referenssträckan utan stenmadrasser. På sträcka 3, där avståndet mellan stenmadrasserna var 25 meter, ökade bärigheten med 23 % i den dränerade delen jämfört med den odränerade delen.

Profilmätningar genomfördes på vägsträckorna 1 och 3 före och efter trafik- och väderexponering för att analysera förändringar över tid. Resultaten visar att ingen märkbar spårbildning uppstod på sträckor med stenmadrasser och dränering, medan viss spårbildning observerades på referenssträckor utan stenmadrasser, särskilt under lastbilshjulen. Detta indikerar att stenmadrasser förbättrar vägens prestanda och minskar risken för spårbildning.

Vid den okulära inspektionen, noterades inga korrugeringar eller potthål på sträcka 1 med dränering, men vissa spår efter trafik, med löst grus som tryckts ner i vägen. Liknande förhållanden observerades på referenssträcka 1, där löst material samlades vid kanterna och spåren verkade större.

På sträcka 3 med dränering var mittpartiet mer löst, och spåren var något större, med mer grus vid vägkanterna. På referenssträcka 3 noterades liknande löst material i mitten och vid kanterna, och spåren framstod som större. Ingen korrugering eller potthål observerades på någon av sträckorna.

## 10. Kostnads- nyttoanalys

En kostnads- nyttoanalys är en process där nyttan av ett beslut eller en åtgärd vägs mot kostnaderna för att avgöra om det är värt att genomföra det.

Den metod som använts innebär att nyttan har definierats som den kostnad i kronor som man haft för att uppnå ökad bärighet, Evd i procent och i MPa. Jämförelserna har gjorts mellan start- och slutmätning. I de fall samma sträcka kunnat analyseras före och efter åtgärd är den presenterade absoluta förbättringen av Evd medelvärde av effekten i varje mätpunkt. Ett 90-procentigt konfidensintervall kan beräknas om man är intresserad av det. Dock har konfidensintervallet inte beräknats i alla åtgärder eftersom analysen kräver ett stort antal datapunkter för att vara pålitlig. När ingen mätning före åtgärd fanns att tillgå presenteras resultat som förbättring av medelvärden jämfört med aktuell referenssträcka.

I de olika delförsöken har olika vägsträckor olika vägbredder. För att kostnadsberäkningarna skall gå att jämföra med varandra har vägbredderna normerats till 4 meter. Normering har utförts genom att vägens verkliga bredd har dividerats med 4 m vilket ger en kvot som kostnaden i kr/meter väg (i längsled) divideras med.

Tabell 25: Normerad vägbredd för olika teststräckor

Försök	Vägbredd, m	Normeringskvot
Förbättrad dränering med Stenmadrasser (Kopparfors Skogar)	3,8	0,95
Förbättrad dränering med ökade bomberingsnivåer (SCA Skog)	4,75	1,1875
Stabilisering med Enzymer (Holmen Skog)	4,2	1,05
Stabilisering med Geocell/Geoweb (Stora Enso)	(sträcka 1 och 2) 4,7 (sträcka 3) 4,0	1,175 1,0
Justering av packningsnivåer (Sveaskog)	4,0	1,0

### 10.1. Förbättrad dränering med Stenmadrasser (Kopparfors Skogar)

Nytto-/kostnadsanalys har för Kopparfors Skogars försök med dräneringsmadrasser gjorts utgående från ökad bärighet i form av uppmätta elasticitetsmoduler, Evd för teststräckorna jämfört med referenssträckorna. Nyttan (bärighetsökningen) har därefter värderats i kronor per meter beroende av de anläggningskostnader som man redovisat för de olika sträckorna. Vid nyttoanalysen har använts både procentuell ökning av Evd och reell ökning i MPa. Notera att Kopparfors byggde fyra vägsträckor: sträcka 1 med dränering, sträcka 1 utan dränering, sträcka 3 med dränering och sträcka 3 utan dränering var 115, 85, 95 respektive 120 meter långa, se figur 100.

#### 10.1.1. Nytt-/kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Kopparfors försök

Kostnaderna för åtgärden har delats upp i två delar; kostnad för madrasser och kostnad för grusning av vägsträckorna. Kostnader för madrasserna har delats upp i Tabell 26.

Tabell 26: Kostnaderna för Kopparfors madrasser

	Kostnad, kr
Hjulgrävare	15 090
Markpersonal	9 200
Lastning och transport av makadam	7 921

	<b>Kostnad, kr</b>
<b>Markduk</b>	<b>9 100</b>
<b>Vibroplatta</b>	<b>520</b>
<b>Makadam, 70-150 mm</b>	<b>8 106</b>
<b>Totalt</b>	<b>49 937</b>

Vilket innebär en total kostnad om 49 937 kr. Denna kostnad kan delas upp på de sju stycken madrasser som anlades, vilket ger 7 134 kronor per madrass. Fördelat på de olika delsträckorna, sträcka 1 och 3, blir 21 401 respektive 28 535 kronor i och med att sträcka 1 har tre madrasser och sträcka 3, fyra madrasser. Kostnaderna för anläggning av madrasserna på de olika delsträckorna kan även uttryckas som 186,10 kr per meter väg för sträcka 1 och 300,37 kr per meter väg för sträcka 3. Vid beräkning kostnaderna normerad mot standardiserad vägbredd 4 m är kostnaderna för sträcka 1, med dränering och sträcka 3, med dränering 195,89 respektive 316,18 kr per meter väg. Tabell 27 visar kostnader för grusning med bärlager 0-32 mm på samtliga delsträckor, även referenssträckor.

*Tabell 27: Kostnader för grusning med bärlager 0-32 mm på Kopparfors samtliga delsträckor*

<b>Maskin typ/Material</b>	<b>Kostnad, kr</b>
<b>Lastmaskin L90H</b>	<b>2 564</b>
<b>Lastmaskin L60H</b>	<b>425</b>
<b>Transport av bärlager</b>	<b>3 465</b>
<b>Bärlaget, 0-32 mm</b>	<b>7 327</b>
<b>Totalt</b>	<b>13 781</b>

Det vill säga en total kostnad om 13 781 kronor, vilket fördelat på samtliga sträckor som tillsammans är 415 meter blir 333,21 kr per meter. Beräknad kostnad mot standardiserad vägbredd 4 m är 34,96 kr per meter väg.

Tabell 28 visar den totala kostnaden för de olika delsträckorna inklusive kostnad för grusning, normerad mot standardiserad vägbredd 4 m är:

*Tabell 28: De normerad totala kostnaden för Kopparfors delsträckor*

<b>Sträcka ID</b>	<b>Kostnader kr/m</b>
<b>Sträcka 1, med dränering</b>	<b>230,85</b>
<b>Sträcka 1, ref (utan dränering)</b>	<b>34,96</b>
<b>Sträcka 3, med dränering</b>	<b>351,13</b>
<b>Sträcka 3, ref (utan dränering)</b>	<b>34,96</b>

I dagsläget inte finns några erfarenhetstal för omräkning av mätvärden framtagna med lätt fallvikt till det inom skogsbruket vedertagna begreppet tillgänglighet. Däremot visar försöket att användning av dräneringsmadrasser ger en mätbart ökad Evd, procentuellt och i MPa, under de givna förhållandena. Övrig dokumentation, som avvägning av tvärsektioner, bilddokumentation och noteringar utförda av mättekniker vid mättillfället, stödjer tolkningar av åtgärdens nytta.

Nytto-kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Kopparfors försök kan man se i Tabell 29. I försöket har sträcka 1 med 3,19 MPa (12 %) ökad Evd en kostnad av 61,33 kr/m väg per ökad Evd i MPa och sträcka 3 med 4,27 MPa (23 %) ökad Evd en kostnad av 73,99 kr/m väg per ökad Evd i MPa.



Tabell 29: Nytto-kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Kopparfors försök

Sträcka ID	Kostnad <sup>1</sup> kr/m väg	Kostnad <sup>2</sup> kr/m väg exkl kostn. ref	Ändring i Evd, %	Ändring i Evd, % exkl. ref.	Ändring i Evd, MPa	Ändring i Evd, MPa exkl. ref.	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i procent enhet	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i MPa
Sträcka 1, med dränering	230,85	195,89	10,70	12,00	2,51	3,19	16,32	61,33
Sträcka 1, ref (utan dränering)	34,96		-1,30		-0,69			
Sträcka 3, med dränering	351,13	316,18	37,50	23,00	8,33	4,27	13,75	73,99
Sträcka 3, ref (utan dränering)	34,96		14,50		4,06			

### 10.1.2. Optimerad nytto-/kostnadsanalys för Kopparfors försök

För att kunna bedöma metodens framtida potential har bedömningar gjorts för vilka moment i försöket där det finns utrymme för kostnadsbesparingar, som metodutveckling, bättre nyttjande av maskin- och personalresurser, m.m.

Kopparfors Skogar bedömer att det vore en fördel om man i stället för en hjulgrävare kunde använda en tyngre bandgrävare. Detta för att en tyngre/starkare grävmaskin skulle kunna arbeta snabbare och dessutom inte bli fastlåst på den ena sidan av dikesgraven. Kopparfors Skogar bedömer också att den markpersonal som användes vid försöket går att rationalisera bort och att de moment som markpersonalen gjorde borde kunna utföras av grävmaskinisten. Man hade också tankar om att ballastmaterial borde kunna köras ut, till de olika platserna för dräneringsmadrasserna, i förväg för att undvika stillestånd/väntetider för transportör och grävmaskinist. En farhåga var dock att detta skulle kunna leda till spill vid överskott av ballast alternativt merarbete för kompletteringstransporter vid underskott av ballast.

Sammantaget gjordes bedömningen att byte av grävmaskin borde ge något kortare arbetstid, men att den större maskinen också har en högre timkostnad, vilket medför att det i denna beräkning bedöms att maskinkostnaden är densamma. Markpersonalen rationaliseras bort, men det arbete som denna har utfört måste i stället utföras av grävmaskinisten. Denna har en något högre timkostnad, mest p.g.a. att grävmaskinen står still. Däremot undviks stilltid/väntetid för markpersonal som måste vänta mellan de olika momenten vid anläggning av dräneringsmadrasserna. Genom denna rationalisering bedöms kostnaden för markpersonal halveras. I denna kostnadsmanställning kan inte utläsas några negativa kostnader p.g.a. stilltider/väntetider för ballastransporter, vilket medför bedömningen att några rationaliseringsvinster inte finns i just detta fall, se Tabell 30.

<sup>1</sup> Kostnad normerad mot standardiserad vägbredd, 4 m.

<sup>2</sup> Exkl. kostnad för åtgärder på referenssträcka.

