



CHALMERS



Förstärkning av väg över mosse

BMT X01-14-34

Kandidatarbete inom Bygg- och miljöteknik

LARS FAGERGREN

DAVID GILLBERG

ROBIN NILSSON

VIKTOR SPARGREN

Förord

Denna rapport är ett kandidatarbete för civilingenjörsprogrammet i Väg- och Vattenbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för Bygg- och Miljöteknik, under handledning av Jan Englund.

Kandidatarbetet grundar sig på ett konkret problem som vägföreningen i Kollanda har haft under en längre tid. Att vi fick möjlighet att arbeta med ett verkligt problem har varit lärorikt och förhoppningsvis kommer rapporten utmynna i en lösning för vägföreningen.

Tack till:

Håkan Segerholm och vägföreningen i Kollanda som har visat förtroende och tålamod.

Carl Petersson, ViaCon, som varit till stor hjälp med beräkningar och som har visat stort intresse i arbetet.

Algot Andreasson, Torslanda Entreprenad AB, som har hjälpt till med ekonomiska beräkningar samt råd och stöd.

Gunnar Johansson, SCA Edet pappersbruk, som gett information och råd om användning av deras flygaska.

Jan Englund, handledare, som har visat stort intresse och varit mycket behjälplig under arbetets gång.

Sammanfattning

En vägförening i Kollanda i Ale kommun har länge haft problem med en enfilig grusväg som sträcker sig över en mosse. På grund av sättningar och glidning av slänterna sker ständigt underhåll av vägen vilket leder till höga kostnader för vägföreningen. Därmed kontaktades Institutionen för Bygg- och miljöteknik på Chalmers för att undersöka vilka förstärkningsåtgärder som är möjliga för att rehabilitera vägen vilket resulterade i följande rapport.

Vägbyggnation över mosse innebär ofta problem i och med att torv är ett föränderligt och svårberäknat material samt att arbete vid mosse ofta innebär hårda miljöföreskrifter. Vid större vägbyggnationer undviks därför problemet genom att antingen undvika mossen eller att schakta bort den, något som är för kostsamt för mindre samfällighetsföreningar. Detta har lett till lösningar som ofta grundar sig på erfarenhet hos mindre entreprenadföretag, men som sällan baseras på exakta beräkningar. Då det i det här fallet inte finns någon bransch erfarenhet har en större litteraturstudie över olika förstärkningsmetoder varit nödvändig för att med säkerhet kunna ge vägföreningen den metod som är bäst lämpad för deras väg. Av de metoder som undersökts har förstärkning med geonät och grundläggning med lättviktsmaterial valts ut för djupare undersökning, eftersom dessa metoder bäst motsvarar de behov som samfällighetsföreningen har. Vidare har dessa två metoder formulerats till två konkreta lösningar på föreningens problem. Den ena lösningen innebär en hyvling av vägen och installation av ett lager geonät för att förstärka väggroppen. Detta förslag kommer lösa problemen med differentialsättningar samt viss del av glidningen av slänterna. Den andra lösningen innefattar att kompensationsgrundlägga vägen med lättviktsmaterial samt förstärka grusöverbyggnaden med geonät, vilket skulle lösa samtliga problem. Det alternativet har dock betydligt högre utförandekostnader. Det sistnämnda förslaget är uppdelat i två alternativ med olika lättviktsmaterial, lättklinker alternativt aska blandat med grus. De två lösningsförslagen har utformats för att ta hänsyn till såväl kvalitet som ekonomi och miljö. Ekonomin har tagits hänsyn till genom val av lågkostnadsmaterial och har resulterat i utarbetandet av två lösningar med olika kostnader. Detta för att ge föreningen möjlighet att välja vad de anser fungerar bäst. Till sist har miljöfrågan hanterats genom val av material med låg miljöpåverkan.

Tillsammans med företaget ViaCon har överbyggnaden dimensionerats för samtliga lösningsförslag utifrån Trafikverkets beräkningsgång i dokumentet TK Geo 11 och programmet PMS Object. Dimensioneringen grundar sig på beräkningar av terrassytans töjning, geonätets hållfasthet samt spänningar på underliggande mosse.

Konstruktionslösningen har senare lett till att olika kostnadskalkyler har tagits fram tillsammans med företaget Torslanda Entreprenad AB. Utifrån beräkningarna och kostnadskalkylerna kan det konstateras att lösningen där installation av geonät och aska blandat med grus som lättviktsmaterial är mest lämpat för vägen. Skulle samfällighetsföreningen välja att genomföra det förslaget kommer arbetet att vara lönsamt inom 9,6–12,7 år beroende på tjocklek på överbyggnaden. Med ett eventuellt bidrag på 70 % från Trafikverket, som kan fås för arbeten på enskilda vägar, kommer förslaget att vara lönsamt inom 2,9–3,8 år.

Abstract

A private road association in Kollanda in the county of Ale has had problems for several years with a single file gravel road stretching across a bog. Constant maintenance is needed due to settlements and road instability, leading to high costs for the association. The Institute of Civil and Environmental Engineering at Chalmers has been contacted in this matter to investigate possible methods of rehabilitating the road, which later on resulted in following report.

Road construction over bogs is rarely without problems due to strict environmental regulations and the changeable properties of the underlying peat. In the case of larger high-traffic roads these problems are often handled by rerouting traffic around the bog or excavating the peat – both of which are too costly for smaller road associations. This has led to a variety of experience-based solutions being employed by smaller construction companies. Since hands-on experience is lacking in this particular case, it has therefore been necessary to perform a detailed study of relevant literature on potential methods of rehabilitation to guarantee the best solution for the association. From the literature, two methods of particular interest have been chosen for further investigation – reinforcement using geonets and lightweight foundations. These two methods have further been applied into two concrete proposals. The first proposal involves removal of a thin layer of the gravel overlay of the road and a subsequent application of a layer of geonet reinforcement. This solution primarily targets the differential settlements plaguing the road. The second solution involves constructing a lightweight foundation coupled with a geonet reinforcement of the gravel overlay. This solution would effectively target both settlement and the road instability, albeit at a higher cost. The second method is further divided into two alternatives – one utilizing a mix of ashes and gravel as the lightweight filler, the other using a light clay aggregate. Both of the proposed solutions have been chosen on the basis of functionality, economy and environmental consideration. The economic situation of the association has been considered by offering two different solutions to enable a choice in the matter as well as by utilizing low-cost materials. Finally, the environmental aspects have been resolved by choosing materials of low environmental impact.

In cooperation with the company ViaCon, the overlays of the proposed solutions have been designed using TK Geo 11, the geotechnical specifications of the Swedish Transport Administration as well as the computer software PMS Object. The design of the road is based on the factors of terrace strain, geonet strength and the tensions in the underlying peat. The design results were furthermore used as a basis for cost estimates performed in cooperation with Torslanda Entreprenad AB. From the results of the design calculations and the cost estimates it could be determined that the most cost efficient solution was the lightweight road construction with an ash and gravel foundation. The payback time for this proposal is 9,6 to 12,7 years depending on overlay thickness. Additionally, it would be possible to receive a grant from the Transport Administration of 70 % of the total cost of the proposed solution. This would lead to a lowering of the payback time to 2,9 to 3,8 years.

1. Bakgrund	1
1.1. Syfte och mål	1
1.2. Problemställning och uppgift	2
1.3. Särskilda förutsättningar för samfällighetsvägen	2
1.3.1. Mossens naturregleringar	4
1.3.2. Nuvarande kostnader	5
1.4. Avgränsningar	5
1.5. Metod	6
2. Teori	7
2.1. Allmänna förutsättningar	7
2.1.1. Jordens hållfasthetsegenskaper	7
2.1.2. Mossars egenskaper	8
2.1.3. Vägbyggnad över mosse	9
2.1.4. Konstruktion och rehabilitering av vägar över torv	10
2.1.5. Slänter och diken - problematik	13
2.2. Rehabiliteringsåtgärder för vägar över mossar	14
2.2.1. Torv schaktas bort och byts ut mot nytt material	14
2.2.2. Torvens styrka förbättras	15
2.2.3. Lastmodifikation med lättviktsmaterial	16
2.2.4. Geosynteter	19
2.2.5. Stålarmering i väg	24
2.2.6. Mottrycksvallar	27
2.2.7. Täckdike	28
2.2.8. Förstärkning av slänt	29
3. Resultat	30
3.1. Slutsatser från teorin	30
3.1.1. Geonät	30
3.1.2. Lättfyllnadsmaterial	31
3.1.3. Stålarmering	31
3.1.4. Förstärkning av slänt och dike	32
3.1.5. Kombinationer	32
3.1.6. Slutsats	32

3.2. Konstruktionslösningar	34
3.2.1. Alternativ 1, geonät.....	35
3.2.2. Alternativ 2, geonät med lättfyllnadsmaterial.....	35
3.2.3. Alternativ 2a, geonät med lättklinker	37
3.2.4. Alternativ 2b, geonät med aska- och grusblandning	39
3.3. Ekonomi.....	41
4. Diskussion	43
4.1. Val av åtgärd.....	43
4.2. Dimensionering	44
4.3. Miljö	46
4.4. Branscherfarenhet.....	47
5. Slutsats	49
Referenser	50
Bilagor	

1. Bakgrund

Institutionen för Bygg- och miljöteknik på Chalmers har blivit kontaktad av en samfällighetsförening som äger en mindre grusväg som går över Kollanda mosse i Ale kommun. På grund av de instabila markförhållandena krävs ständigt underhåll av vägen vilket skapar stora ekonomiska utgifter som föreningen i längden inte anser är hållbara. De önskar få en hållbar och kostnadseffektiv lösning på problemet.

En mosse består av torv som är en jordart uppbyggd av ej helt nedbrutna växtrester. Då underlaget är ett föränderligt material krävs fördjupad kunskap om torvs egenskaper när en byggnation ska ske ovanpå. Mot vägkroppen strömmar vatten genom området vilket för med sig fragment av vägen ut i mossen. Vid byggnation på mosse är risken för sättningar stora och därför är urschaktning till fast grund en säker metod (Departement of the Environment and Local Government, 2000). Däremot innebär ett sådant tillvägagångssätt stor miljöpåverkan och stora utgifter vilket är ett problem för föreningen som har begränsade resurser¹. Emellertid finns andra lösningar som lämpar sig bättre för samfällighetsvägen.