Tabell 30: Beräkning av optimerade kostnader för madrasser

Maskin typ/ material	Kostnad, kr
Hjulgrävare	15 090
Markpersonal	4 000
Lastning och transport av makadam	7 921
Markduk	9 100
Vibroplatta	520
Makadam 70-150 mm	8 106
<b>Totalt</b>	<b>44 737</b>

Kostnaden är totalt om 44 737 kr. Likt tidigare beräkning kan denna kostnad delas upp på de sju stycken madrasser som anlades, vilket innebär 6 391 kronor per madrass. Fördelat på de olika delsträckorna, sträcka 1 och 3, blir det 19 173 för sträcka 1 respektive 25 564 kronor för sträcka 3 i och med att sträcka 1 har tre madrasser och sträcka 3, fyra madrasser. Kostnaderna för anläggning av madrasserna på de olika delsträckorna kan även uttryckas som 166,72 kr per meter väg för sträcka 1 och 269,09 kr per meter väg för sträcka 3. Vid beräknad kostnaderna normerad mot standardiserad vägbredd 4 m är kostnaderna för sträcka 1, med dränering och sträcka 3, med dränering 175,50 respektive 283,26 kr per meter väg.

Kostnader för grusning med bärlager 0-32 mm på samtliga delsträckor, även referenssträckor bedöms vara samma, det vill säga en total kostnad om 13 781 kronor, vilket fördelat på samtliga sträckor blir 33,21 kr per meter och vid normerad beräkning mot standardiserad vägbredd 4 m, 34,96 kr per meter, även vid en optimerad åtgärd.

Tabell 31 visar de totala optimerade kostnaden för de olika delsträckorna inklusive kostnad för grusning, normerad mot standardiserad vägbredd 4 m är:

Tabell 31: De totala optimerade kostnaden för Kopparfors delsträckorna

Sträcka ID	Kostnader kr/m
Sträcka 1, med dränering	210,45
Sträcka 1, ref (utan dränering)	34,96
Sträcka 3, med dränering	318,21
Sträcka 3, ref (utan dränering)	34,96

Bedömd möjlighet att sänka Kopperfor åtgärds-kostnader har beräknats till 54, 94 respektive 66,29 kr/m väg per ökad Evd i MPa, see Tabell 32.

Avslutningsvis, försöket har visat att metoden dräneringsmadrasser ger bärighetshöjande effekter. Kostnaden i kronor per meter väg är relativt hög, vilket medför att metoden torde vara begränsad till kortare svaga vägsträckor där bärigheten begränsas av hög fuktighet i terrassen och att det finns förutsättning att leda bort densamma.

Tabell 32: Nytto-/kostnadsanalys utgående från uppskattade/bedömda optimerade kostnader för Kopparfors försök.

Sträcka ID	Kostnad <sup>3</sup> kr/m väg	Kostnad <sup>4</sup> kr/m väg exkl kostn. Ref	Ändring i Evd, %	Ändring i Evd, % exkl. ref.	Ändring i Evd, MPa	Ändring i Evd, MPa exkl. ref.	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i procent enhet	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i MPa
Sträcka 1, med dränering	210,45	175,50	10,70	12,00	2,51	3,19	14,62	54,94
Sträcka 1, ref (utan dränering)	34,96		-1,30		-0,69			
Sträcka 3, med dränering	318,21	283,26	37,50	23,00	8,33	4,27	12,32	66,29
Sträcka 3, ref (utan dränering)	34,96		14,50		4,06			

## 10.2. Förbättrad dränering med ökade bomberingsnivåer (SCA Skog)

Nytto-/Kostnadsanalys av SCA Skogs försök med förbättrad dränering med ökade bomberingsnivåer har gett så skiftande resultat vid mätning av elasticitetsmodul att någon meningsfull kostnadsjämförelse inte går att genomföra. Däremot kan man, genom att jämföra annan dokumentation som avvägning av tvärsnitt, bildokumentation och noteringar utförda av mättekniker vid mättillfället bilda sig en uppfattning av åtgärdens nytta.

Kostnaderna för åtgärden består, vid sträckor 2 och 3, av kostnad för hyvling och vid sträcka 1 av kostnader för grusning och hyvling. Orsaken till detta är att bombering 10% inte gick att forma med bara väghyvel, utan extra ballast lades på för att ha material att bearbeta. Sammanställning av kostnaderna ser ut enligt Tabell 33.

Tabell 33: Sammanställning av kostnaderna för SCA Skogs försök.

Maskin typ/material	Sträcka 1, 10%	Sträcka 2, 5%	Sträcka 3, 0%
Sträckans längd, m	355 m	361 m	358 m
Väghyvel	1 050 kr	420 kr	420 kr
Grusning, 150 ton	22 500 kr		
<b>Totalt</b>	<b>23 550 kr</b>	<b>420 kr</b>	<b>420 kr</b>

I och med att det inte kommer att göras någon kostnadsjämförelse för detta projekt har någon beräkning mot normerad standardiserad vägbredd 4 m gjorts. Vid optimerad åtgärd utgås från att vägarna har tillräcklig överbyggnad av lämpligt material som går att forma, alternativt att vägen redan från början är anlagd med rätt bombering.

<sup>3</sup> Kostnad normerad mot standardiserad vägbredd, 4 m.

<sup>4</sup> Exkl. kostnad för åtgärder på referenssträcka.

Vid bombering 0% visar framför allt bilddokumentation och mätteknikerns noteringar allvarliga skador i form av potthål och längsgående sprickor. Skadorna är intet sätt överraskande då bombering/tvärfall på vägar är något som rekommenderats under lång tid för att förhindra att regn- och smältvatten blir kvar på körbanan, vilket leder till att fukt tränger sig ner i väggroppen och att det uppstår potthål när fordonens däck ”skvätter” upp partiklar från vägens slitlager.

Bombering 5% visar att vägbanan dräneras och denna metod visade sig vara enklast att åstadkomma för en normalt förekommande väghyvel. Detta eftersom vägen från början hade en viss bombering och för att man kunde bygga upp önskad bombering med befintligt vägmateriäl. Både Bilddokumentation och avvägning av tvärsektioner visar på obetydlig spårbildning, vilket indikerar god bärighet, åtminstone för de perioder som transporter har skett.

Bombering 10% visar också att vägbanan har dränerats. Vid genomförandet av försöket visade sig att 10% bombering vara svårt och framför allt kostsamt att åstadkomma. Detta eftersom det inte gick att forma vägen med befintligt materiäl i körbanan. Lösningen blev att det påfördes relativt stora mängder ballast som man kunde bygga upp bomberingen med. I och med att man vid försöket inte blandade de påförda ballasten med det ursprungliga materialet och dessutom inte kompakterade körbanan kan man tyvärr inte jämföra bärighetsrelaterade mätningar och observationer mellan bombering 5 och 10%. En hypotes är att den spårbildning som kan konstateras vid mätningar och som även går att urskilja från fotodokumentationen är att dubbelmonterade däck belastar vägen mer på insidan av däcken ju kraftigare bombering. I detta fall, när materiäl inte var kompakterat, borde effekten av ökad belastning på insidan av däcken medföra större spårbildning.

### 10.3. Stabilisering med Enzymer (Holmen Skog)

Nytto-/kostnadsanalys har för Holmen Skogs försök med stabilisering med enzymer gjorts utgående från ökad bärighet i form av uppmätta elasticitetsmoduler, Evd för teststräckorna jämfört med referenssträckan. Nyttan (bärighetsökningen) har därefter värderats i kronor per meter beroende av de kostnader som man redovisat för de olika sträckorna. Vid nyttoanalysen har använts både ökning av Evd, procentuell ökning och reell ökning i MPa. Notera att Holmen byggde fyra vägsträckor: sträcka 1 med (DUST/BLOKR®/ROAD//STABILIZR®), sträcka 2.1 referens, sträcka 2.2 referens med packning och sträcka 4 med Terrazym var 350, 200, 150 respektive 350 meter långa, se figur 38.

#### 10.3.1. Nytt-/kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Holmen försök

Vid beräkning av kostnader har dessa delats upp i gemensamma kostnader som berör de behandlade sträckorna. Därefter beräknas kostnaden för de, i försöket, använda enzymerna var för sig beroende på mängd och kostnad för de specifika enzymerna se Tabell 34 och Tabell 35.

Tabell 34: Gemensamma kostnader för sträcka 1 och 3 för Holmens försök.

Åtgärden	Kostnad, kr
Bevattning	1 425
Djuphyvling	3 360
Påföring av enzym och hyvelblandning	10 733
Kompaktering	5320
<b>Totalt</b>	<b>20 838</b>

Tabell 35: Kostnader för enzym, sträcka 1, Holmens försök.



Typ av stabilisering	Volym, l	Kostnad, EUR/l	Kostnad, EUR
DUST/BLOKR®	1 500	1,95	2 925
ROAD//STABILIZR®	5,5	250	1 250
Frakt			520
<b>Totalt</b>			<b>4 695</b>

Kostnaden har räknats om till SEK genom omräkningstalet 11,66712 (värdet av 1 EUR i SEK i medeltal i juni 2023, [www.riksbanken.se](http://www.riksbanken.se)). Kostnaden för enzym för sträcka 1 blir 54 777 kr och totalt med de gemensamma kostnaderna 75 615 kr, vilket ger en kostnad om 216,04 kr per meter väg. Vid beräknad kostnad normerad mot standardiserad vägbredd 4 m är kostnaden 205,76 kr per meter väg, se Tabell 36.

Tabell 36: Kostnader för enzym, sträcka 3, Holmens försök.

Typ av stabilisering	Volym, l	Kostnad USD/l	Kostnad, USD
Terrazym	20	3,5	70,00
Frakt			696,20
<b>Totalt</b>			<b>766,20</b>

Kostnaden har räknats om till SEK genom omräkningstalet 10,76308 (värdet av 1 USD i SEK i medeltal i juni 2023, [www.riksbanken.se](http://www.riksbanken.se)). Kostnaden för enzym för sträcka 3 blir 8 247 kr och totalt med de gemensamma kostnaderna 29 085 kr, vilket ger en kostnad om 83,10 kr per meter väg. Vid beräknad kostnad normerad mot standardiserad vägbredd 4 m är kostnaden 79,14 kr per meter väg.

Skillnaden mellan referenssträckorna 2.1 och 2.2 är att sträcka 2.2 har kompakterats. Detta medför att kostnaderna fördelas enligt Tabell 37.

Tabell 37: Kostnader för sträcka 2.1 och 2.2. Holmens försök.

Åtgärden	Sträcka 2.1	Sträcka 2.2
Bevattning	814 kr	611 kr
Djuphyvling	1 920 kr	1 440 kr
Kompaktering		2 280 kr
<b>Totalt</b>	<b>2 734 kr</b>	<b>4 331 kr</b>

Total kostnad för sträcka 2.1 respektive 2.2 är 2 734 och 4 331 kr. Fördelat per meter väg är kostnaden 13,67 respektive 28,87 kr. Vid beräknad kostnad normerad mot standardiserad vägbredd 4 m är kostnaderna för sträcka 2.1 och 2.2 13,02 respektive 27,50 kr per meter väg.

Vid kostnadsanalysen dras kostnaden för referenssträckan, sträcka 2.1 bort från de behandlade sträckorna, se Tabell 38 och Tabell 39.

Holmen Skogs sträcka 1 (DB/RS) uppnådde en ökning av Evd med 3,51 MPa (17,02 %), till en kostnad av 60,42 kr per meter väg per ökad MPa.

Sträcka 3 (TZ) visade en ökning av Evd med 2,43 MPa (11,42 %), till en kostnad av 27,22 kr per meter väg per ökad MPa.

Notera att Holmens vägsträck som stabiliserats med RS/DB har visat beständighet mot damm under flera månader och att effekten förväntas hålla i sig under en längre period. Denna minskning av damm har en positiv inverkan på hälsan. Dessa fördelar, tillsammans med potentiella kostnadsbesparingar till följd av minskat underhåll, har inte tagits med i den befintliga kostnads- och nyttoanalysen.

Holmen Skogs sträcka 2:2 (ref kompakterad) uppvisade en ökning av Evd med 4,24 MPa (20,52 %) jämfört med den okompakterade referenssträckan. Kostnaden för detta uppgick till 3,41 kr per meter väg och ökad MPa i Evd.

Tabell 38: Nytt-/kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Holmens försök när det gäller stabiliseringseffekt.

Sträcka ID	Kostnad <sup>5</sup> , kr/m väg	Kostnad <sup>6</sup> , kr/m väg	Ändring i Evd, %	Ändring i Evd, % minus referens	Ändring i Evd, MPa	Ändring i Evd, MPa exkl. ref.	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i procent enhet	Nytta, kostna d kr/m väg per ökad Evd i MPa
Sträcka 1, DB/RS	205,76	192,74	17,02	15,46	3,51	3,19	12,47	60,42
Sträcka 2:1, ref	13,02		1,56		0,32			
Sträcka 3, TZ	79,14	66,12	11,42	9,87	2,75	2,43	6,70	27,22

Tabell 39: Nytt-/kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Holmens försök (effekt av kompaktering)

Sträcka ID	Kostnad <sup>7</sup> kr/m väg	Kostnad <sup>8</sup> kr/m väg	Ändring i Evd, % jmf med referens slutmätning	Ändring i Evd, MPa jmf med referens slutmätning	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i procentenhet	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i MPa
Sträcka 2:1, ref	13,02					
Sträcka 2.2 ref kompaktera d	27,50	14,48	20,53	4,24	0,71	3,41

### 10.3.2. Optimerad nytto-/kostnadsanalys för Holmens försök

För att kunna bedöma metodens framtida potential har bedömningar gjorts om det skulle vara möjligt att rationalisera metoden för att på så sätt minska kostnaden och därmed öka nyttan av stabilisering med enzymer.

Om åtgärden görs under rätta väderbetingelser och med rätt utrustning borde besparingar kunna ske genom att bevattningsmetoden inte behöver utföras alls och djuphållningen borde kunna utföras med fyra överfarter. Påföring av enzym och inblandning av densamma i körbanans material var vid försöket ett krångligt och tidskrävande moment. Vi tror att det borde vara möjligt att göra detta mer rationellt där antalet överfarter minskas från 20 överfarter till 5 överfarter och att kompakteringen, förutom att

<sup>5</sup> Kostnad normerad mot standardiserad vägbredd, 4 m.

<sup>6</sup> Exkl. kostnad för åtgärder på referenssträcka.

<sup>7</sup> Kostnad normerad mot standardiserad vägbredd, 4 m.

<sup>8</sup> Exkl. kostnad för åtgärder på referenssträcka.

denna borde kunna utföras med en något billigare utrustning, dessutom borde gå att utföra genom 5 överfarter. Sammantaget innebär optimeringen stora kostnadsinbesparingar på maskinkostnader, medan kostnaderna för enzymen är desamma.

Kostnaderna för att utföra åtgärderna under rätt väderbetingelser och med rätt teknisk utrustning skulle kunna se ut enligt Tabell 40.

Tabell 40: Optimerade kostnader för Holmens försök.

Åtgärden	Sträcka 1 och 3	Sträcka 2.1	Sträcka 2.2
Djuphyvling	840 kr	480 kr	360 kr
Påföring av enzym och hyvelblandning	2 013 kr		
Kompaktering	1 138 kr		488 kr
<b>Totalt</b>	<b>3 990 kr</b>	<b>480 kr</b>	<b>848 kr</b>

För sträcka 1 och 3 tillkommer kostnaderna för enzym som bedöms vara samma som tidigare, 54 777 kr för sträcka 1 och 8 247 kr för sträcka 3. Total optimerad kostnad beräknas kunna vara 58 767 kr för sträcka 1, 480 kr för sträcka 2.1, 848 kr för sträcka 2.2 och 12 237 kr för sträcka 3. Kostnad kronor fördelat per meter väg blir 167,91 för sträcka 1, 2,40 för sträcka 2.1, 5,65 för sträcka 2.2 och 34,96 för sträcka 3. Vid beräknad kostnad normerad mot standardiserad vägbredd 4 m är kostnad kronor fördelat per meter väg 159,91 för sträcka 1, 2,29 för sträcka 2.1, 5,38 för sträcka 2.2 och 33,30 för sträcka 3.

Vid kostnadsanalysen dras, på samma sätt som vid tidigare beräkning, kostnaden för referenssträckan, Sträcka 2.1 bort från de behandlade sträckorna, se Tabell 41 och Tabell 42.

Tabell 41: Nytt-/kostnadsanalys utgående från uppskattade/bedömda optimerade kostnader för Holmens försök.

Sträcka ID	Kostnad <sup>9</sup> kr/m väg	Kostnad <sup>10</sup> kr/m väg	Ändring i Evd, %	Ändring i Evd, % **	Ändring i Evd, MPa	Ändring i Evd, MPa **	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i %	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i MPa
Sträcka 1, DB/RS	159,91	157,62	17,02	15,46	3,51	3,19	10,20	49,41
Sträcka 2:1, ref	2,29		1,56		0,32			
Sträcka 3, TZ	33,30	31,01	11,42	9,87	2,75	2,43	3,14	12,77

<sup>9</sup> Kostnad normerad mot standardiserad vägbredd, 4 m.

<sup>10</sup> Exkl. kostnad för åtgärder på referenssträcka.

Tabell 42: Nytto-/kostnadsanalys utgående från uppskattade/bedömda optimerade kostnader (effekt av kompaktering) för Holmens försök.

Sträcka ID	Kostnad <sup>11</sup> kr/m väg	Kostnad <sup>12</sup> kr/m väg	Ändring i Evd, % **	Ändring i Evd, MPa **	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i %	Nytta, kostnad kr/m väg per ökad Evd i MPa
Sträcka 2:1, ref	2,29					
Sträcka 2.2 ref kompakterad	5,38	3,10	20,53	4,24	0,15	0,73

Försöket visar att användning av de enzymer som användes i försöket ger en mätbart ökad Evd, procentuellt och i MPa, under rådande förhållandena. Den övriga omfattande dokumentationen som gjorts, med RST-mätning, drönarmätning, avvägning av tvärsektioner, bildokumentation och noteringar utförda av mättekniker vid mättillfället visar på små skillnader mellan de olika försöken.

Den referenssträcka som kompakterats visar också mätbar ökad Evd, procentuellt och i MPa, vilket innebär att enbart kompaktering är en mycket kostnadseffektiv metod för att öka bärigheten på vägar med rätt kornfördelningskurva och rätt vattenkvot.

Ett hållbarare bär- och slitlager har flera fördelar. Uppenbarligen minskar kostnaderna för underhåll, men andra sidan av samma mynt är att minskad plastisk deformation av vägen även leder till minskat rullmotstånd. På en skogsbilväg ligger rullmotståndskoefficienten typiskt mellan 0,01 och 0,02. Kan rullmotståndskoefficienten minskas med 10 procent innebär det på en genomsnittlig väg (rullmotståndskoefficient 0,012) att drivmedelsförbrukningen för ett fullastat timmerekipage minskar med runt 6 l/100 km. Hur mycket rullmotståndskoefficienten faktiskt minskar har dock inte kunnat undersökas i projektet.

## 10.4. Stabilisering med Geocell/Geoweb (Stora Enso)

Nytto-/kostnadsanalys har för Stora Ensos försök med Geocell/Geowebtabilisering gjorts utgående från ökad bärighet i form av uppmätta elasticitetsmoduler, Evd för teststräckorna jämfört med referenssträckan, vilken är byggd som en konventionell väg med krossat grus ovanpå en terrass med en materialavskiljande geotextil. Nyttan (bärighetsökningen) har därefter värderats i kronor per meter beroende av de bedömda kostnader som man redovisat för de olika sträckorna. Vid nyttoanalysen har använts både ökning av Evd, procentuell ökning och reell ökning i MPa. Notera att Stora Enso byggde tre vägsträckor: sträcka 1 med geoceller och krossat material, sträcka 2 med geoceller och sorterat material och sträcka 3 med krossat material utan geoceller var 170, 175 respektive 270 meter långa, se figur 79.

Försöket visar att användning av geocell/geoweb ger en mätbart mycket ökad Evd, procentuellt och i MPa, under de givna förhållandena. Särskilt med tanke på att referenssträcka har dubbelt så tjock överbyggnad som de båda teststräckorna. Trots detta har teststräckorna runt 50% högre Evd. Övrig dokumentation och erfarenheter från anläggningstillfället stödjer tolkningen av åtgärdens nytta.

### 10.4.1. Nytto-/kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Stora Ensos försök

De kostnader som redovisats för de olika delsträckorna är enligt Tabell 43.

<sup>11</sup> Kostnad normerad mot standardiserad vägbredd, 4 m.

<sup>12</sup> Exkl. kostnad för åtgärder på referenssträcka.

Tabell 43: Aktuella kostnader för Stora Ensos försök.

Sträcka ID	Kvadratmeter	Total kostnad
Sträcka 1 (geotextil, geocell, krossat material)	1000 m <sup>2</sup>	420 000 kr
Sträcka 2 (geotextil, geocell, sorterat material och krossat material)	1560 m <sup>2</sup>	620 000 kr
Sträcka 3 (geotextil, krossat material) - referenssträcka		570 000 kr

Sträcka 1 och två är båda anlagda med geocell, men till sträcka 2 har använts fler kvadratmeter geocell. För att sträckorna skall bli likvärdiga har kostnaderna beräknats per kvadratmeter, vilket ger 420 kr respektive 397 kr per kvadratmeter för sträcka 1 och 2. När kostnaderna har korrigerats för de olika storlekarna för geocellerna fås kostnad, kr per meter väg 2 470,60 och 2 271,06 för sträckorna 1 och 2. För sträcka 3, där geocell inte använts är kostnaden 2 111,11 kr per meter väg. Vid beräknad kostnad normerad mot standardiserad vägbredd 4 m är kostnad kronor fördelat per meter väg 2 102,63 för sträcka 1 och 1 932,82 för sträcka 2. För sträcka 3, som har vägbredd 4 meter sker ingen normering utan kostnaden förblir 2 111,11 kr per meter väg, se Tabell 44.