På grund av de rådande geologiska förutsättningarna glider grusvägen ut i sidled och ut i mossen, vilket medför ett stort behov av underhåll. De reparationsåtgärder som tidigare har använts på vägen har i allmänhet varit avskrapning av slitytan genom hyvling följt av påfyllning av nytt material för slitytan. Saltning av vägen görs regelbundet för att binda ihop vägkroppen. Utjämning av vägbanan, så kallad sladdning, görs 6-7 gånger om året. Vägens första sträcka på motsvarande 240 m har grävts ur till ett djup av 4-5 m och fyllts ut av bark för att skapa en flytgrund som ligger som ett lock över mossen. Vägen har också tidigare haft stödvallar som stöttat upp vägbanan – dessa har dock försvunnit under tidigare års dikesschaktning. Eftersom nytt material ständigt läggs till på den ännu inte reparerade vägkroppen blir den tyngre och tyngre vilket leder till att mossen konsolideras och vägen sjunker allt mer. I dagsläget är toppnivån av vägen i flera fall lägre än den intilliggande mossen vilket leder till att diken bredvid vägen ofta står under vatten. Vägens krönbredd är cirka 5 m och den djupaste delen av mossen längs med vägsträckan är cirka 11 m ner till fast mark. Även om vägen i dagsläget har ett obundet slitlager finns intresse hos vägföreningen att eventuellt att asfaltera vägen¹. Kollanda mosse är en mosse med den högsta klassen av naturvärden i våtmarksinventeringen, klass 1, vilket måste tas hänsyn till vid projektering av lösning till vägkonstruktion över mossen (Länsstyrelsen, 2014).

1.1. Syfte och mål

Syftet med projektet är att undersöka och analysera metoder för att rehabilitera och förstärka vägar byggda över mossar. Vidare skall arbetet även utmynna i en ökad förståelse för de

¹ Håkan Segerström (Kontaktperson för vägsamfälligheten). Intervjuad 30/1 2014.

² Håkan Segerström (Kontaktperson för vägsamfälligheten). Intervjuad 30/1 2014.

faktorer och förutsättningar som måste tas hänsyn till vid vägbyggnation över mosse. Ett existerande fall – vägen över Kollanda mosse – kommer att användas som utgångspunkt för dessa undersökningar. För att kunna använda detta fall kommer de nuvarande förutsättningarna för vägen att undersökas och presenteras.

Därutöver finns en målsättning i arbetet att skapa en ekonomiskt och ur miljösynpunkt hållbar lösning på de problem med utflytning och sättningar som samfällighetsföreningen har med den aktuella vägsträckan. Ett färdigt förslag skall tas fram som kan ligga till grund för ett beslut om vägens rehabilitering.

1.2. Problemställning och uppgift

Uppdragsgivaren strävar efter en realistisk åtgärdsplan med avseende på nuvarande medel och en förbättrad ekonomisk underhållsstrategi. Detta då de är en mindre samfällighetsförening med begränsade resurser. För att åstadkomma detta kommer vägens förutsättningar att tas i beaktning vid problemformuleringen.

Då den berörda vägsträckan går över en mosse krävs underhåll på grund av instabila markförhållanden och stora vattenmängder i marken. På grund av slitage och utflytning av material läggs nytt grus ständigt till på vägen vilket gör att den blir allt tyngre och sjunker därmed ytterligare. Eftersom den nuvarande vägen är byggd på en mosse kommer vattnet i marken att bidra till en flytkraft på väggroppen som skulle gå förlorad vid en eventuell dränering av marken. Detta skulle orsaka att väggroppen utsätter underlaget för större spänningar och därmed även öka risken för fortsatt konsolidering av den underliggande torven, något som skulle kunna leda till ökad sättning av vägen (Munro & MacCulloch, 2006).

Uppgiften är att erbjuda en konstruktionslösning till vägföreningen så att nuvarande problem kan åtgärdas till en genomförbar kostnad baserat på nuvarande underhållskostnader.

Ett lösningsförslag baserat på värderingar och antaganden kring relevans kräver en förkunskap om rådande förutsättningar. Denna problematisering leder till krav på förkunskaper kring både de rådande geotekniska förutsättningarna samt hur en väg kan förstärkas. Det kräver därutöver en uppfattning om de möjligheter som för tillfället existerar för att hantera liknande problem. Hur kan man förbättra den strategi som finns idag eller är en ombyggnation av vägens struktur ett krav för att uppnå önskade förutsättningar för underhåll?

1.3. Särskilda förutsättningar för samfällighetsvägen

Vägsträckan som föreligger som problem på vägen i Kollanda utgörs av en sträckning på ca 400 m som går över en mosse. Vägsträckan lider av tydliga problem med utflytning och problem där omgivande mosse har hamnat i en höjdnivå som överskrider vägens. Detta leder

till en stor risk för översvämningar med tanke på de höga vattenhalter som finns i området (se Figur 1.1).



*Figur 1.1: Översiktsbild av hela vägsträckan över mossen inifrån vägens slut mot infart.
(Eget foto)*

Vägens utflytning och konsolidering av mossen leder i sin tur till att vägbanan sjunker i höjd i jämförelse till sin omgivning. Nytt vägmateriel för att höja vägbanan förändrar vägens tyngd vilket skapar nya sättningar och utflytningar av vägbanan (se Figur 1.2).



Figur 1.2: Dike 100 meter in på vägsträckan räknat från vägbanans slut. Bilden visar den tydliga utflytning som drabbat vägens kanter. (Eget foto)

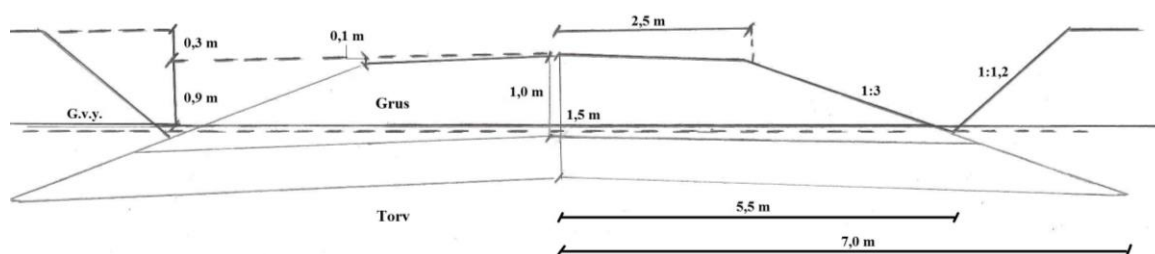
Tidigare arbete på vägsträckan utfördes under 1992 där åtgärden bestod i att fylla upp vägen med lättviktsmaterial som utgjordes av bark. Denna sträcka är 240 m och är placerad den

tidigare delen av vägen och har en tydlig skillnad mot övrig vägsträcka. Under denna sträckning är vägen placerad ovanför höjdnivån i mossen vilket är en god förutsättning för att undvika risken för översvämningar² (se Figur 1.3).



Figur 1.3: Början på den 240 m tidigare reparerade vägsträckan. (Eget foto)

Vägens krönbredd är 5 m bred och vägen är 1,0 - 1,5 m tjock. Underliggande mossens mäktighet varierar mellan 0-11 m och grundvattenytan antas ligga 0,9 m under vägens ovkant. Utifrån egna mätningar har ett standardfall antagits (se Figur 1.4).



Figur 1.4: Tvärsnitt på nuvarande överbyggnad. (Egen bild)

1.3.1. Mossens naturregleringar

Vid arbeten på befintlig väg och nybyggnation av väg kan tiden då arbete får ske begränsas om det finns skyddade arter (upptagna i artskyddsförordningen) som man inte får störa. En mosse är ett sådant område som ofta kan begränsas av detta då det finns häckande fåglar och mycket groddjur i dessa miljöer. Oftast handlar det om vår-sommar, då fåglar häckar och

² Håkan Segerström (Kontaktperson för vägsamfälligheten). Intervjuad 30/1 2014.

groddjur leker och äggen kläcks. Dessutom är det ofta bättre att utföra arbeten när marken är torrare, till exempel vid tjäle för att undvika markskador.

Samråd enligt 12 kap 6 § i Miljöbalken ska hållas med Länsstyrelsen för att få lov att bygga i dessa miljöer. Om skyddade arter riskerar att påverkas kan det även krävas dispens från artskyddsförordningen. Kollanda mosse har höga fågelvärden och har högsta klass (1) i den våtmarksinventering som gjorts (Länsstyrelsen, 2014). Detta innebär att den har höga naturvärden som man ska värna om. Det finns även sumpskog i anslutning till den befintliga vägen. Nybyggnation av vägar bör i första hand undvikas över mossar, men det är inte alltid det går att undvika (Martinsson, 1995).

Ny markavvattning är förbjuden och kräver både dispens och tillstånd. Vid vägar kan man lägga vägdiken utan att påverka omgivande mark om marken är torr eller fuktig men i blöt och fuktig mark krävs tillstånd till markavvattning. Alternativt kan man bygga med duk och på höjden för att undvika denna typ av problematik. Det är viktigt att inte påverka den grundvattennivå som finns i omgivningen långsiktigt genom arbetet.³

1.3.2. Nuvarande kostnader

Kostnader för vägföreningen, före förstärkning av vägen:

Hyvling & saltning, 1-2 gånger/år:	ca 20 000 kr/gång
Sladdning, 6-7 gånger/år:	ca 5000 kr/gång
Slitagegrus 110 kr/ton:	ca 15 ton/år
Dikning:	ca 20 000 kr/år
Årlig kostnad för underhållet:	ca 100 000 kr/år
Övrigt (snöröjning med mera):	ca 40 000 kr ⁴

För arbeten utförda på enskilda vägar finns det möjlighet att få bidrag på utförandekostnaderna av Trafikverket. För rehabilitering av väg över en mosse kan upp till 70 % av kostnaderna täckas med bidrag (Trafikverket, 2014).

1.4. Avgränsningar

Projektets omfattning begränsas till de förutsättningar och karakteristika som gäller för den aktuella vägen. Till dessa förutsättningar hör att vägen är lågt trafikerad och går över en mosse, samt att det råder begränsade ekonomiska resurser. Detta medför att endast lösningar som är relevanta i sammanhanget och som är ekonomiskt försvarbara samt enkla att utföra undersöks. Framtagna förslag innehåller konstruktionslösning men inte specifika

³ Mats Rydgård, Vattenvårdsenheten på länsstyrelsen Västra Götaland. Intervjuad 27/3 2014.

⁴ Håkan Segerström (Kontaktperson för vägsamfälligheten). Intervjuad 30/1 2014.

beskrivningar för utförandeentreprenad. De lösningar som presenteras tar hänsyn till rådande miljökrav.

1.5. Metod

Rapporten grundas på studiebesök på plats samt personliga möten med ansvariga för vägföreningen. Tidigare dokumentation om vägen har erhållits av föreningen och korrespondens med ansvariga har skett under arbetets gång vilket har gett kontinuerlig uppföljning av projektet.

Dokumenterad information om tidigare liknande arbeten har undersökt vilket har gett viktig kunskap inom området. Sökning av vetenskapliga artiklar och ytterligare litteratur har skett via Chalmers Bibliotek och andra databaser. Detta har lett fram till förslag om potentiella lösningar.

Sveriges Geologiska Undersökningar, SGU, har utnyttjats för att tillhandahålla geologiska undersökningar och förutsättningar för mossen. För egenskaper hos den specifika mossen och kring regler för byggnation med höga vattennivåer har kontakt haft med Länsstyrelsens vattenvårdsenhet.

Mätningar av befintlig vägs krönbredd, innerslätens vinkel, bombering och vägens nivå i förhållande till omgivandemosse och dikesbotten har utförts på plats. Mätningarna har sammanställts till ett standardfall.

Vidare bygger rapporten på intervjuer med företag som har erfarenhet inom branschen. I avsaknad av kunskaper om branschnormer för praktisk tillämpning av teoretiska åtgärder kontaktades företaget ViaCon. De har bistått med genomgång och uppföljning av praktisk tillämpning inom vald metod.

I samarbete med entreprenadföretaget Torslanda Entreprenad AB har kostnadskalkyler för utförandeentreprenaden tagits fram för de olika lösningsförslagen. Kalkylprogrammet som användes var Biltcon.

Information om flygaskans egenskaper har hämtats via korrespondens med miljö- och kvalitetschefen på SCA Edets pappersbruk. Ytterligare information om flygaskans egenskaper har hämtats från litteratur.

Med Trafikverkets beräkningsmall ur dokumentet TK Geo 11 har beräkningar och kontroller gjorts på utdragsbrott och glidning av slänt på geonät för att kunna fastställa typ av geonät. Dimensioneringen av överbyggnadens respektive lagertjocklekar och kontroll av töjning i terrassytan har gjort i programmet PMS Object. Handberäkningar har använts för att beräkna överbyggnadens spänningar på underliggande torv.

2. Teori

För att kunna hantera och värdera metoder och åtgärder mot existerande problem på vägen över mossen krävs grundläggande kunskap om de förutsättningar som råder. Såväl rådande förutsättningar som möjliga rehabiliteringsåtgärder undersöks.

2.1. Allmänna förutsättningar

I följande kapitel redogörs för grundläggande egenskaper och kunskaper om rådande förutsättningar.

2.1.1. Jordens hållfasthetsegenskaper

Hållfastheten hos en jord varierar från jordart till jordart. Kornstorleken och mineralsammansättning hos de korn och partiklar som finns i jordarten är det som skiljer dem åt. Skillnaderna i kornstorlek och mineralsammansättningen har den avgörande betydelsen för respektive jordarts hållfasthet och för dess vattenbindande förmåga. Friktionen som finns mellan kornytorna skapar en så kallad cementering av jordarten vilket gör den mer massiv och ökar dess hållfasthet. Jordens hållfasthet har stor betydelse i vägbyggnadssammanhang eftersom det material som används i en vägkropp måste besitta hög bärighet. Bärigheten är i sin tur beroende av graderingen – ett välgraderat material är mer stabilt. Med stabilitet åsyftas det jämviktsförhållande som råder mellan mothållande och pådrivande kraft som uppstår när en jord utsätts för spänningar (Wilhelmson & Brorson, 1986). Ett material som benämns välgraderat består av flera kornstorlekar vilket bidrar till en liten hålrumsvolym och en större kontaktyta mellan kornen. Styrkan i en jord byggs upp genom att kornen samverkar med varandra genom kilverkan. Detta innebär att exempelvis makadam, som är ett material med stora håligheter, får en låg bärighet eftersom denna kilverkan inte blir lika påtaglig som hos andra material (Granhage, 2009).

Jordmaterial kan delas in i tre huvudtyper efter hur kornen samverkar i jorden. Dess tre typer benämns friktionsjord, mellanjord och kohesionsjord.

- *Friktionsjord:* Sand och grus hör till gruppen friktionsjord. I dessa jordar är generellt alla korn större än 0,06 mm. Sand, grus, sten och block eller en blandning av dessa kan alla utgöra en friktionsjord. Det som karakteriserar friktionsjorden är att kornen i denna jordtyp har direkt kontakt med varandra utan någon mellanliggande vattenhinna. Detta medför att skjuvspänningarna i jorden tas upp av kornskelettet och skjuvhållfastheten blir därför direkt proportionell mot normalspänningen. Friktionsjordens skjuvhållfasthet skapas genom tryck och friktion mellan partiklarna. Genom att packa friktionsjord med vältrar eller vibromaskiner ökar man trycket mellan partiklarna och ökar därmed skjuvhållfastheten mellan dem. Draghållfastheten hos

denna jordart är obefintlig. Kompression och sättningar vid belastning i en friktionsjord blir förhållandevis liten. Komprimering av denna jordartstyp går snabbt beroende på att friktionsjorden har en relativt hög vattengenomsläpplighet gentemot mellanjorden och kohesionsjorden (Wilhelmson & Brorson, 1986).

- *Mellanjord*: Mellanjord är den jord av de tre som är tjälfarligast och mest lättroderad. Skjuvhållfastheten i en mellanjord byggs upp dels av friktionen mellan partiklarna, likt en friktionsjord, men också av bindningar mellan atomer och molekyler i materialet – den så kallade kohesionen (Burstrom, 2009). Mellanjord har lägre vattengenomsläpplighet än vad friktionsjorden har men högre än kohesionsjorden. Mellanjorden har även en högre permeabilitet än kohesionsjorden vilket innebär att vid en yttre belastning kommer det ske en snabbare tillväxt av skjuvhållfasthet hos mellanjorden än hos kohesionsjorden. Den snabbare tillväxten beror på att vattnet lättare kan pressas ut ur denna jord och avståndet mellan partiklarna minskar. Till denna jordart räknas finmo, mjäla och silt.
- *Kohesionsjord*: Till stor del är kohesionsjorden uppbyggd av mycket små partiklar av mineral med stor vattenbindande förmåga. Kornen i kohesionsjorden har ingen direkt kontakt med varandra som friktionsjorden har, utan mellan kornen finns en relativt hårt bindande vattenhinna. Skjuvhållfastheten i jorden blir därför helt beroende av kohesionen. Genom yttre tryck av kohesionsjorden ökar skjuvhållfastheten hos jorden med tiden, men inte direkt. Genom att belasta kohesionsjorden med ett yttre tryck så kommer tillväxten av skjuvhållfasthet med tiden att öka, allt eftersom vattnet pressas ut. Då vattnet pressas ut vid ett yttre tryck, kommer partiklarna i materialet att komma allt närmare varandra och avståndet mellan dem att minska, vilket ger en ökad tillväxt av skjuvhållfastheten. Eftersom kohesionsjorden har en låg permeabilitet i jämförelse med friktionsjorden och mellanjorden, kommer utpressningen av vattnet att ta lång tid (Wilhelmson & Brorson, 1986). Denna volymminskning sker då vatten avges ifrån jorden och benämns konsolidering (Sällfors, 2009).

2.1.2. Mossars egenskaper

En myr utgörs av en våtmark med torvbildning. En myr kan utvecklas på olika sätt, vanligen så att torvtillväxten blivit allt fattigare på växtnäring och till stor del avskurits från fastmarkens grundvatten. En mosse är ett myrparti som enbart får sitt vatten i form av regn och smältvatten från snö. Om en myr fortfarande inte avskurits från fastmarkens grundvatten och har vattentillgång från detta kallas det kärr. Utmärkande för myrar är den ojämna markytan, som för mossar utgörs av tuvor och höljor (NE, 2014).

Torven är en organisk jordart bildad på av huvudsak rester från den omgivande växtligheten. När nedbrytningen har skett har den inträffat under förhållanden där lufttillträdet har varit dåligt. Processen utmärks av att växternas sönderfall inte går i takt med den mängd vegetation

som produceras. Processen är aerob men på grund av den mängd växtlighet som produceras blir lufttillgången begränsad (NE, 2014). Kollanda mosse består till största delen av torv⁵.

I norra Europa förekommer fyra olika typer av mossar och myrar som innehåller torvlandskap. Dessa är myrar, blötmyrar, högmossar och torvmossar. Dessa torvlandskap ger upphov till många gemensamma problem för vägghållare i de områden där de finns. Hög vattenhalt är ett kännetecken som ofta utmärker en nybildad torv med högt växtinnehåll och är den egenskap som främst är relevant när hänsyn ska tas till torv som grundläggningsmaterial. En torv blir ofta mer amorf med djupet och mindre fibrös. Detta ger torven en avtagande styrka beroende på djupet, vilket innebär att det inte går att tala i generella termer om en torvs styrka.

Torv kan se ut på många olika sätt där skillnaden mellan torvens typer beror på hur humifierad och nedbruten den är. Den andra stora skillnaden är vilken typ av vegetation som funnits i området vid torvens bildande som är det ursprungliga materialet i torven. Torven Kollanda utgörs av mosstorv som består av rester från vitmossa som ofta är dåligt nedbruten. När jordarter sedimenterar och bildas på botten i sjöar och våtmarker utgörs de till stor del av organiskt material från döda växter. Bottnarna täcks sedan av en gytta som utgörs av dessa organiska material tillsammans med mineralämnen vilka grundar upp sjöarna. När vegetation sedan fyller upp de allt grundare sjöarna börjar ett första torvlager bildas (SGU, 2014).

Skärhållfastheten är ett sätt att mäta torvens styrka och är direkt beroende av torvens vatteninnehåll. Ju högre vatteninnehåll i torven desto lägre är dess skärhållfasthet, ju mer fibrös torv desto större skärhållfasthet, och ju högre grad av humifiering och mineralinnehåll hos torven desto högre är dess skärhållfasthet. En hög skärhållfasthet innebär hög skjuvhållfasthet och således en stabilare torv.

Torv kan indelas i tre typer - amorfgranulär torv (vilket innebär hög grad förmultnad torv), finfibrig torv och grovfibrig torv (Radforth, 1969).

2.1.3. Vägbyggnad över mosse

Vid vägbyggnation och underhåll av väg över en mosse, finns det en rad olika tekniska lösningar för vägkonstruktionen. De olika typerna av konstruktionslösningar för en väg över en mosse har alla sina för- och nackdelar beroende på flera olika faktorer. Några av de viktigaste parametrarna för val av vägkonstruktion över en mosse nämns nedan, samt vilken metod som kan användas för att erhålla dessa parametrar.

- Vägens standard och hastighet
- Trafiklast och trafikflöde
- Underliggande materials hållfasthet och bärighet
- Vattenflöde i marken

⁵ Håkan Segerström (Kontaktperson för vägsamfälligheten). Intervjuad 30/1 2014.

- Mossens djup
- Vilken typ av torv som är aktuell. Genom att identifiera torven ifråga kan flera av de viktigaste egenskaperna hos torven fastställas som kan spela en avgörande roll för val av vägkonstruktion.

Dessa parametrar kan erhållas genom en rad olika metoder. Undersökning av området med hjälp av kartor, dokument från tidigare projekt av underhåll av väg och av liknande projekt i området är alla nödvändiga handlingar som bör användas. En kostnadsbesparande metod är ofta att göra en inspektion av platsen, för att få en uppfattning om proportioner, helhetsintryck och andra rådande förhållanden.