Tabell 44: Nytt-/kostnadsanalys utgående från faktiska kostnader för Stora Ensos försök

Sträcka ID	Kostnad <sup>13</sup> kr/m väg	Kostnadsbesparing, kr/m väg jmf med referens	Evd, Mpa vid slutmätning	Ändring i Evd, MPa jmf med referens slutmätning	Ändring i Evd, % jmf med referens slutmätning	Besparing kr/m väg per Evd-enhet	Nytta, total besparing i kr/m väg jmf med referens
Sträcka 1, (geotextil, geocell, krossat mtrl)	2 102,63	8,48	46,43	15,88	51,98	0,18	2,90
Sträcka 2, (geotextil, geocell, sorterat mtrl, krossat mtrl)	1 932,82	178,29	50,23	19,68	64,42	3,55	69,86
Sträcka 3, (geotextil, krossat mtrl)	2 111,11		30,55				

Stora Ensos sträcka 2, där geotextil, geoceller, sorterat material och krossat material har använts, visade en ökning av Evd med 19,68 MPa (64,42 %). Den totala besparingen jämfört med referenssträckan beräknades till 69,86 kr per meter vid försökstillfället.

Stora Ensos sträcka 1, där geotextil, geoceller och krossat bergmaterial har använts, visade en ökning av Evd med 15,88 MPa (51,98 %). Den totala kostnadsbesparingen vid försökstillfället beräknades till 2,90 kr per meter väg.

<sup>13</sup> Kostnad normerad mot standardiserad vägbredd, 4 m.



## 10.4.2. Optimerad nytto-/kostnadsanalys för Stora Ensos försök

Likt övriga projekt har en bedömning gjorts hur metoden skulle kunna utföras på ett optimalt sätt och vilka eventuella kostnadsminskningar som dessa kan ge. Stora Enso har bedömt att det finns en stor besparingspotential för planering och anläggning av de båda försökssträckorna. Stora Enso bedömer att sträcka 1 borde gå att anlägga till en kostnad av 170 000 kr och sträcka 2 till en kostnad av 265 000 kr.

Genom samma beräkningar som beskrivits tidigare för att ta hänsyn till olika mängds/yta geocell blir de optimerade kostnaderna, kr per meter väg 1 000 för sträcka 1 och 970,70 för sträcka 3. Vid beräknad kostnad normerad mot standardiserad vägbredd 4 m är kostnad kronor fördelat per meter väg 851,06 för sträcka 1 och 826,12 för sträcka 2, se Tabell 45.

För sträcka 3, referenssträckan bedöms det inte finns någon möjlighet att minska kostnaden.

Vid en nytto-/kostnadsanalys där optimerade kostnader används kan man se att kostnaden för nybyggnation av skogsbilväg, under de förhållanden som råder på platsen, blir billigare vid användning av geoceller. I och med att anläggningskostnaden blir lägre vid användande av geocell jämfört med konventionell anläggningsmetod är Nyttan, kostnad kr/m väg per ökad Evd ett olämpligt jämförelsetal. Därför har nytta definierats som kostnadsinbesparing kr/m väg jämfört med referenssträckan

Med tanke på att uppmätta värden av Evd är högre för delsträckorna med geoceller än för referenssträckan som man byggt på ”vanligt sätt”, men med dubbelt så tjock överbyggnad är vinsten dubbel, d.v.s. kostnaden är lägre och bärigheten högre med geocellerna.

För Stora Ensos sträcka 2 bedöms de potentiella besparingsmöjligheterna, vid optimala förhållanden, uppgå till 503,46 kr per meter väg jämfört med referenssträckan som anlagts med konventionella metoder.

För Stora Ensos sträcka 1 uppskattades de potentiella besparingarna, under optimala förhållanden, till 430,98 kr per meter väg jämfört med referenssträckan.

Tabell 45: Nytt-/kostnadsanalys utgående från uppskattade/bedömda optimerade kostnader för Stora Ensos försök.

Sträcka ID	Kostnad <sup>14</sup> kr/m väg	Kostnads- besparing, kr/m väg jmf med referens	Evd, Mpa vid slut- mätning	Ändring i Evd, MPa jmf med referens slutmätning	Ändring i Evd, % jmf med referens slutmätning	Besparing kr/m väg per Edv- enhet	Nytta, total besparing i kr/m väg jmf med referens
Sträcka 1, (geotextil, geocell, krossat mtrl)	851,06	1 269,05	46,43	15,88	51,98	27,14	430,98
Sträcka 2, (geotextil, geocell, sorterat mtrl, krossat mtrl)	826,12	1 284,99	50,23	19,68	64,42	25,58	503,46
Sträcka 3, (geotextil, krossat mtrl)	2 111,11		30,55				

<sup>14</sup> Kostnad normerad mot standardiserad vägbredd, 4 m.

## 10.5. Packning med hjälp av tung vältkompaktor (Sveaskog)

Nytto-/Kostnadsanalys av Sveaskogs försök med justering av packningsnivåer har gett så pass skiftande resultat vid mätning av elasticitetsmodul att någon meningsfull kostnadsjämförelse inte går att genomföra. Orsaken till den uteblivna effekten av kompaktering bedömer vi beror på en kombination av undergrundens beskaffenhet, överbyggnadens kornfördelning och fuktighet vid kompakteringen som diskuterat under avsnitt 7.7.

Inom detta projekt har vi ett exempel på kompakteringens bärighöjande effekter i samband med Holmen Skogs försök för ostabiliserad sträcka. En av referenssträckorna kompakteras medan andra var okompakteras och vid mätning av Evd har kompakteringen gett en ökning av Evd med drygt 20%. Orsaken till denna höjning bedöms vara att andelen finjord i terrass och överbyggnad är hög och att vägen hade en hög fuktighet vid kompakteringstillfället.

I tidigare studier (Skogforsk, Arbetsrapport 917-2016 och 964-2018) har kompaktering av grusväg påvisats ge 16% högre CBR-värde (California Bearing Ratio) jämfört med okompakterad väg.

Dock, är de kostnader som redovisats för Sveaskogs delsträckor enligt Tabell 46.

I och med att det inte kommer att göras någon kostnadsjämförelse för detta projekt har någon beräkning mot normerad standardiserad vägbredd 4 m gjorts.

Tabell 46: Sammanställning av kostnaderna för SCA Skogs försök.

Maskin typ /Material	Sträcka 1	Sträcka 2	Sträcka 3	Sträcka 4
Längd, m	250	250	250	250
Terrassering, kr/m			143,88	143,88
Kompaktering, terrass kr/m			16,16	16,16
Grustransport, kr/m	75,15	75,15	110,30	110,30
Gruskostnader, kr/m	28,93	28,93	28,93	28,93
Kompaktering överbyggnad, kr/m	16,16		16,16	
Summa, kr/m	120,24	104,08	315,43	299,27

---

## 11. Slutsatser

---

Inom ramen av detta projekt har fem lösningar implementerats för att snabbt utveckla skogsbilvägar i Sverige. Dessa lösningar inkluderar stabilisering genom att öka vägens krönlutning (bombering) implementerad av SCA, stabilisering med låg miljöpåverkan tillsatser implementerad av Holmen, packning med hjälp av tung vältkompaktor implementerad av Sveaskog på sandigt vägmateriale och av Holmen på lerigt vägmateriale, stabilisering av skogsbilväg med Geoceller genomfört av Stora Enso och stabilisering genom förbättrad dränering med hjälp av stenmadrasser genomfört av Kopparfors. Alla dessa fem lösningar har gett positiva resultat och visat sig vara effektiva för att stabilisera skogsvägar men tänk på att framgången och nyttan med att öka bärigheten eller vägens prestanda för varje valde lösning beror på många faktorer, särskilt den valda lösningens lämplighet för vägmaterialet som ska stabiliseras.

Till exempel har lösningen med ökad packning ökat bärigheten för leriga vägmateriale med 20% med hänvisning till den referensvägsträcka som implementerades av Holmen, medan ingen ökning av bärigheten kunde noteras när samma lösning med ökad packning implementerades på sandjord av Sveaskog. Detta kan också bero på att vattenkvoten inte var lämplig under packningen.

Stabilisering med enzymer kräver också tillräcklig lerfraktion och materialegenskaper för att vara fruktbart för att öka bärförmågan hos det stabiliserade materialet, som i fallet med Holmens pilotvägmateriale när det undersöktes på laboratoriet för att verifiera dess lämplighet för enzymstabilisering.

Bland de metoder och utrustningar som användes under tillståndsbedömning för varje pilotväg före och efter trafik- och väderpåverkan har det konstaterats att för fyra av de valda lösningarna, nämligen stabilisering med enzymer, ökad packning, stabilisering med geoceller och stabilisering med stenmadrasser, var bedömningen med hjälp av lätt fallvikt lämplig och man kunde få kvantifierade resultat för jämförelse. För bombering åtgärd fluktuerade resultaten från lätt fallvikt medan den okulära traditionella inspektionen har visat sig vara tillräcklig bra och lämplig för att bedöma vägenstillstånds istället för lätt fallvikt. Till exempel hade vägsträckan med 0% bombering som byggdes av SCA många gropar och långsgående sprickor som inte kunde återspeglas via Evd-mätning genom lätt fallvikt och den höga bomberingen på 10% kan också ha påverkat resultaten från lätt fallvikt.

Dock, den okulära inspektionen kvantifierar dock vanligtvis inte bedömningen, så ingen kostnadsnyttoanalys kunde utföras för SCA:s pilotväg. Kostnadsnyttoanalysen har därför utförts på fyra av fem valda lösningar, nämligen ökad packning för Holmens referenssträcka, stabilisering med geoceller med Stora Enso, enzymstabilisering med Holmen och stabilisering med stenmadrasser med Kopparfors. Observera att kostnads-nyttoanalysen inte har utförts för Sveaskogs åtgärd med ökad packning eftersom ingen ökning av bärigheten rapporterades med ökad packning för detta försök.

Som slutsats, störst nytta av samtliga delprojekt, har uppnåtts på Stora Ensos sträcka 2 (geotextil, geocell, sorterat mtrl, krossat mtrl) där geocellerna fyllts med sorterat materiale med 19,68 MPa (64,42 %) ökad EVD. Total besparing jämfört med referenssträckan har beräknats till 69,86 kr/m vid försökstillfället och kostnadsbesparingen bedöms vid optimala förhållanden kunna vara 503,46 kr/m väg jämfört med referenssträckan som är anlagd enligt konventionella metoder.

Näst högst nytta har uppnåtts av Stora Ensos sträcka 1 (geotextil, geocell, krossat mtrl) där väg byggts med geoceller fyllda med krossat bergmateriale med 15,88 MPa (51,98 %) ökad EVD. Totala kostnadsbesparingen beräknades till 2,90 kr/m väg vid försökstillfället och de uppskattade besparingsmöjligheterna, vid optimala förhållanden bedömdes vara 430,98 kr/m väg jämfört med referenssträckan.