Utöver dessa finns en rad andra typer av undersökningar som kan göras. Bland dessa finns geografiska undersökningsmetoder, så som GPS, som kan användas för att fastställa vägens mått. Det finns även flera olika geotekniska undersökningsmetoder för att bedöma vägens och den underliggande torvens tjocklekar. Dessa kan grovt indelas i förstörande och ickeförstörande undersökningar. Georadar (GPR) är ett exempel på en ickeförstörande metod, medan sticksondering eller olika provtagningsmetoder är förstörande. Till sist kan även bärighet och ojämnheter i vägen mätas, med hjälp av exempelvis fallviktstest respektive accelerometer (Munro & MacCulloch, 2006).

När de för vägen relevanta parametrarna har undersökts blir det nödvändigt att ta särskild hänsyn till de faktorer som kan orsaka särskilt stora problem vid vägbyggnationen. En sådan faktor är vatten, som kan ha en stor påverkan på vägkroppen. När materialet i en överbyggnad är vattenmättad uppstår försämrade bärighet hos vägkroppen, eftersom avståndet mellan partiklarna i materialet ökar. Därför är det mycket viktigt att nederbördevatten på vägbanan leds bort genom att vägen har ett tvärfall. På raksträckor kan detta göras genom att vardera körfält lutar ut mot vägkanten, så kallad bombering. I kurvor används istället en skevning av vägbanan. Dessa metoder kompletteras i regel med öppna eller täckta dräneringsdiken. Slitlagret på vägbanan har en stor betydelse för avvattnings av vägbanan. Dess beläggning skall fungera som ett tak över vägkroppen och som ett golv för trafiken. Det är därför många gånger en fördel för vägkroppens bärighet med ett tätt slitlager i form av en asfaltsmassa eller betong vilket lätt kan leda bort dagvattnet utan att vattnet tränger ner i överbyggnaden. Det finns ett tydligt samband mellan ogynnsamma dräneringsförhållanden av undergrunden och skadeutvecklingen av vägen. Därför skall undergrunden dräneras om avståndet mellan terrassytan och grundvattenytans nivå är mindre än 0,5 m (Granhage, 2009).

2.1.4. Konstruktion och rehabilitering av vägar över torv

Torv är ett föränderligt material vilket innebär att vid vägbyggnation ovanpå en mosse krävs god kännedom om torvens egenskaper som undergrundsmaterial. Är förutsättningarna dåliga kan det förorsaka så stora problem att vägbyggnation över eller genom mossen om möjligt bör undvikas. Det säkraste valet av konstruktion vid anläggning av en väg över instabila jordar så

som torv är att schakta bort mossen ner till fast grund och sedan återfylla med stabilt material längs hela den planerade vägsträckan. Detta är den konstruktionslösning som innebär lägst risk med avseende på momentana sättningar, tidsberoende sättningar, översvämning och skjuvbrott. Nackdelen är dock att denna lösning ofta blir mycket dyr. Stora mängder material måste schacktas ur och transporteras bort och nya bättre massor måste transporteras dit. Detta innebär höga transportkostnader, stora materialkostnader och stor användning av ändliga naturtillgångar.

Med hänsyn till både ekonomi och miljö finns det andra goda tekniska lösningar som utvecklats genom åren som många gånger är bättre lämpade än urschaktning och återfyllnad av annat material. De alternativ som finns är mest lämpade för lågtrafikerade vägar som oftast har en lägre vägklass och där den dimensionerande hastigheten är lägre. Metoden att schakta ur mossen och fylla på med nytt material är endast ekonomiskt försvarbar för högtrafikerade vägar av mycket god standard. Vid lägre vägklass kan mycket sparas både ekonomiskt och ur miljösynpunkt genom att man behåller torven som undergrund (Munro & MacCulloch, 2006). Problematiken med att behålla torven som undergrund är att torv som anläggningsmaterial har låg tryckhållfasthet, låg skjuvhållfasthet och därmed låg bärighet. Detta kan leda till momentana sättningar, tidsberoende sättningar och skjuvbrott vid anläggning av väg ovanpå den. Torven belastas av ett yttre tryck från överbyggnadens tyngd och från vägtrafiken vid anläggning av väg ovanpå den (Wilhelmson & Brorson, 1986). Genom att förbelasta torven med en vägbank tyngre än den tänkta vägkroppen kommer torven att förkonsolideras och med tiden få en bättre skjuvhållfasthet. Att förkonsolidera torven är en metod som tar förhållandevis lång tid och som medför konsolideringssättningar. Det finns emellertid lösningar som förstärker torven genom att öka dess tryckhållfasthet och skjuvhållfasthet utan att torven behöver förkonsolideras. Överbyggnadsdelen kan konstrueras för att bli så lätt som möjligt så att det därmed blir möjligt att minska belastningen av vägkroppen på torven. Således kommer även konsolideringssättningar att undvikas. För att få överbyggnaden så lätt som möjligt används lättviktsmaterial. Omgivande torvs vattenhalt kan också användas för att åstadkomma en överbyggnad med en lägre densitet genom att vattnets flytkraft utnyttjas (Munro & MacCulloch, 2006).

Rehabilitering av väg över torv medför också sina egna platsspecifika underhållsproblem. Ett av dessa är byggtrafiken som medför en tung belastning på de schaktade ytorna. Detta kan i sin tur skapa stora lokala sättningar som dock kan motverkas av ett gediget förarbete för att identifiera tjocklekar och styrkor hos lager. Ett annat problem är trafikledningen. Om det inte finns naturliga omdirigeringar av trafiken tvingas trafiken ut på tillfälligt uppbyggda vägar där det på förhand kan vara svårt att förutsäga hur torven kommer reagera. Dessa tillfälliga vägar kan även vara svåra att återställa helt (Roadex, 2014).

Vid rehabilitering av en väg över torv är en grundläggande regel att förbättra de befintliga förutsättningarna och att inte utföra något arbete på den underliggande torven då det kan orsaka ytterligare skada genom att förändra förutsättningarna. Det finns dessutom fördelar med att behålla den befintliga torven eftersom den vanligtvis under befintlig väg har varit belastad under en längre tid. Det innebär att den då har ökat i styrka vilket kan utnyttjas med

fördel förutsatt att inget är utfört som kan orsaka ytterligare konsolidering, så tillvida att hänsyn inte tagits till eventuella konsekvenser av en ökad konsolidering (Munro & MacCulloch, 2006).

I en del fall kommer dock inte utgrävningar att vara försvarbara. Istället blir det nödvändigt att lägga till ytterligare lager på vägen för att kompensera för sättningarna. I dessa fall måste ytterligare belastning accepteras under förutsättning att effekterna av de ökade belastningarna tas i åtanke vid rehabiliteringen. Ett sådant fall kan vara om en befintlig väg lastas på med ett nytt lager armerad asfalt för att förhindra differentialsättningar men då finns risk för momentana sättningar.

Inom ramen för rehabiliteringsåtgärder för en väg över torv ingår att inte addera ytterligare belastning till vägbanan eller att ändra hydrologin för vägen eller dess omgivning vilket kan påverka grundvattennivån. Tidigare nämndes en jämnvikt i det tillstånd där torven får tillräcklig styrka genom att frigöra porvatten för att bära vikten från vägkroppen. Konsolideringen och sättningsprocessen börjar om på nytt under nya förutsättningar då en ny störning uppkommer. En sådan uppträder i många fall som en djupare lagd dränering vilket förändrar torvens vattenhalt eller som ett nytt slitlager. Vid en sänkt grundvattennivå kommer vägkroppen att verka som om en ny belastning tillkommit då dess flytförmåga ändrats. Det hydrostatiska upptrycket förändras då vägen befinner sig högre i förhållande till vattennivån än tidigare. Detta resulterar i att vägen verkar som om den blivit tyngre på den underliggande torven vilket skapar ytterligare kompression och sättning.

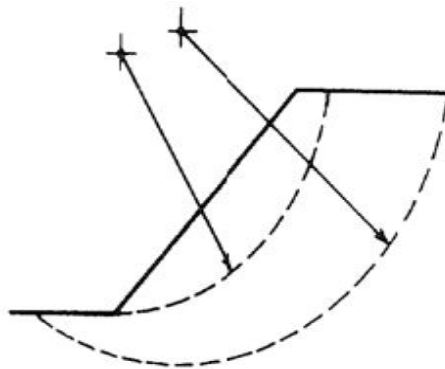
Översiktligt kan de olika metoderna för att hantera en mosse presenteras som följande, utan inbördes ordning (Roadex, 2014):

- *Mossen undviks*: Vägen dras på sådant sätt att den inte passerar över mossen.
- *Urschaktning*: Torven grävs ut och byts ut mot nytt, mer bärigt material.
- *Förskjutning*: Torven pressas åt sidorna, exempelvis genom sprängning.
- *Väggkropp byggs ovanpå torven*
 - **Förstärkning av torven**: Torven förstärks genom att påskynda konsolideringen. Detta kan göras genom exempelvis förbelastning.
 - **Lastmodifiering**: Lasten på torven förändras genom stödvalar eller lättviktsmaterial.
 - **Förstärkning av överbyggnad**: Vägens överbyggnad förstärks genom exempelvis geotextililer, geonät eller genom att bygga på flottar.
- *Vertikal dränering*: Mossen dräneras för att påskynda konsolideringen.
- *Pålning*: Pålar av stål eller betong körs ner till fast grund för att stödja upp vägbanan.
- *Masstabilisering*: Marken stabiliseras genom injektering av bindemedel, exempelvis kalkcementpelare.

2.1.5. Slänt- och dikesproblematik

Några för ingenjörer vanligt förekommande problem är de som uppkommer vid byggnation av dikesslänter vid vägar. Då markytan ofta måste användas till maximal nivå ges mindre utrymme åt diken, därmed krävs förstärkning av slänterna för att inte glidning eller skred ska ske. Liknande metoder används för vägar med diken som går över material med bristande bärförmågan, exempelvis torv och lera. Vid större byggnationer kan förstärkningsmetoder som platsgjutna betongväggar, pålning eller stagning vara att föredra. Dessa metoder medför dock stora kostnader. Ett långt mer kostnadseffektivt sätt är att då förstärka slänten med hjälp av armering eller geonät som tillsammans med det hoppressade materialet bildar en stabil massa med förbättrade geotekniska egenskaper (Strata Systems, Inc., 2010).

Förstärkta slänter analyseras med hjälp av den klassiska jämviktsekvationen för släntstabilitet. Denna ekvation bygger på att glidning i marken uppkommer då skjuvspänningarna i jorden är större än dess hållfasthet. Ekvationen bygger även på antagandet att när glidning i jorden sker så är det utefter en cirkulär glidyta (se Figur 2.1). Detta antagande förenklar de matematiska beräkningarna och när de påtryckande respektive mothållande krafterna är kända kan släntens stabilitet beräknas (Bendzovski & Melin, 2008).



Figur 2.1: Exempel på två cirkulärcylindriska glidytor i en slänt (Smith 2006).

För att förbättra släntstabiliteten i mjuka jordar, som exempelvis torv, kan geosyntetisk armering användas vid konstruktion av vallar. Införande av armering i den beräknade glidytan ökar släntens motverkande krafter och moment. Dessa skapar en god stabilitet i marken, i enlighet med jämviktsekvationen för släntstabilitet. Vid kontroll av jordarmerade stödkonstruktioners stabilitet tas det hänsyn till tre varianter av glidytor. En som uppkommer helt inom det armerade området, så kallat internt brott, en som uppkommer helt utanför det armerade blocket, så kallat externt brott, och en variant av internt och externt brott då glidytan går utanför och emellan armeringen (Bendzovski & Melin, 2008).

Analys av förstärkning för vallar över mjuka jordar är mer komplicerat än vid beräkningar med fastare material. Den huvudsakliga anledningen ligger i de antaganden som krävs. Vid beräkningar med fastare material kan det antas att den förstärkta slänten står på en stabil

grund, ett antagande som inte går att göra vid behandling av slänter över mjukare jordar. Därför måste analys av armerade vallar innefatta följande (Strata Systems. Inc., 2010):

- Kontroll av den övergripande bärrigheten
- Kontroll av den övergripande rotationsskjuvningen eller totala stabiliteten
- Kontroll av glidningen i sidled eller hoptryckning av undergrunden
- Kontroll av tillåten sättning

Det problem som framförallt vägen över Kollanda mosse är utsatt för är att kanterna glider ut i sidled på grund av bristande bärrighet.

2.2. Rehabiliteringsåtgärder för vägar över mossar

För att åtgärda de problem som för samfällighetsföreningen uppstått och med kunskap kring hur en mosse hanteras finns flera alternativ på åtgärd. Dessa med flera olika omfattningar, kostnader och effekt mot problemen.

2.2.1. Torv schaktas bort och byts ut mot nytt material

Den säkraste metoden för att hantera torv är urschaktning. Vägkroppens egenskaper och framförallt dess bärförmåga kommer i stor utsträckning bero av de material man väljer att återfylla med, samt den konstruktionslösning man väljer att använda för den nya vägkroppen. De flesta nya vägar i länder som behandlas av Roadex, ett nordeuropeiskt nätverk för spridandet av kunskap kring vägbyggen på landsbygden, är större vägar med hög standard och byggda för stora trafikflöden. Det är endast på dessa vägar som urschaktning blir en kostnadseffektiv åtgärd, eftersom det ofta blir väldigt dyrt att schakta bort stora mängder torv. Djupet som avgör om utgrävningen är ekonomiskt lönsam är beroende av flera faktorer så som typ av torv, omgivningen runt torven, kostnad för återfyllnadsmaterial och tillgångar på fyllnadsmassor i närområdet. Det har visat sig att denna metod endast är ekonomiskt försvarbar vid en utgrävning av torv vid ett djup av 3-4 m till fast grund (Roadex, 2014). Däremot har studier av vägar för vindkraftverksparker i Skottland visat att det är ekonomiskt försvarbart med en utgrävning om torvens mäktighet uppgår till endast 1-1,5 m (Forestry Civil Engineering & Scottish Natural Heritage, 2010).

En stor komplikation vid urschaktning av torv brukar vara att schaktslänterna på varje sida om skärningen blir instabila på grund av en låg skjuvhållfasthet hos torven. Denna instabilitet av schaktslänterna ökar risken att slänterna av torv rasar in i det tidigare urschaktade området, vilket försvårar arbetet avsevärt. Schaktslänternas instabilitet är beroende av schaktdjupet och ju djupare schakt desto instabilare schaktslänter (Roadex, 2014). Man kan konstatera att vid ett schaktdjup djupare än 2 m i torv kommer schaktslänterna att vara mycket instabila. Ett sätt att förhindra schaktslänterna eller schaktväggarna från att rasa in i det tidigare utgrävda området är att stabilisera schaktväggarna genom att sponta. Detta ökar dock kostnaden för

urschaktningen ytterligare.⁶ Hus och byggnader nära området där schakten i torv äger rum kan ta skada av att en instabil schaktslänst uppstår. Dessutom kan den byggda väggkroppen komma att fungera som ett dränerande täckdike och på så sätt sänka grundvattennivån i området och påverka hydrologin i området (Roadex, 2014).

2.2.2. Torvens styrka förbättras

Om torven är tänkt att användas som undergrund vid en vägbyggnation måste torvens bärförmåga öka. För att förbättra torvens styrka och driva på konsolideringsprocessen och på så sätt förbereda undergrunden för väggkroppens tyngd kan förinstallation utföras. Genom att torv har egenskapen att ha en hög permeabilitet i sitt naturliga tillstånd lämpar sig torven väl att förbelastas då komprimeringen går relativt fort efter belastningen.

Förinstallation innebär att torven utsätts för en långsamt ökande belastning vilket successivt ökar torvens styrka. Samtidigt kontrolleras att den ökande belastningen inte förorsakar skador som lokal skjuvning av den underliggande torven eller att den spricker. Om den underliggande torven är en fibrös torv bör den inledningsvis belastas med 20 kPa vilket motsvarar ca 1 m grus. Nästföljande belastningslager bör endast placeras på det första lagret då 50-70 % av den primära konsolideringen av första etappen är genomförd. Samma process följer för resterande lager.

Fibrertorv har goda initiala egenskaper genom att den har en hög kompressabilitet samt permeabilitet vilket gör att den passar mycket väl att förbelasta. Förinstallation kan också användas för den amorfa torven men denna typ av torv kommer kräva mer tid för de olika etapperna. Omfattningen av avledningen av porvattnet från torvmatrisen är vanligen det som bestämmer graden av belastningen. Genom avläsning av piezometrar i fält, övervakning med avvecklingsplattor eller uppgifter om torvegenskaperna kan detta enklast beräknas. Undergrunden kommer slutligen att belastas med en last som överskrider den tänkta lasten i bruksstadiet (Munro & MacCulloch, 2006). Torven kommer att deformeras under belastningen och vatten måste pressas ut vid vattenmättnad. Även om torv har en ganska hög permeabilitet kommer konsolideringen av torven inte ske momentant utan deformationen kommer att fördröjas då det tar en viss tid för vattnet att pressas ut. Den del av totalspänningen som bärs upp av kornskelettet benämns effektivspänningen. Effektivspänningarna ökar hela tiden under själva konsolideringsförfarandet (Sällfors, 2009).

Vid långsam belastning med en bank ovanpå torven kommer torven att pressas och komprimeras. Växtfibrermatrisen som finns i torven kommer då att kunna ta upp större del av belastningen, vilket i sin tur innebär att styrkan i torven har ökat (Munro & MacCulloch, 2006). Den inledande fasen av konsolideringen benämns som den primära konsolideringen och pågår oftast lika länge som tiden av anläggandet av banken (Sällfors, 2009). Konsolideringen är beroende av bankens vikt, torvlagrets tjocklek samt andra eventuella

⁶ Algot Andreasson, kalkylator, Torslanda Entreprenader AB. Intervjuad 14/2 2014.

kompressibla lagertjocklekar (Munro & MacCulloch, 2006). Efter den primära fasen, då porövertrycket har utjämnats, fortsätter deformationen och konsolideringen av torven men i mycket långsammare takt. Deformationer av detta slag pågår med bevarade effektivspänningar från det att porövertrycket har utjämnats och namnges som krypdeformationer eller sekundär konsolidering (Sällfors, 2009). Då torv belastas av en yttre belastning och konsolidering äger rum, kommer torven efter en tid att uppnå ett jämviktsläge. Jämviktsläget är en balans mellan belastningen den utsatts för, graden av uppnådd sättning, den ökade styrkan hos torvens matris, grundvattennivån och flytförmågans effekt (Munro & MacCulloch, 2006). Efter att torven har erhållit den tänkta styrkan avlastas viktöverskottet och resultatet blir en stark undergrund av torv som vägen nu vilar på. En liten återgång av torven kan ske vid avlastandet (Roadex, 2014). Det tidigare nämnda jämviktsförhållande kan lätt störas genom en ökning av belastningen på torven så som ett nytt slitlager, fördjupning av vägens diken vilket i sig påverkar hydrologin. Effekten av att jämviktsbalansen störs som skapats efter en lång tid kommer vara att ytterligare förändringar kommer att ske, då oftast i form av en fortsatt konsolidering och sättning (Munro & MacCulloch, 2006).

Ur ett ekonomiskt perspektiv så anses metoden förspänning av torv vara den mest ekonomiska vägbyggnadsmetoden i norra Europa (Roadex, 2014). Dock anses metoden vara kostnadseffektiv för ett torvdjup upp till 4 m. Djupet kan förvisso vara större än så men effekten av förbelastningen kommer ta avsevärt mycket längre tid vilket måste tas med i beräkningarna. Nackdelen med denna metod är att överbyggnadens tjocklek är begränsad till att vara tunn och nära i höjd med den naturliga marken. En tumregel är att fyllnadshöjden inte ska överskrida 2-3 m ovanför intilliggande torvnivå. Det extra lasttillskottet vid förspänningen byggs vanligtvis upp av bärlagermaterial som är tänkt att användas för resterande delar av vägen. Detta medför i sin tur inga ytterliga kostnader för det extra lasttillskottsmaterialet i den totala kostnadsberäkningen av vägbyggnationen. Kostnaderna för den eftersträlvade vägen kommer att bero på flera faktorer så som typ av torv, djupet av torv, torvens vatteninnehåll, grundvattennivån samt belastningsfördelningen. Varje vägbyggnation kommer att kräva sin unika geotekniska bedömning av stabilitet och konstruktion. I Sverige har det visat sig efter tidigare projekt med den ovan beskrivna metoden, att överbyggnadsvikten då den tas i bruk bör vara högst 80 % av den slutgiltiga förspänningsvikten. Vid erhållen siffra av 80 % har flyteffekten tagits i beaktning, vilket motsvarar 25 % påslag på vikten av den färdiga överbyggnaden då flyteffekten ignoreras. En väl genomförd förspänning strävar efter en belastning av torven under en så lång tid som möjligt samt att vägen efter avlastningen ska vara mer än 0,5 m högre än den slutgiltiga färdiga vägnivån (Roadex, 2014).

2.2.3. Lastmodifikation med lättviktsmaterial

En vägkropp består till stor del av tung ballast vilken belastar undergrunden. Har detta material dålig bärighet t.ex. mjuk lera eller mossor kan detta innebära att belastningen blir för tung och att vägen kollapsar. På senare tid har därför nya så kallade lättviktsmaterial utvecklats. Dessa kännetecknas av lägre densitet, men högre materialkostnader och ofta också sämre hållfasthet över tiden. Ballast består till över hälften av naturgrus och resterande krossat

berg vilka är ändliga resurser. Den ökande medvetenheten om att bevara miljön och allt högre materialpriser gör att returmaterial i ökad utsträckning kommit till användning som lättfyllnadsmaterial. Den låga densiteten innebär också nya alternativa byggnadssätt. Vid anläggandet av så kallad flytande väg är det viktigt att materialet inte belastar vägen i onödan. Alltför tunga material innebär att torven under vägen konsolideras och vägen sätter sig. Detta kan undvikas om lättare fyllnadsmaterial används.