Båda Stora Ensos försök sticker ut i och med att de, förutom att ge högre bärighet, dessutom gav lägre anläggningkostnad än referenssträckan.

Holmen Skogs sträcka 2:2 (referenssträcka kompakterad med tungvält) visade en relativt hög ökning av Evd till låg kostnad jämfört med den opackade referenssträckan 2:1. På den komprimerade sträckan uppmättes en ökning av Evd med 4,24 MPa (20,52 %) jämfört med den okompakterade sträckan. Kostnaden för denna ökning uppgick till 3,41 kr per meter väg och ökad Evd i MPa.

I de två delprojekt som genomfördes av Holmen skog, stabilisering med enzymer och Kopparfors Skogar, dränering med stenmadrasser uppnåddes bärighetshöjande effekt, men inte en kostnadsbesparing. Detta innebär att Nyttan definieras som kostnad, kr/m väg. Av dessa projekt och delsträckor har lägst kostnad i förhållande till erhållen bärighetshöjning uppnåtts av Holmen Skogs sträcka 3, TZ med 2,43 MPa (11,42 %) ökad Evd till en kostnad av 27,22 kr/m väg per ökad Evd i MPa och med möjlighet att minska kostnaden ytterligare till 12,77 kr/m väg per ökad Evd i MPa. Notera att Holmens vägsträck som stabiliserats med RS/DB har visat beständighet mot damm under flera månader och att effekten förväntas hålla i sig under en längre period. Denna minskning av damm har en positiv inverkan på hälsan. Dessa fördelar, tillsammans med potentiella kostnadsbesparingar till följd av minskat underhåll, har inte tagits med i den befintliga kostnads- och nyttoanalysen.

När det gäller lätt fallvikt mätningar, för att förbättra förståelsen och användningen av Evd-värden, är det viktigt att undersöka hur Evd förändras med vattenkvot, materialtyp och belastning. Genom att analysera dessa faktorer kan man få en djupare insikt i hur vägmaterialets egenskaper påverkar dess bärförmåga och hur dessa variabler samverkar i praktiken. Det är också viktigt att utforska hur Evd-värden kan användas effektivt för att bedöma tillståndet på grusvägar. Att dra nytta av Evd i tillståndsbedömning kan bidra till mer precisa och informerade beslut om underhåll och förbättringar av grusvägar, vilket i sin tur kan leda till mer hållbara och kostnadseffektiva vägunderhållsstrategier.

---

## Referenser

---

- Bergqvist M., och Eliasson L. (2018): "Jämförande studie av olika metoder för packning av skogsbilvägar". Arbetsrapport 964-2018, Skogforsk.
- Bergqvist, M., Björheden R., och Eliasson L. (2016): "Kompakteringseffekter på skogsbilvägar", Arbetsrapport 917-2016, Skogforsk.
- Craig, R.F. (1992): "Soil mechanics", 5th edition. Chapman & Halls, New York, N.Y. 427 p.
- Holtz, R.D.; Kovacs, W.D. (1981): "An introduction to geotechnical engineering", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. 733 p.
- Kodikara, J., Islam, T. and Sounthararajah, A. (2018): "Review of soil compaction: History and recent developments", *Transportation Geotechnics*, Volume 17, Part B, Pages 24-34.  
<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.09.006>
- Kuttah, D. (2016): "The Performance of a Trial Gravel Road under Accelerated Pavement Testing", *Transportation Geotechnics*, Elsevier Publications, Vol. 9, pp. 161-174.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221439121630072> .
- Kuttah, D. and Arvidsson, H. (2017): "Effect of Groundwater Table Rising on the Performance of a Swedish-Designed Gravel Road", *Transportation Geotechnics Journal*. Elsevier Publications, Vol. 11, pp. 82-96. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391216301064>
- Kuttah, D. and Waldemarson, A. (2024): "Next generation gravel road profiling – The potential of advanced UAV drone in comparison with road surface tester and rotary laser levels", *Transportation Engineering*, Vol. 27. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100260>
- L. Banerjee, S. Chawla, S.K. Dash (2023): "Investigations on cyclic loading behavior of geocell stabilized tracks with coal overburden refuse recycled as subballast material", *Transportation Geotechnics* 40.  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391223000429?casa\\_token=Tx5wTJ-bNgQAAAAA:0tFma-4YKAWvsoSQnz6YfH-hNo3sA8Jxm3bIlX4Uj52XdVfZBIx\\_ODUj7IvgqdKIP31oPG-wQ](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391223000429?casa_token=Tx5wTJ-bNgQAAAAA:0tFma-4YKAWvsoSQnz6YfH-hNo3sA8Jxm3bIlX4Uj52XdVfZBIx_ODUj7IvgqdKIP31oPG-wQ)
- Riksdagsrapport RFR16 (2018): "Järnvägstunnilar och skogsbilvägar – en uppföljning av klimatanpassningsåtgärder för infrastruktur", ISBN 978-91-88607-51-5, Riksdagstryckeriet, Stockholm, 2018. <https://data.riksdagen.se/fil/6EDE1B41-F7A7-458E-8E42-B3CB2F900B37>.
- Selig, E.T. (1982): "Compaction procedures, specifications, and control considerations", Transportation Research Board, Washington, D.C. Transportation Res. Record 897. 8 p.
- SS 027120 (1990): "Geotechnical test methods – Liquid limit), version 2, SIS Standardization commission in Sweden, SIS - Building and construction, Stockholm.
- SS 027121 (1990): "Geotechnical tests - Plastic limit), version 2, SIS Standardization commission in Sweden, SIS - Building and construction, Stockholm.
- SS-EN 1097-6 (2013): "Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper - Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption", SIS, Svenska institutet för standarder, Stockholm.



SS-EN 13286-2 (2010): “Obundna och hydrauliskt bundna vägmateriäl - Del 2: Provningsmetod för laboratoriemässig bestämning av referensdensitet och vatteninnehåll - Proctorinstampning”, SIS, Svenska institutet för standarder, Stockholm.

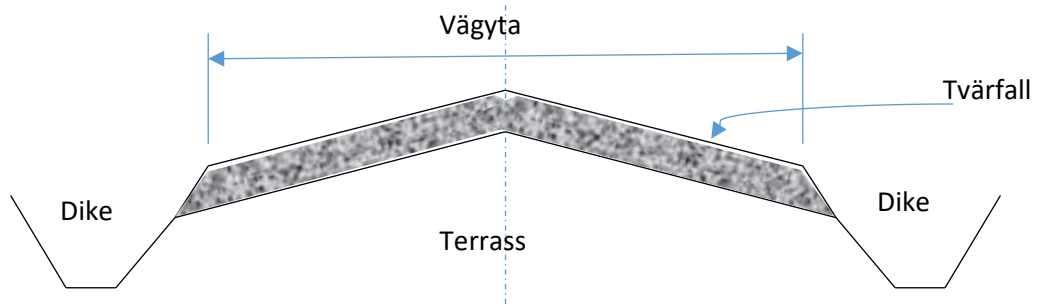
SS-EN 933-1 (2012): “Ballast - Geometriska egenskaper - Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning - Siktning”, SIS, Svenska institutet för standarder, Stockholm.

Zhao, Y.; Lu, Z.; Liu, J.; Yao, H.; Tang, C.; Nie Y. and Zhang J. (2024): “Creep behavior and viscoelastic-plastic models for polymer-blend HDPE geocell sheets based on the stepped isothermal method”, *Geotextiles and Geomembranes* 52 (2024) 132–144.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266114423000845#bib3>



### Cross Section (Vägutformning)



Location	Measurements	Note

### Corrugation (tvättbräda)

Location	Measurements	Note

### Potholes (Slaghål / potthål)

Potholes –depressions caused when gravel worn away or soft spots in underlying soils.

Are potholes of size ( 2"-4" ) cover 10-25% of area?



Foto: Håkan Arvidsson, VTI.

Location	Measurements	Note

**Rutting (Spårbildning)**

Location	Measurements	Note

**Dust (Vägdamm)**

Location	Measurements	Note

**Loose aggregate (Löst grus)**

Loose aggregate –caused by a loss of fines through dust action or erosion (from an improper gravel mixture).

Foto: Håkan Arvidsson, VTI.



Location	Measurements	Note

**Leveling:**

Location	Measurements	Note

**Photos should be taken:** Ensure clear and well-angled photos are captured to document conditions and provide visual support for the measurements.

**Additional measurements when necessary:** Perform supplementary measurements to verify or refine data accuracy as required by project specifications or unexpected conditions.



## Bilaga 2 Safety data sheets for Road//stabilizir



### SAFETY DATA SHEET

Product Name: ROAD//STABILIZR®  
This revision issued: 5

May 2021

## ROAD//STABILIZR®

### SECTION 1: IDENTIFICATION

Product Name:	ROAD//STABILIZR®
Synonyms:	RS
CAS Number:	See Section 3
Product Use:	A water-based nonhazardous, environmentally friendly, and biodegradable liquid used for soil stabilization.
Manufacturer/Supplier:	Cypher Environmental Ltd.
General Information:	WHMIS Classification: Not Controlled
Address:	Cypher Environmental Ltd. 1149 St. Matthews Ave. Winnipeg Manitoba R3G 0J8 Canada
Emergency Number:	Tel: +1(204)-489-1214

### Section 2: HAZARD IDENTIFICATION

Health Environmental Physical:	Biodegradable
Acute Toxicity:	Non-Toxic, pathogen free.
Skin/Eye Corrosion:	Contact with skin may result in mild irritation.
Mutagenicity/ Carcinogenicity:	Non-mutagenic and non-carcinogenic None of the ingredients in ROAD//STABILIZR® are regulated nor listed as potential cancer agents by Federal OSHA, NTP or IARC.
Reproductive/ Developmental:	Not Determined
Target Organ Toxicity (Repeated):	Not Determined
Toxicity:	Non-Toxic, pathogen free

Phone: (204) 489-1214  
Toll Free (North America): (877) 776-1585  
cypherenvironmental.com

@CypherEnv  
@cypherenvironmental  
@CypherEnvironmental

DUST CONTROL  
SOIL STABILIZATION



GHS Label:



Signal Word: DANGER!

Hazard Statements:

WHMIS HAZARD RATING INFORMATION	FLAMMABILITY	HEALTH	REACTIVITY
0-Minimal 1-Slight 2-Moderate 3-Serious 4-Severe	0	1	0

**Section 3: COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS**

Unique Identifiers:

INGREDIENTS	%	CAS Number
Water	21.06	7732-18-5
Non-ionic Surfactants	55	68131-39-5 103818-93-5 68551-13-3 68439-46-3
Polysaccharides	2	9005-25-8
Oligosaccharides	3	9004-53-9
Disaccharides	5	57-50-1 69-79-4 63-42-3
Monosaccharaides	8	50-99-7 57-48-7 59-23-4 50-70-4
Lactic Acid	3.5	50-21-5
Potassium as the chloride	1.2	7447-40-7
Aluminum as the sulphate	0.04	10043-01-3
Magnesium as the sulphate	1.2	10034-99-8
Total	100%	

Phone: (204) 489-1214  
Toll Free (North America): (877) 776-1585  
cypherenvironmental.com

@CypherEnv  
 @cypherenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**



**Section 4: FIRST AID MEASURES**

Eye:	A slight eye irritant.
Skin:	Contact with skin may result in mild irritation.
Inhalation and Ingestion:	Considered non-harmful by all exposure routes.
Signs and Symptoms of Exposure:	None. Ingestion may cause mild nausea or diarrhea.