De äldsta lättviktsmaterialen är trävirke som korsvis lagda bildar "rustbäddar" med vilka markförstärkning skapas (Nationalencyklopedin, 2014). Senare kom bark, sågspån och spill som det tidigare fanns stort överskott av inom träindustrin. Bark har en dimensionerande skrymdensitet upptill 1000 kg/m^3 men är biologiskt nedbrytbart. Den sämre varaktigheten hos materialet gör att det används till mindre vägar där belastningen inte är stor. Så länge bark/sågspån hålls konstant fuktigt sker den biologiska nedbrytningen långsamt. Detta gör materialet användbart för utfyllnad av hålor i vattensjuk terräng. För att förhindra lufttillträde och uttorkning bör materialet täckas över till exempel med lera. Genom stigande oljepriser och ökad förbränning av trä har det skett prishöjningar, vilket reducerar möjligheten till användning inom vägbyggnad.

Utöver trämaterial finns även ett antal keramiska material som kan användas för lätta konstruktioner. Två exempel på denna typ av material är lättklinker och skumglas. Lättklinker, så som Light Expanden Clay Aggregate (Leca), tillverkas genom sintring av lera i en roterande ugn. Genom denna process, bildas det kulor då leran expanderar. Kulorna får en storlek mellan 0-32 mm och skrymdensiteten $650\text{-}1200 \text{ kg/m}^3$ beroende på fukthalt samt en tryckhållfasthet på 0,80 MPa. (Hansson & Åslew Andersson, 2010). Dessa lerkulor används till att framställa olika byggnadsprodukter – lecablock, plattor och även större byggelement. Inom vägbyggnad används materialet direkt och även som återvunnet från byggindustrin. Det krävs i allmänhet åtgärder för att hålla materialet på plats t.ex. med fiberduk eller ingjutning.

Skumglas är en relativt ny produkt som genom en miljövänlig process tillverkas av återvunnet glas. I tillverkningsprocessen renas allt slags glas från tungmetaller så att ett miljövänligt material återstår. Detta finmals till ett pulver som tillsätts en aktivator och får under hög temperatur expandera ca fyra gånger. När produkten lämnar ugnen blir avkylningen så snabb att materialet spricker sönder i kornstorlek mellan 10 till 60 mm. Materialet säljs under namnet Hasopor och lanseras som ett lättfyllnadsmaterial. Utmärkande för materialet är att det har låg vikt, kapillärbrytande och dränerande egenskaper samt har god isolationsförmåga. Produktens låga skrymdensitet $180\text{-}225 \text{ kg/m}^3$ och övriga egenskaper gör att materialet används på liknande sätt som EPS material.

Även betong kan användas som lättviktsmaterial. Exempel på detta är skumbetong. Skumbetong är en lättbetong som består av cement, vatten, luft och sand. Denna används som lättfyllning, förstärkning och återfyllning av schakt. Byggindustrin använder skumbetong till block och plattor, vilka säljs under handelsnamn som Siporex och Ytong. Vid beräkningar är skrymdensiteten $1000\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ och tryckhållfasthet 0,5 – 10 MPa. (Hansson & Åslew Andersson, 2010). Till vägbyggnad har skumbetong kommit till användning även som återvunnet material i form av rester ifrån byggindustrin. Detta begränsar dock

användbarheten, både beträffande hållfasthet och tillgång. När byggandet reducerats/förändrats har tillgången på billigt material minskat och därmed minskas användandet till vägbyggnad.

En materialtyp som lämpar sig väl för lätta konstruktioner är plast- och gummimaterial av olika typer. Expanderad polystyren, EPS (handelsnamn frigolit), är ett plastmaterial som ofta används i större infrastrukturprojekt och som tillverkas av små polystyrenpärlor som absorberat pentangas. Vid uppvärmning med ånga kan materialet utvidgas upptill ca 75 gånger. Det går att gjuta kulorna i strängar eller i block samt skräddarsydda element, anpassade för det aktuella behovet. Materialets låga skrymdensitet ca 100 kg/m^3 och isolerförmåga gör att det används för att skydda mot tjäle och till att bygga upp vägbankar så att marktrycket kraftigt reduceras. Beroende på hur stor andel råvara som skummet uppbyggs med, kan tryckhållfastheten varieras från 0,1 MPa och uppåt (Roadex, 2014).

Råvarukostnaden och miljökraven har med tiden inneburit en ökad inblandning av återvunnet material vilket förorsakat oro om hållfastheten. EPS måste skyddas från eventuellt spill av petroleumbaserade lösningsmedel och bränslen (till exempel bensin och diesel) samt från brand. Det får inte heller utsättas för solljus under längre tid, då nedbrytning av plasten sker relativt snabbt.

Vid byggen över instabil mark har gummimaterial i form av uttjänta däck blivit ett intressant grundläggningsalternativ. Flera olika metoder för att utnyttja materialet finns, men vid lågtrafikerade vägar över mossar har framförallt däckbalar studerats som lämplig metod. Dessa balar utgörs av lufttömnda däck som binds samman med stålvaror och är rektangulära till sin form. Balarna placeras i regel på en geotextil, antingen direkt på marken eller i en urschaktning, som separerar balarna från undergrunden och förhindrar differentialsättningar. Därefter fylls tomrummet mellan balarna med grovsand för att förbättra styvheten. Resultatet blir en lätt väg med god bärighet (Johnson et al., 2005).

Även aska har på senare tid blivit ett möjligt alternativ. Eftersom naturgrus och krossat berg är ändliga resurser är det ett miljöintresse att ersätta detta med nya material som finns i goda mängder. Övergången att utnyttja biologiskt material till energiproduktion och sopförbränningen skapar en ökande mängd aska och slaggprodukter av olika slag. Man skiljer här på flygaska och bottenaska. Flygaskan är den som innehåller mest skadliga ämnen, medan bottenaskan enklare kan renas så att slagget kan återanvändas som exempelvis väggrus. Det är ett miljömässigt problem att återanvända och deponera dessa restprodukter eftersom den urlakning av tungmetaller som över tiden sker till den omgivande naturen är en potentiell miljöfara. Det finns även en stor variation i innehållet av miljöstörande ämnen i askor och slagg. Askan från förbränning från rent biologiskt material anses dock som mindre miljöfarlig och jämförelse av miljöpåverkan från användning mellan naturmaterial och energiaskor visar att det finns askor som har lika eller bättre miljöegenskaper än naturmaterial (Carling, Hjalmarsson och Sveriges Geotekniska Institut, 1998).

Askor uppvisar också stor variation av densiteten beroende på ursprungsmaterialet. Träaskor har en skrymdensitet på ca 1100 kg/m^3 medan kolaskor och slagg har en skrymdensitet på ca $1400\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$. En fördel utöver kostnadsbilden hos askor är att dessa har en självhårdande

egenskap liknande betong, beroende på innehållet hos den brända kalken. Den skall då inte tidigare ha utsatts för vatten så att den självhärdar. Användningen av askor regleras främst genom Vägverkets byggnadstekniska anvisningar, VÄG 94 (Hjalmarsson, Bjurström, och Sedendahl, 1999).

Ett användningssätt för aska är som utfyllnad i vägbankar, men ett annat miljömässigt intressant alternativ är som inblandning i väggrus till skogsbilsvägar. Askan påförs vägkroppen med en bestämd fukthalt och i relativt tunna lager, samt komprimeras med tiden. Det översta slitlagret bör dock anläggas på traditionellt sätt på grund av askans sämre hållfasthet (Bergman och Suer, 2011). Enligt denna utredning är skogsbilsvägar det miljömässigt över tiden mest hållbara alternativet att deponera/utnyttja aska från papperstillverkning.

Aska och slagg är enligt miljöbalken definierat som avfall och det åligger vägbyggaren att göra anmälan. Den som vill använda aska i bygg- eller anläggningsändamål, där risken för förorening är ringa, behöver dock endast anmäla verksamheten till kommunens miljökontor. Anmälningsförfarandet är som en förenklad tillståndsprövning. En bra anmälan kräver god kunskap om askans innehåll och egenskaper för att kunna bedöma vilka skyddsåtgärder som är lämpliga. Producenten av energiaskor är ansvarig att ge uppgifter om askans innehåll och vägbyggaren är ansvarig för hur askan användes vid vägbyggnation (Lövström, 2012).

2.2.4. Geosynteter

Geosynteter är ett samlingsnamn för en rad olika polymera byggnadsmaterial som funnit stora användningsområden inom anläggningsindustrin de senaste 50 åren. Dessa användningsområden är bland annat grundförsträckning, filtrering och separation i geotekniska konstruktioner. Inom gruppen geosynteter omfattas geotextilier, geonät (eng. ”geogrids”), geomembran och en lång rad andra material med många typer av specialdesignade egenskaper för att hantera specifika problem. Den stora ökningen av användandet av geosynteter kommer av att de erbjuder många enkla och kostnadseffektiva lösningar för de problem som kan uppkomma vid byggande i mark och vatten (*Introductory lecture*, 2010).

De främsta syftena med geosynteter vid vägbyggnad är att separera olika lager i vägkroppen (exempelvis undergrund och underbyggnad) samt förstärka grund och vägkropp mot laster från trafik. Till dessa två syften används i huvudsak geotextilier och geonät, varför en förståelse för dessa två typer av geosynteter är nödvändig för att kunna bedöma rimligheten i att använda geosynteter vid ett givet vägbygge. I följande avsnitt kommer främst dessa två typer av geosynteter att behandlas – både med hänsyn till deras egenskaper samt till potentiella applikationer vid vägbyggen. I marker där risk för vattenproblematik föreligger är även de dränerande egenskaperna hos geosynteterna av intresse, varför dessa också kommer att behandlas. Kostnader för olika former av geosynteter och geosyntetiska lösningar kommer att redovisas för att etablera ett begrepp för rimligheten i deras användande vid vägbyggen, i synnerhet vad gäller lågtrafikerade vägar och vägar över instabila marktyper (Geosynthetic Materials Association, 2002).

I vägbyggnadssammanhang används, som nämnts ovan, geosynteter främst för separation och förstärkning. De vanligaste geosynteterna som används för dessa syften är geotextilier respektive geonät.

- *Geotextilier*: Geotextilier är en form av permeabel textil som används i nära kontakt med jord, berg och mark. De är i regel gjorda av polyester eller polypropen och delas in i två huvudgrupper baserade på struktur – vävda och ickevävda geotextilier (ViaCon, 2014). De vävda geotextilierna delas in i ett antal olika undergrupper baserat på trådtyp och vävningsteknik, men utmärker sig i allmänhet genom att de är uppbyggda av sammanhängande trådar eller band vävda i rätvinkliga strukturer. De ickevävda textilierna består i sin tur av oordnade fibrer som binds samman genom en rad olika metoder, till exempel nålfiltning. Geotextiliernas främsta syfte är för separation, filtrering, dränering och förstärkning (Meccai & Hasan, 2004). Separationen sker genom att duken förhindrar olika jordlager i en geoteknisk konstruktion från att blandas, medan filtrering och dränering kan kontrolleras genom storleken på porerna i textilen. Förstärkning sker genom att duken bidrar till en ökning av skjuvhållfastheten i jorden.
- *Geonät*: Ett geonät är en styv, nätformad geosyntet i ett eller flera lager vars främsta uppgift är att stabilisera geotekniska konstruktioner (Geosynthetic Materials Association, 2002). Näten är främst gjorda av polypropen, poetylen eller polyester och verkar genom att hålligheterna i nätet låser jord, vilket bidrar till en ökad stabilitet och styvhet i jorden (ViaCon, 2014). Näten kan läggas i flera lager, om nödvändigt, för att på så sätt ge en ökad hållfasthet i jorden. Detta gör det möjligt att i detalj styra jordens bärighet. En annan fördel med geonät är deras låga vikt och förmåga att sprida ut lasten i exempelvis en väg (Forestry Civil Engineering & Scottish Natural Heritage, 2010). Detta möjliggör en kraftigt minskad tjocklek, och därmed tyngd, på vägen vilket medför minskade sättningar och minskade kostnader trots bibehållen bärighet vid oförändrad trafiklast, i jämförelse med oförstärkta vägar.

Den stora variationen bland geosynteter medför en stor mängd olika lösningar på de problem som kan uppkomma vid grundläggning och förstärkning av vägar. Detta gör det svårt att tala i alltför generella termer. Man kan dock, ifrån ovanstående genomgång av de två mest använda geosynteterna i vägsammanhang, dra slutsatsen att de två primära funktionerna hos geosynteter i en vägkonstruktion är separation och förstärkning. Även dräneringsegenskaperna hos framförallt geotextilierna är av vikt när risk för vattenproblematik föreligger. En genomgång kommer att ges av dessa tre användningsområden och därefter kommer ett antal olika lösningsförslag undersökas och analyseras.

När två jordmaterial av olika kornstorleksfördelning kommer i kontakt med varandra och utsätts för tryck kommer partiklar att migrera mellan lagren (Geosynthetic Materials Association, 2002). Detta är framförallt ett problem med mjukare jordlager, så som leror, silt och torv. Migrering av partiklar mellan vägens olika skikt minskar bärigheten och är på så sätt

ett problem som måste åtgärdas för att kunna ge god kvalitet och lång livslängd för vägen. Som nämnts tidigare besitter geotextilierna de egenskaper som generellt behövs för att kunna agera som goda barriärer i de situationer då det finns risk för blandning av olika lager. Ett materialskiljande lager kan kraftigt öka bärigheten i vägen, särskilt då undergrunden utgörs av lera eller torv. Som exempel kan ett lager som sätts in mellan undergrunden och fyllnadsmaterialet i underbyggnaden öka bärigheten med 40-50 % (Geosynthetic Materials Association, 2002).

Vid användning av ett materialskiljande skikt i en vägkonstruktion är det viktigt att geotextilen uppfyller följande krav (Trafikverket, 2011):

- Förhindra finkornigt material från att passera genom skiktet
- Vara vattengenomsläppligt för att undvika höjning av porvattentrycket
- Ha sådan hållfasthet att brott inte inträffar.

Vid användning som separerande lager indelas vanligtvis geotextilierna i klasser efter deras förmåga att utstå mekanisk påverkan i form av exempelvis direktkontakt med material med skarpa kanter eller tung trafik under anläggningsskedet.

Den andra funktionen, förstärkningsfunktionen, hos en geosyntet kommer av dess förmåga att uppta och sprida laster från trafiken ner i vägkroppen (Rimoldi, 2001). Denna funktion uppnås framförallt av geonäten genom deras styvhet och förmåga att låsa partiklar i nätets håligheter, medan geotextilier verkar förstärkande genom att textilen bildar ett stödjande membran i jorden – i takt med att jorden deformeras av lasten kommer en större andel av lasten att bäras av membranet, tills dess att den samlande bärande förmågan hos jord och membran når ett jämviktsläge med lasten.

Vid byggande på instabila marktyper, så som torv, har geonätens förstyvande verkan en stor betydelse för förmågan hos marken att bära laster, något som utnyttjas i så kallade flytande vägar (Forestry Civil Engineering & Scottish Natural Heritage, 2010). Den förstärkta jordens styvhet gör att sättningarna minskar samt att de sättningar som uppkommer blir jämnare fördelade som ett resultat av att nätet sprider lasterna jämnt över hela ytan. Den ökade bärigheten hos jorden gör även att tjockleken på vägen, och därmed tyngden och mängden material, kan minskas.

Vid användandet av geonät för förstärkningssyften är det främst fyra faktorer som påverkar interaktionen mellan jord och nät, vilket i sin tur påverkar stabiliteten i lösningen. Dessa faktorer är (Forestry Civil Engineering & Scottish Natural Heritage, 2010):

- Storleken av håligheterna i förhållande till stenstorleken i vägmaterialet
- Formen på håligheterna
- Form och styvhet på nätet
- Styvheten på maskorna i nätet

I ideala fall samverkar dessa faktorer väl med vägmaterialet och bildar en styv komposit. Ett geonät kan förstärka ett materiallager på upp till 450 mm i bästa fall, givet ideal samverkan

och god packning av vägmaterialet. Om en tjockare väg önskas bör ytterligare ett nät läggas till. Ett extra nät kan även vara fördelaktigt då en styvare väg önskas.

Trots fördelarna med geosynteter för förstärkningssyften så finns det några nackdelar som behöver tas i beaktning (Bendzovski & Melin, 2008). En sådan nackdel är att det i geosynteter uppstår relativt stora deformationer vid dragkrafter, vilket kan skapa stora spänningar i en konstruktion. En annan nackdel är att de kan försvagas av UV-strålning. De är dock i regel mer beständiga än andra material i korrosiva miljöer, vilket kan vara till fördel vid byggande i särskilt sura jordar.

Som tidigare nämnts är vatten ofta ett problem vid vägbyggen och därmed blir dräneringsprocess en viktig del av många vägkonstruktioner. I mark med höga grundvattennivåer kan vattnet förändra jordarnas stabilitet och hållfasthet och därför blir det ofta nödvändigt att dränera marken för att kunna bibehålla en stark grund (Geosynthetic Materials Association, 2002). Dränering blir även nödvändig för att undvika skador i vägen till följd av infiltration av vatten i vägkroppen. Undermålig dränering orsakar ett ökat underhållsbehov av vägen och förkortar dess livslängd (Meccai & Hasan, 2004).

För att främja god dränering krävs det att dräneringslösning uppfyller två kriterier (Meccai & Hasan, 2004):

- God och bibehållen permeabilitet
- Förmåga att filtrera finmaterial

Om dessa två kriterier uppfylls kan vatten enkelt dräneras undan från vägen utan risk för transport av material, vilket därmed bidrar till en bibehållen integritet av vägkroppen. För att uppfylla dessa två kriterier kan geotextilier användas då de besitter god permeabilitet samt förmåga att filtrera finmaterial (ViaCon, 2014).

Vid användning av geosynteter för dräneringssyften är det inte ovanligt att kombinera olika synteter och bilda så kallade geokompositer, med varierande egenskaper. En vanlig sådan lösning består av ett geotextilfilter över ett geonät (så kallade ”blanket drains”) som kan användas vid dränering av vägens underbyggnad.

Som kan ses av den ovanstående genomgången besitter geosynteterna en stor variation i uppbyggnad, egenskaper och funktioner som bidrar till en stor mängd olika lösningsmöjligheter för många former av geotekniska utmaningar. Möjligheten att specialdesigna geosyntetiska material för särskilda tillämpningar breddar geosynteternas användningsområden ytterligare. Denna variation leder dock även till att det blir en omöjlighet att tala i alltför generella termer om vägtekniska tillämpningar av geosynteter. Trots detta kan en enkel undersökning av ett antal olika tillämpningar ge en god förståelse av hur geosynteterna kan användas i praktiken. I synnerhet kommer tillämpningarna behandla metoder som lämpar sig för torvmarker (Geosynthetic Materials Association, 2002).

Det irländska Department of Environment and Local Government undersökte 2000 vilka de vanligaste underhållsmetoderna för vägar över torv var i Irland. Bland dessa metoder fanns bland annat anläggning av nytt slitlager och ny överbyggnad samt förstärkning med geonät.

Den sistnämnda metoden var inte lika vanligt använd som de andra två men ansågs vara en relativt enkel och kostnadseffektiv lösning med betydligt längre livslängd än de andra två. I de fall som undersöktes var det främst två lösningar – den första med bitumentäckt polyesternet i samverkan med en tät bitumenmakadam och den andra med ett styvt polpropennät i samverkan med tunna överbyggnader av krossat sten. Båda dessa metoder anses kunna ge ett likvärdigt resultat vid korrekt utförande, men det bitumentäckt polyesternet ansågs vara betydligt mer lättmonterat. Detta bedömdes bero på att polyesternet är mindre styvt, samt att bitumenskiktet på nätet ökar kohesion mellan nät och fyllnadsmaterial. Förstärkning av vägen med geonät har i dessa fall visat sig ge en livslängd på 10-12 år, beroende på överbyggnadstyp. Detta kan jämföras med den vanligaste underhållsmetoden, omläggning av slitlagret, vilket har en drygt hälften så lång livslängd på 6-8 år. I de fall då överbyggnaden lagts om utan förstärkning med geonät har en livslängd på 3-10 år kunnat uppnås, beroende på överbyggnadstyp (Department of Environment and Local Governments, 2000).

Ytterligare en typ av lösning som kan användas över torvmarker är den så kallade ”flytande vägen”. Denna typ av vägkonstruktion byggs direkt ovanpå torven och utnyttjar torvens egen bärighet – den ”flyter” på torven. Detta görs genom att torven sakta belastas så att konsolidering sker till önskad styrka. Denna typ av väg utnyttjar i hög grad geosynteter, särskilt geonät. Förmågan hos geonät att förstyya vägen och förhindra differentialsättningar gör dem väldigt användbara vid byggandet av flytande vägar.

Exempel på flytande vägar kan hämtas ifrån Skottland. En standardväg byggd på denna princip består av ett geonät intill torven för att ge en stabil arbetsyta för resten av vägen. Efter följer 350-450 mm fyllnadsmaterial, beroende på tillverkarens rekommendationer. Efter det följer den valda överbyggnaden. Geotextilier för separation kan också inkluderas i konstruktionen, men det är viktigt att rekommendationerna från tillverkaren av geonätet följs för att få bästa effekt (Forestry Civil Engineering & Scottish Natural Heritage, 2010).

Vid alla former av infrastrukturprojekt är kostnaden en av de starkast styrande faktorerna. Att diskutera olika lösningsförslag utan att ta hänsyn kostnaden är således inget alternativ. Samtidigt finns en viss svårighet i att bedöma kostnaderna för olika lösningar eftersom inget projekt är det andra likt. Trots detta kommer en lättare överblick av kostnaderna för olika geosyntetiska lösningar att ges här, så att en viss förståelse för rimligheten i olika kostnadsförslag kan nås.