**Section 5: FIRE FIGHTING MEASURES**

Suitable Extinguisher Media:	Treat the same as water
Fire Fighting Procedures:	Isolate fire area and deny unnecessary entry, soak thoroughly with water to cool and prevent re ignition. Cool surroundings with water to localize fire zone. Handheld carbon dioxide or dry chemical hazard may result from forceful application of fire extinguishing agents.

**Section 6: ACCIDENTAL RELEASE MEASURES**

PPE:	Eye: Safety goggles (Respirator is not required) Clothing: Regular On-Site clothing
Emergency Procedures:	In case of accidental spill or discharge, take up and containerize for disposal according to state and local regulations. This product displays ultimate biodegradability under both aerobic and anaerobic conditions and if spilled should not cause any adverse short- or long-term environmental impacts. Ventilation requirements as normal
Methods and Materials for Containment and Cleaning up:	For smaller spills, wash contaminated area with water and flush into sewage system or any other disposal system. For large spills, soak up with sand or sweeping compound and dispose at solid waste

**Section 7: HANDLING AND STORAGE**

Handling:	<b>Keep container closed when not in use.</b>
Storage:	<p><b>Storage Temperature (Degrees C/F)</b> Minimum: 10 °C (50 °F) Maximum: 30 °C (86 °F)</p> <p><b>Application Temperature:</b> Minimum: 10 °C (50 °F) Maximum: 57 °C (135 °F)</p> <p><b>Optimum Working/Application Temperature Range:</b> 18-45 °C (64-113 °F)</p> <p><i>* Store product in an area that is not exposed to direct sunlight and in an environment within conditions stated above. EZ is also freeze-thaw stable. However, freezing is not recommended</i></p>

Phone: (204) 489-1214  
Toll Free (North America): (877) 776-1585  
cypherenvironmental.com

 @CypherEnv  
 @cypherenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**



**Section 8: EXPOSURE TO CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION**

OSHA PEL's:	Not Applicable
Exposure Limits:	EarthZyme presents no health hazards to the user, other than mild eye and skin irritancy.
Engineering Controls:	No specific engineering controls needed; it is recommended to handle concentrated product in a well-ventilated area.
Eye Protection:	Safety goggles avoid eye contact or exposure to concentrated amounts of product.
Skin Protection:	Regular on-Site clothing, rinse from skin when exposed to product
Respiratory Protection:	Respirator: Not applicable, ventilation as normal

**Section 9: PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**

Flashpoint:	Not flammable; not combustible
Auto Ignition:	None
Boiling Point:	>100°C
Melting Point:	Liquid
Freezing Point:	<0°C
Vapor Pressure:	As for water
Miscibility with water:	Miscible in all proportions
Solubility in Water:	Soluble
Lower and Upper Flammability Limits:	Not flammable
Density:	~1.19 g/cm <sup>3</sup> @ 25 °C
pH:	3 to 6
Ultimate Biodegradability:	DOC reduction >90% after 28 days

Phone: (204) 489-1214  
Toll Free (North America): (877) 776-1585

 @CypherEnv  
 @cypherenvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**





Appearance:	Pale green/brown slightly viscous liquid
Odor:	Herbal scent
Composition:	A blend of fermented carbohydrates, inorganic salts, and surfactants

**Section 10: STABILITY AND REACTIVITY**

Stability/Incompatibility:	Stable for a minimum of two years when stored in proper conditions (see above Section 7)
Hazardous Reactions/Decomposition Products:	Not determined
Reactivity:	Not determined
Chemical Stability:	Stable
Conditions to Avoid:	Storage above 50°C (120°F) or below 0°C (32°F). Avoid contact with strong oxidizing and reducing agents.
Incompatible Materials:	None
Hazardous Decomposition Products:	Not determined, None

**Section 11: TOXICOLOGICAL INFORMATION**

Signs, Symptoms of Over Exposure and First Aid Treatment:	<p><b>Eye Contact:</b> Reddening may develop. Immediately rinse the eye with large quantities of cool water. Continue 10-15 minutes or until material has been removed. Be sure to remove contact lenses, if present, and lift upper and lower lids during rinsing. Get medical attention if irritation persists.</p> <p><b>Skin Contact:</b> Minimal effects, if any. Rinse skin with water. Rinse shoes and launder clothing before reuse.</p> <p><b>Swallowing:</b> Essentially non-toxic. Product may cause a slight laxative condition. Give several glasses of water to dilute if swallowed. Do not induce vomiting. If stomach upset persists, consult a physician.</p> <p><b>Inhalation:</b> Non-toxic. Prolonged exposure to product in a mist form (not recommended) could cause a mild irritation of the nasal passages and throat. Remove to get fresh air. Get medical attention if irritation persists.</p>
---	---

Phone: (204) 489-1214  
Toll Free (North America): (877) 776-1585  
cypherenvironmental.com

 @CypherEnv  
 @cypherenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**





Appearance:	Pale green/brown slightly viscous liquid
Odor:	Herbal scent
Composition:	A blend of fermented carbohydrates, inorganic salts, and surfactants

**Section 10: STABILITY AND REACTIVITY**

Stability/Incompatibility:	Stable for a minimum of two years when stored in proper conditions (see above Section 7)
Hazardous Reactions/Decomposition Products:	Not determined
Reactivity:	Not determined
Chemical Stability:	Stable
Conditions to Avoid:	Storage above 50°C (120°F) or below 0°C (32°F). Avoid contact with strong oxidizing and reducing agents.
Incompatible Materials:	None
Hazardous Decomposition Products:	Not determined, None

**Section 11: TOXICOLOGICAL INFORMATION**

Signs, Symptoms of Over Exposure and First Aid Treatment:	<p><b>Eye Contact:</b> Reddening may develop. Immediately rinse the eye with large quantities of cool water. Continue 10-15 minutes or until material has been removed. Be sure to remove contact lenses, if present, and lift upper and lower lids during rinsing. Get medical attention if irritation persists.</p> <p><b>Skin Contact:</b> Minimal effects, if any. Rinse skin with water. Rinse shoes and launder clothing before reuse.</p> <p><b>Swallowing:</b> Essentially non-toxic. Product may cause a slight laxative condition. Give several glasses of water to dilute if swallowed. Do not induce vomiting. If stomach upset persists, consult a physician.</p> <p><b>Inhalation:</b> Non-toxic. Prolonged exposure to product in a mist form (not recommended) could cause a mild irritation of the nasal passages and throat. Remove to get fresh air. Get medical attention if irritation persists.</p>
---	---

Phone: (204) 489-1214  
Toll Free (North America): (877) 776-1585  
cypherenvironmental.com

 @CypherEnv  
 @cypherenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**



**Section 12: ECOLOGICAL INFORMATION**

Bio Accumulative Potential: The product exhibits ultimate biodegradability under anaerobic conditions as defined by US EPA methods (40 CFR parts 796.3180).

**Section 13: DISPOSAL CONSIDERATIONS**

See Section 6

**Section 14: TRANSPORTATION INFORMATION**

This product is non-toxic, transport in conditions described in Section 7 above.  
**INTERNATIONAL AIR TRANSPORTATION ASSOCIATION:** this product is not regulated by IATA, when shipped internationally.

**Section 15: REGULATORY INFORMATION**

**SARA/TITLE III - CERCLA List of Hazardous Substances and Reportable Quantities (40 CFR 304.4):** This product **does not** contain an ingredient(s) listed as a hazardous ingredient for Emergency Release Notification under section 304.

**SARA/TITLE III - List of Extremely Hazardous Substances for Emergency Planning and Notification (40 CFR 300 & 305):** This product **does not** contain an ingredient(s) listed as an extremely hazardous substance (EHS) for Emergency Planning under sections 301-303 and for Emergency Release Notification under section 304.

**SARA/TITLE III - List of Toxic Chemical subject to Release Reporting (Community Right to Know)(40 CFR 372):** This product **does not** contain an ingredient(s) listed as a toxic Chemical for Annual Release Reporting Requirements under section 313.

**Section 16: OTHER INFORMATION**

Date of SDS Preparation: September 2015

Original or Revised Copy: Last Updated May 2021  
**Reasonable care has been taken to ensure information and advice contained in this data sheet is accurate at the time of printing. However, Cypher Environmental Ltd. Accepts no liability for any loss or damages suffered as a consequence of reliance on the information contained herein.**

Disclaimers: Please contact the supplier for application instructions, the application rate/procedure may fluctuate depending on specific uses of product and applications.

**The above information pertains to this product as currently formulated and is based on the information available at this time. Addition of reducers or other additives to this product may substantially alter the composition and hazards of the product. Since conditions of use are outside our control, we make no warranties, express or implied, and assume no liability in connection with any use of this information.**

Phone: (204) 489-1214  
Toll Free (North America): (877) 776-1585  
cypherenvironmental.com

 @CypherEnv  
 @cypherenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**



## Bilaga 3 Safety data sheets for DUST/BLOKR



SAFETY DATA SHEET

Product Name: DUST/BLOKR<sup>®</sup><sub>/SB</sub>  
This revision issued: 8

June 2021

"Always do what's right."



### SECTION 1: IDENTIFICATION

Product Name:	DUST/BLOKR <sup>®</sup> <sub>/SB</sub>
Synonyms:	DBSB
CAS Number:	See Section 3
Product Use:	A water-based nonhazardous, environmentally friendly, and biodegradable liquid used for dust control on roads
Manufacturer/Supplier:	Cypher Environmental Ltd.
General Information:	WHMIS Classification: Not Controlled
Address:	Cypher Environmental Ltd. 1149 St. Matthews Ave. Winnipeg Manitoba R3G 0J8 Canada
Emergency Number:	Tel: +1(204)-489-1214

### Section 2: HAZARD IDENTIFICATION

Health Environmental Physical:	Biodegradable
Volatility:	Non-Volatile
Acute Toxicity:	Non-Toxic, pathogen free.
Skin/Eye Corrosion:	Contact with skin may result in mild irritation.
Mutagenicity/ Carcinogenicity:	Non-mutagenic and non-carcinogenic Based on available information, none of the ingredients in DUST/BLOKR <sup>®</sup> <sub>/SB</sub> are regulated nor listed as potential cancer agents by Federal OSHA, NTP or IARC.
Reproductive/Developmental:	Not Determined
Target Organ Toxicity (Repeated):	Not Determined
Toxicity:	Non-Toxic, pathogen

Phone: (204)489-1214  
Toll Free (North America): (877) 776-1585  
cypherenvironmental.com



**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**



"Always do what's right."

Hazard Statements:

WHMIS HAZARD RATING INFORMATION	FLAMMABILITY	HEALTH	REACTIVITY
0-Minimal 1-Slight 2-Moderate 3-Serious 4-Severe	0	1	0

**Section 3: COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS**

Unique Identifiers

Components	CAS Number	EC Number	Registration Number	CLP Classification	Amount
Water	7732-18-5	231-791-2	NA	Not Classified	Proprietary
Proprietary Anionic Polyelectrolyte Additive	9005-53-2	232-682-2	NA	Not Classified	Proprietary
Reduced Sugars	9004-34-6	232-674-9	NA	Not Classified	Proprietary
	50-99-7	200-075-1	NA	Not Classified	Proprietary
	57-50-1	200-334-9	NA	Not Classified	Proprietary
	57-48-7	200-333-3	NA	Not Classified	Proprietary
	6363-53-7	613-294-6	NA	Not Classified	Proprietary
Inorganic Oxide	1309-48-4	215-171-9	NA	Not Classified	Proprietary

\* Based on available information, none of the ingredients in DUST/BLOKR<sup>®</sup><sub>TM</sub> are regulated nor listed as potential cancer agents/hazardous by Federal OSHA, NTP or IARC.

Phone: (204) 489-1234  
 Toll Free (North America) (877) 776-1585  
 cypherenvironmental.com

 @CypherEnv  
 @cypherenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**





**Section 4: FIRST AID MEASURES**

Eye:	A slight eye irritant.
Skin:	Contact with skin may result in mild irritation, rinse with plenty of water.
Inhalation and Ingestion:	Considered non-harmful by all exposure routes if breathing is difficult remove to fresh air.
Signs and Symptomsof Exposure:	None. Ingestion may cause mild nausea or diarrhea.

**Section 5: FIRE FIGHTING MEASURES**

Suitable ExtinguisherMedia:	Treat the same as water
Fire Fighting Procedures:	Isolate fire area and deny unnecessary entry, soak thoroughly with water to cool and prevent re-ignition. Cool surroundings with water to localize fire zone. Handheld carbon dioxide or dry chemical hazard may result from forceful application of fire extinguishing agents. Do not enter fire area without protective equipment.

**Section 6: ACCIDENTAL RELEASE MEASURES**

PPE:	Eye: Safety goggles Respirator: Not applicable Clothing: Regular on-site clothing
Emergency Procedures:	In case of accidental spill or discharge, take up and containerize for disposal according to state and local regulations. This product displays ultimate biodegradability under both aerobic and anaerobic conditions and if spilled should not cause any adverse short- or long-term environmental impacts. Ventilation requirements as normal
Methods and Materials for Containment and Cleaning Up:	For smaller spills, wash contaminated area with water and flush into sewage system or any other disposal system. For large spills, soak up with sand or sweeping compound and dispose at solid waste

Phone: (204) 489-1214  
Toll Free (North America): (877) 776-1585  
cypherenvironmental.com

 @CypherEnv  
 @cypherenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**





"Always do what's right."

**Section 7: HANDLING AND STORAGE**

Handling:	<b>Keep container closed when not in use. If container is being stored for extended periods, provide minimal to moderate agitation every few weeks ensuring re-homogenization of product.</b>
Storage:	<p><b>Storage Temperature (Degrees C/F)</b>                  Minimum: -50°C (-50°F)                  Maximum: 20-25°C (68-77°F)</p> <p><b>Application Temperature:</b>                  Minimum: 10°C (50°F)                  Maximum: 57°C (135°F)</p> <p><i>*Store product in an area that is not exposed to direct sunlight and in an environment within the conditions stated above. This product freeze-thaw stable, once thawed, provide agitation.</i></p> <p><i>*Product quality is not impacted by temperatures below 10°C (50°F); the product becomes more viscous at lower temperatures and is more difficult to pump.</i></p>




**Section 8: EXPOSURE TO CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION**

OSHA PEL's:	Not Applicable
Exposure Limits:	DUST/BLOKR <sup>®</sup> <sub>750</sub> presents no health hazards to the user, other than mild eye and skin irritancy.
Engineering Controls:	No specific engineering controls needed; it is recommended to handle concentrated product in a well-ventilated area
PPE and Eye Protection:	Safety goggles/gloves, avoid eye contact or exposure to concentrated amounts of product
Skin Protection:	Regular on-site clothing, rinse from skin when exposed to product
Respiratory Protection:	Respirator: Not applicable, ventilation as normal

**Section 9: PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**

Flashpoint:	Not flammable; not combustible
Auto Ignition:	None
Boiling Point:	>100°C
Melting Point:	Liquid
Freezing Point:	<0°C
Vapor Pressure:	Not Determined

Phone: (204) 489-124  
 Toll Free (North America): (877) 776-1595  
 cypherenvironmental.com

 @CypherEnv  
 @cypherenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**



"Always do what's right."

Miscibility with water:	Miscible in all proportions
Solubility in Water:	Soluble
Lower and Upper Flammability Limits:	Not flammable
Density:	~1.4 g/cm <sup>3</sup> @ 25 °
pH:	~7-9
Ultimate Biodegradability:	DOC reduction >90% after 28 days
Appearance:	Brown slightly viscous liquid
Odor:	Sweet organic odor
Composition:	A blend of carbohydrates, water-soluble polymers, and solid mineral.

**Section 10: STABILITY AND REACTIVITY**

Stability/Incompatibility:	Stable for a minimum of two years when stored in proper conditions (see above Section 7)
Hazardous Reactions/Decomposition Products:	Not determined
Reactivity:	Not determined
Chemical Stability:	Stable
Conditions to Avoid:	Storage in direct sunlight and in conditions above 50°C (120°F). Avoid contact with strong oxidizing and reducing agents.
Incompatible Materials:	None
Hazardous Decomposition Products:	Not determined. None

Phone: (204) 489-124  
 Toll Free (North America): (877) 778-1585  
 cypherenvironmental.com

 @CypherEnv  
 @cypherenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**



"Always do what's right."

**Section 11: TOXICOLOGICAL INFORMATION**

Signs, Symptoms of Over Exposure and First Aid Treatment:

**Eye Contact:** Reddening may develop. Immediately rinse the eye with large quantities of cool water. Continue 10-15 minutes or until material has been removed. Be sure to remove contact lenses, if present, and lift upper and lower lids during rinsing. Get medical attention if irritation persists.

**Skin Contact:** Minimal effects, if any. Rinse skin with water. Rinse shoes and laundry clothing before reuse.

**Swallowing:** Essentially non-toxic. Product may cause a slight laxative condition. Give several glasses of water to dilute if swallowed. Do not induce vomiting. If stomach upset persists, consult a physician.

**Inhalation:** Non-toxic. Prolonged exposure to product in a mist form (not recommended) could cause a mild irritation of the nasal passages and throat. Remove to get fresh air. Get medical attention if irritation persists.

**Section 12: ECOLOGICAL INFORMATION**

Bio Accumulative Potential:

The product exhibits ultimate biodegradability under anaerobic conditions as defined by US EPA methods (40 CFR part 796.3180).

**Section 13: DISPOSAL CONSIDERATIONS**

See Section 6

**Section 14: TRANSPORTATION INFORMATION**

This product is non-toxic, transport in conditions described in Section 7 above.

**INTERNATIONAL AIR TRANSPORTATION ASSOCIATION:** this product is not regulated by IATA, when shipped internationally.

**Section 15: REGULATORY INFORMATION**

**SARA/TITLE III - CERCLA List of Hazardous Substances and Reportable Quantities (40 CFR 304.4):** This product **does not** contain an ingredient(s) listed as a hazardous ingredient for Emergency Release Notification under section 304.

**SARA/TITLE III - List of Extremely Hazardous Substances for Emergency Planning and Notification (40 CFR 300 & 305):** This product **does not** contain an ingredient(s) listed as an extremely hazardous substance (EHS) for Emergency Planning under sections 301-303 and for Emergency Release Notification under section 304.

**SARA/TITLE III - List of Toxic Chemical subject to Release Reporting (Community Right to Know) (40 CFR 372):** This product **does not** contain an ingredient(s) listed as a toxic Chemical for Annual Release Reporting Requirements under section 313.

Phone: (204) 489-124  
 Toll Free (North America) (877) 776-1585  
 cyphereenvironmental.com

 @CypherEnv  
 @cyphereenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**



**Section 16: OTHER INFORMATION**

Date of SDS Preparation:	August 2016
Original or Revised Copy:	Last Updated June 2021 <b>Reasonable care has been taken to ensure information and advice contained in this data sheet is accurate at the time of printing. However, Cypher Environmental Ltd. Accepts no liability for any loss or damages suffered as a consequence of reliance on the information contained herein.</b>
Disclaimers:	Please contact the supplier for application instructions, the application rate/procedure may fluctuate depending on specific uses of product and applications.

**The above information pertains to this product as currently formulated and is based on the information available at this time. Addition of reducers or other additives to this product may substantially alter the composition and hazards of the product. Since conditions of use are outside our control, we make no warranties, express or implied, and assume no liability in connection with any use of this information.**

Phone: (204) 489-1214  
 Toll Free (North America): (877) 716-5885  
 cypherenvironmental.com

 @CypherEnv  
 @cypherenvironmental  
 @CypherEnvironmental

**DUST CONTROL**  
**SOIL STABILIZATION**





# Bilaga 4 Safety data sheets for TerraZyme



## Safety Data Sheet

### TerraZyme (11X)

According to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations  
Revision date: 10/04/2021 Supersedes: 9/20/2021 Version: 2.4

Page 1 of 5

#### Section 1 • Identification

**Product Identifier:** TerraZyme (11X)

**Principal use:** Soil stabilizer

**Company/Undertaking Identification**

Nature Plus, Inc.  
55 Rachel Drive  
Stratford, CT 06615 USA  
Telephone: 203-380-0316, Fax: 203-380-0358

**Emergency telephone number**

INFOTRAC Emergency Contact Hotline: **1-800-535-5053** (Contract# 107198)

#### Section 2 • Hazards Identification

**Classification of the substance or mixture:**

Eye irritation, **Category 2B**; H320 - Causes eye irritation  
Skin irritation, **Category 3**; H316 - Causes mild skin irritation

**GHS label elements, including precautionary statements**

Hazard pictogram(s):



**Signal word:** Warning

**Hazard statement(s)**

Eye and skin irritant.

**Precautionary statement(s)**

P362+364: Take off contaminated clothing and wash it before reuse.

P305 + P351 + P338: **IF IN EYES:** Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.

**Other hazards which do not result in classification:** None.

#### Section 3 • Composition & Information on Ingredients

<u>Common name</u>	<u>CAS number</u>	<u>Concentration,%*</u>
Fermented Vegetable Extract**	94114-07-5	60% - 100%
Alcohols, C12-15, ethoxylated	68551-12-2	10% - 30%
Proprietary Formula	-	<5%

\* The specific chemical identity and exact percentage (concentration) of composition has been withheld as a trade secret in accordance with paragraph (i) of §1910.1200.

\*\* A natural blend of enzymes from food grade vegetable ferments and filtered water.

#### Section 4 • First Aid Measures

**First aid measures for accidental exposure:**

**Skin Exposure:**

Causes skin irritation. In case of contact, flush skin with plenty of water. Cover the irritated skin with an emollient. Remove contaminated clothing and shoes. Cold water may be used. Wash clothing before reuse. Thoroughly clean shoes before reuse. Get medical attention if necessary.

**Inhalation:**

If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical attention.

Nature Plus, Inc. | 55 Rachel Drive | Stratford, CT 06615 USA | 1-203-380-0316 | [www.Nature-Plus.com](http://www.Nature-Plus.com)



**Eye contact**

Causes eye irritation. Check for and remove any contact lenses. Immediately flush eyes with running water for at least 15 minutes, keeping eyelids open. Cold water may be used. Get medical attention.

**Ingestion:**

Do NOT induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. If large quantities of this material are swallowed, call a physician immediately. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband.

**Medical conditions possibly aggravated by exposure:**

None.

**Notes to physician:**

Treat symptoms and eliminate overexposure.

**Section 5 • Fire Fighting Measures**

**Fire hazard data:**

**Flash Point:**

>140° F.

**Method Used:**

Closed cup

**Flammability Limits (vol/vol %):**

**Lower:** No Data

**Upper:** No Data

**Extinguishing Media:**

Non flammable

**Special Fire Fighting Procedures:**

SMALL FIRE: Use DRY chemical powder. LARGE FIRE: Use water spray, fog or foam. Do not use water jet.

**Unusual Fire and Explosion Hazards:**

When heated to decomposition it emits acrid smoke and irritating fumes.

**Hazardous Decomposition Materials (Under Fire Conditions):**

These products are carbon oxides (CO, CO<sub>2</sub>).

**Section 6 • Accidental Release Measures**

**Evacuation Procedures and Safety:**

None.

**Containment of Spill:**

Follow procedure described below under Cleanup and Disposal of Spill.

**Cleanup and Disposal of Spill:**

Mop up any spilled product and discharge to sewer or flush to any disposal system.

**Environmental and Regulatory Reporting:**

None.

**Section 7 • Handling and Storage**

**Minimum/Maximum Storage Temperatures:**

Store between 40° F and 120° F. Keep container closed when not in use.

**Handling:**

Avoid direct or prolonged contact with skin and eyes. If freezing occurs, thaw and remix before using. Frozen material may be thawed in a warm room. Avoid localized overheating. Vent drums while heating. Mix thoroughly to assure homogeneity.

**Storage:**

Store at room temperature. Store in tightly closed containers. Store in an area that is dry, well-ventilated; away from incompatible materials (see Section 10 • Stability and Reactivity).

**Section 8 • Exposure Controls/Personal Protection**

**Introductory Remarks:**

These recommendations provide general guidance for handling this product. Because specific work environments and material handling practices vary, safety procedures should be developed for each intended application. While developing safe handling procedures, do not overlook the need to clean equipment and piping systems for maintenance and repairs. Waste resulting from these procedures should be handled in accordance with Section 13 • Disposal Considerations. Assistance with selection, use and maintenance of worker protection equipment is generally available from equipment manufacturers.

**Exposure Guidelines:**

No exposure limits were found for this product or any of its ingredients.

**Engineering Controls:**

Where engineering controls are indicated by use conditions or a potential for excessive exposure exists, the following traditional exposure control techniques may be used to effectively minimize employee exposures: General area dilution/exhaust ventilation.

**Respiratory Protection:**

Not required for properly ventilated area.

**Eye/Face Protection:**

Recommended, but not required.

**Skin Protection:**

None required.

**Work Practice Controls:**

None required.

**Section 9 • Physical & Chemical Properties**

**Physical Appearance:**

Golden brown liquid

**Odor:**

Characteristic scent

**Odor Threshold:**

Not determined

**pH:**

4.10 to 5.60

**Melting Point / Freezing Point Range:**

Not Available

**Initial Boiling Point and Boiling Range:**

100° C (212 F) at 760 mmHg

**Flash Point:**

>140° F. Closed cup

**Evaporation Rate:**

As water

**Flammability (solid, gas):**

Not determined

**Upper/Lower Flammability or Explosive Limits:**

Not Available

**Vapor Pressure:**

Not determined

**Vapor Density:**

Not determined

**Specific Gravity:**

1.000 to 1.080 at 20° C

**Water Solubility:**

Completely soluble

**Percent Volatiles by Volume:**

Nonvolatile

**Viscosity:**

Not Available

**Section 10 • Stability and Reactivity**

**Chemical stability:**

This material is stable under normal handling and storage conditions described in Section 7.

**Conditions to be avoided:**

None

**Materials/chemicals to be avoided:**

Oxidizing agents

**The following hazardous decomposition products might be expected:**

Decomposition type: Carbon oxides (CO, CO2).

**Hazardous polymerization will not occur.**

**Avoid the following to inhibit hazardous polymerization:**  
 Not applicable

**Section 11 • Toxicological Information**

**Acute Eye Irritation:**

**Toxicological Information and Interpretation:**  
 Eye - Mild eye irritation.

**Acute Dermal Irritation:**

**Toxicological Information and Interpretation:**  
 Skin - Mild irritant.

**Acute Dermal Toxicity:**

Acute dermal toxicity: LD50 (Rat, male and female): > 2,000 mg/kg  
 Method: OECD Test Guideline 402  
 GLP: no  
 Remarks: By analogy with a product of similar composition

**Acute Respiratory Irritation:**

No test data found for product.

**Acute Inhalation Toxicity:**

Acute inhalation toxicity: LC50 (Rat, male and female): > 1.6 mg/l  
 Exposure time: 4 h  
 Method: OECD Test Guideline 403  
 GLP: no  
 Remarks: By analogy with a product of similar composition

**Acute Oral Toxicity:**

Acute oral toxicity: LD50 (Rat, male and female): > 2,000 mg/kg  
 Method: OECD Test Guideline 401  
 GLP: yes  
 Remarks: By analogy with a product of similar composition

**Chronic Toxicity:**

No test data found for product.

**Section 12 • Ecological Information**

**Ecotoxicological Information:**

**Alcohols, C12-16, ethoxylated**

Acute oral toxicity: LD50 (Rat, male and female): > 2,000 mg/kg  
 Method: OECD Test Guideline 401  
 GLP: yes  
 Remarks: By analogy with a product of similar composition

Acute inhalation toxicity: LC50 (Rat, male and female): > 1.6 mg/l  
 Exposure time: 4 h  
 Method: OECD Test Guideline 403  
 GLP: no  
 Remarks: By analogy with a product of similar composition

Acute dermal toxicity: LD50 (Rat, male and female): > 2,000 mg/kg  
 Method: OECD Test Guideline 402  
 GLP: no  
 Remarks: By analogy with a product of similar composition

**Products of Biodegradation:**

Possibly hazardous short term degradation products are not likely.

Toxicity of the Products of Biodegradation: Not available.

Special Remarks on the Products of Biodegradation:

**Biodegradation:** > 80 % (28 d), Method: OECD 301 E. The product is readily biodegradable according to OECD criteria.

**Chemical Fate Information:**

No data found for product.

**Section 13 • Disposal Considerations**

Dispose of in accordance with applicable municipal, provincial, state or national regulations. Not classified as dangerous according to transport regulations.

**Section 14 • Transportation Information**

Not classified as dangerous according to transport regulations.

**Section 15 • Regulatory Information**

**15.1 Inventory Status**

UNITED STATES (TSCA)	Y
CANADA (DSL)	Y
EUROPE (EINECS/ELINCS)	Y
AUSTRALIA (AICS)	Y
JAPAN (MITI)	Y
SOUTH KOREA (KECL)	Y

Y = All ingredients are on the inventory.

E = All ingredients are on the inventory or exempt from listing.

P = One or more ingredients fall under the polymer exemption or are on the no longer polymer list. All other ingredients are on the inventory or exempt from listing.

N = Not determined or one or more ingredients are not on the inventory and are not exempt from listing.

**15.2 Chemical Safety Assessment**

No additional information available.

**Section 16 • Other Information**

NPI Product Number: N058

Revision number: GHS / Revision 2.0

Indication of changes: GHS Format

Legend/acronym: GHS / Globally Harmonized System

Liability Disclaimer: SDS information is provided based on OSHA's Hazardous Communication Regulation and for use of the persons required to receive this information under this regulation. The information is neither designed nor recommended for any other use or for use by any other person, including compliance with other laws. Nature Plus, Inc. does not warrant the suitability for use of this SDS for any other material or product not specifically identified herein. Nature Plus, Inc. does not warrant the accuracy or authenticity of this SDS unless it has been obtained directly from Nature Plus, Inc., or posted or viewed on a Company website. Because it is not possible to anticipate all conditions of use, additional safety precautions may be required. Since the use of this material is not under Nature Plus, Inc.'s control, each user is responsible for making their own determination as to the safe and proper handling of this material in their own particular use of this material. Nature Plus, Inc. makes no representation or warranty, either expressed or implied, including as to merchantability or fitness for a particular purpose.



**V**TI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Vi bedriver forskning och utveckling för att förbättra kunskapen om infrastruktur, trafik och transporter. Genom vårt arbete bidrar vi till att nå Sveriges transportpolitiska mål för tillgänglighet, säkerhet, miljö och hälsa.

Vi utför forskning på uppdrag inom alla transportslag och arbetar i en tvärvetenskaplig organisation. Den kunskap vi genererar ger viktig information till aktörer inom transportsektorn och används ofta direkt i nationell och internationell transportpolitik.

Utöver forskning erbjuder vi utredningar, rådgivning samt olika mät- och provningstjänster. På VTI har vi avancerad forskningsutrustning av olika slag och världsledande körsimulatorer. Vi har även ackrediterade laboratorier för vägmaterial och krocksäkerhetstestning.

Transportbiblioteket vid VTI är en nationell resurs som samlar in och sprider information om svensk transportforskning. Biblioteket ger stöd och vägledning till alla som söker information inom området vilket inkluderar lån- och kopierservice. Exempel på uppdrag är informationssökningar, handledning i referenshantering och skräddarsydd service till myndigheter och organisationer.

I Sverige samarbetar VTI med universitet och högskolor som bedriver relaterad forskning och utbildning. Vi deltar regelbundet i internationella forskningsprojekt, främst i Europa, och är aktiva inom internationella nätverk och allianser. Vi är cirka 240 medarbetare och finns i Linköping, Stockholm, Göteborg och Lund.

**vti**

Statens väg- och transportforskningsinstitut • [www.vti.se](http://www.vti.se) • [vti@vti.se](mailto:vti@vti.se) • +46 (0)13-20 40 00

---