I styckena ovan diskuterades några fall från Irland. Department of Environment and Local Government (2000) ger några prisuppgifter för de beskrivna lösningarna. Genomsnittsvärdena är beräknade genom att kvoten för kostnad och tid i mitten av de givna intervallen beräknats. Då de ursprungliga uppgifterna är givna i pund har en omvandling till kronor gjorts, med en valutakurs på 11 kronor per pund.

- 88-154 kr/m² för förstärkning med geonät, beroende på överbyggnadstyp och markförhållande (livslängd 10-12 år). I genomsnitt 11 kr/m², år
- 38,5-60,5 kr/m² för byte av slitlager (livslängd 6-8 år). I genomsnitt 7 kr/m², år

- 44-110 kr/m² för renovering av överbyggnad, beroende på överbyggnadstyp (livslängd 3-10 år). I genomsnitt 12 kr/m², år

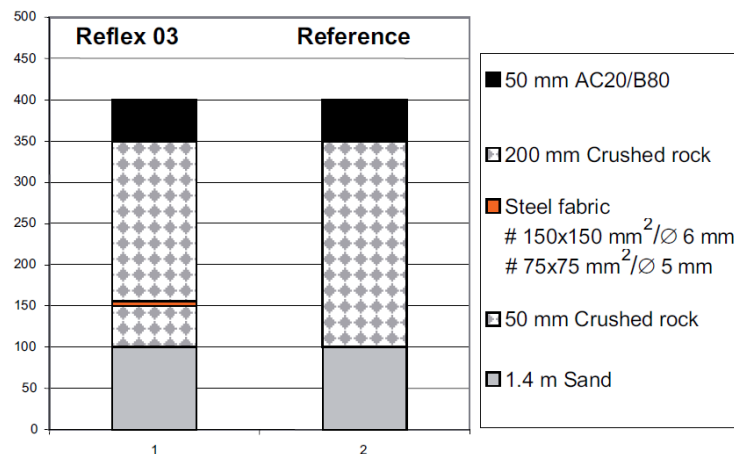
Roadex ger en bedömning av kostnaderna för olika grundläggningsförslag för väg över torv. Ett av dessa förslag, som man benämnt ”preloading and reinforcement”, bygger på användandet av geonät och geotextilier för förstärkning. Kostnaden för detta förslag ges till ungefär 2000-3500 kr/m färdig väg, beroende på djupet på torvlagret (Roadex, 2014).

2.2.5. Stålarmering i väg

Som tidigare nämnts är det viktigt att vatten snabbt kan ledas bort från vägbanan. Att därför lägga ett bitumenbundet översta lager är en ofta förekommande lösning. Asfalt har dessutom fördelen att lasterna fördelas jämnare över vägen vilket ger ökad stabilitet i vägkroppen. Under en vägs livslängd bildas dock ofta förslitningar och sönderfall av beläggningen, vilket resulterar i spårbildningar och sprickor i vägen. Skadorna orsakas ofta av högre laster från trafik och större hjulaxeltryck än vad som tidigare förutsetts. De överbyggnader som tidigare anlagts är sällan dimensionerade för det trafikflöde som finns i dagens läge. Materialen i undergrunden är dessutom känsliga för fukt som kan ta sig in via sprickor och på grund av otillräcklig dränering. Detta resulterar i försämrad bärighet hos materialen. Den försämrade bärigheten leder senare till spårbildning vilket har blivit ett vanligt förekommande problem i Sverige. På 1980-talet beslutade sig Vägförvaltningarna i Norr- och Västerbotten för att hitta kostnadseffektiva lösningar till problemen och dess följder, ofta tjälsprickor. Vid det läget var två metoder vanligast, isolering av cellplast eller urschaktning till icke tjälutskjutande material. Lösningarna var dock kostsamma då det krävdes att hela vägbredden åtgärdades, det visade sig annars att sprickorna återkom i den återgårdade vägbredden 3-4 år senare. Alltså krävdes nyare och effektivare metoder. Den metod som då provades var installering av stålnätsarmering i vägen, antingen i asfalten eller i obundet material.

I de första försöken att öka bärigheten i vägen lades armeringsnät i asfaltens bärlager, 70 mm från vägytan i mitten av bituminöst lager. Test utfördes då man jämförde två alternativ – ett med anlagt armeringsnät och ett utan – varvid de båda utsattes för tryck från dubbelhjul med 60 kN hjullast och 800 kPa däcktryck i 10 °C vilket motsvarar normal vägtemperatur. Resultatet visade att den väg som innehöll armering klarade sig betydligt bättre och hade en ökad livslängd med 50-60 % jämfört med den vägsektion som inte var armerad. Huvudorsaken till det förbättrade resultatet var att lasterna fördelades ytterligare genom det armerade tvärsnittet (Sandberg & Björnfot, 2004).

Ytterligare tester har senare utförts i Finland där resultatet är jämförbart med det tidigare. Försök med Ø 6 mm kamstänger och 150 mm kvadratiska rutor jämfördes mot Ø 5 mm kamstänger och 75 mm kvadratiska rutor. Som referens användes ingen armering alls i ytterligare ett försök. Armeringen lades ut i ett 250 mm tjockt obundet bärlager, 50 mm ovanför terrassytan. Ovanpå det obundna bärlagret låg ett bituminöst lager på 50 mm och under fanns ett tjockt lager med finkornigt material (se Figur 2.2).



Figur 2.2: Finskt bärighetsförsök (Sandberg & Björnfot, 2004).

Mätningar skedde kontinuerligt under försöken. Olika belastningsförhållanden gav mätvärden i deformationer och påkänningar i de olika avsnitten. Spårjupet mättes med laser i intervall på sex avsnitt. Vid försöket mättes:

- Deformering av ytan
- Spänningar i längs- och tvärgående riktning i stål nätet samt i botten av det bitumenbundna materialet
- Vertikalt tryck och vertikala deformationer i sandunderlaget.

Mätningarna gav resultatet att de armerade avsnitten klarade av 50-100 % fler återkommande belastningar jämfört med det oarmerade avsnittet, medan de däremot inte visade någon skillnad i resultat mellan varianterna av stål näten. Vid jämförelse med det tidigare försöket kan det konstateras att bärformågan ökar då armeringen placeras i obundet bärlager relativt i bitumenbundet överlager. Likt det tidigare försöket var spårbildningen avsevärt snabbare i det oarmerade avsnittet, beroende på spårbildningsnivå tålde de armerade avsnitten 50-100 % fler belastningar vid samma spår djup. Sprickbildningen i det bitumenbundna lagret reducerades dessutom i avsnitten med stål armering. Utöver den förstärkta bärigheten i avsnitten fungerade stål näten som skyddande skikt mellan lagren och förhindrade att inget material från bärlagret gick igenom nätet (Sandberg & Björnfot, 2004).

Anledningen till framtagandet av metoden med stål nätsarmerade asfaltsskikt var att reducera underhållskostnaderna av vägen. Såväl reducerade anläggningskostnader som minskad åtgång av naturresurser är positiva faktorer med metoden. Kostnaden för stål nätsarmering är ca 30 kr/m². Då Vägverket Region Norr gjorde en jämförelse i kostnader mellan urschaktning av väg kontra armerade asfaltsskikt kom de fram till följande:

Urschaktning	Kostnad	Stålarmering	Kostnad
Schaktningskostnad	ca 50 kr/m ²	Armeringsnät inkl. leverans	30 kr/m ²
Återfyllning	ca 150 kr/m ²	Utläggning	5-10 kr/m ²
Summa	ca 200 kr/m ²	Summa	35-40 kr/m ²

Tabell 2.1: Jämförelse av kostnader för urschaktning resp. stålarmering

Projekteringskostnaderna är beräknade utifrån arbete med reparation av tjälsprickor och alternativet med stålnätsarmering motsvarar således 10-20 % av vad urschaktning av tjälutskjutande material kostar.

Lagning av sprickor i vägen är vanligt förekommande. Beroende på mängden och storleken av sprickorna är behovet självklart unikt för varje väg men grovt räknat är arbete med spricklagning mer eller mindre årligt förekommande. Då varje lagning dessutom är relativt kostsam, ca 3-4 kr/lpm spricka, kan alternativet med stålnätsarmering bli lönsamt redan efter 5-10 år. (Sandberg & Björnfot, 2004)

Metoden med stålarmering som förstärkning av vägar började användas i Sverige i mitten på 80-talet. Då kunskapen om stålnätsarmeringens effekter på vägen var bristande bestämdes att tester skulle utföras på vägar som blivit reparerade. Prover med fallviktsmätningar utfördes på vissa av de vägbeläggningar som blivit reparerade för att se hur vägarna har reagerat. En av de vägar som testades var väg 771 mellan Hysta och Arkhyttan som reparerades 1992. Den årliga medeldygnstrafiken var ca 900 fordon varav 20 % bestod av tung trafik. Vägsträckan som provades var 1000 m lång och 6,5 m bred. Före reparationen bestod vägen av 40 mm asfalt ovanpå ca 120 mm obundet bärlager. Undertill fanns ett ca 500 mm lager med sandigt material följt av undergrund bestående av siltig lera. Då det obundna materialet var alltför finkornigt och sandigt hade djupa spår och sprickor i vägens yta uppkommit.

Vid reparationen jämnades ytan ut med ett lager asfalt och därefter förstärktes ytan med stålnät, Ø 5 mm och 75 mm kvadratiske rutor. Armeringen täcktes därefter över med 40 mm asfalt. Näten var 2 m långa och placerade i vägens riktning. Efter anläggandet av stålnäten utfördes flertalet inspektioner. Från provborrning kunde man konstatera att asfaltslagret förblev sprickfritt om armeringsstängerna var täckta med 30 mm asfalt eller mer. Var däremot det täckande asfaltslagret 25 mm eller tunnare förekom ständigt sprickor i asfalten vid de tvärgående skarvarna mellan stålnäten. I referenssträckan förekom långa och djupgående sprickor med deformationer som påminde om de tidigare (Sandberg & Björnfot, 2004).

Fallviktsmätningar för kontroll av vägens bärighet utfördes men resultaten avvek inte från de tidigare mätningar som utförts, det kunde därmed inte konstateras om de armerade vägbeläggningarna ökade vägens elasticitet. För att förtydliga den ökade bärighetskapacitet som uppkommer i och med armerade vägbeläggningar krävs mätningar med övervakning under längre perioder än de som utfördes vid dessa mätningar.

Teoretiska beräkningar med finita elementmetoden och linjära beräkningar har i efterhand indikerat på att bästa bärighet fås då stålårsarmeringen placeras i underkant av asfaltsarmeringen. Beräkningar för tjocklekar av asfalten på 220, 260, 300 och 360 mm visade att desto tunnare asfaltsskiktet är desto större är den gynnsamma effekten av stålårnäten. Därmed utnyttjas stålårsarmering bättre i vägar med tunnare vägbeläggningar.

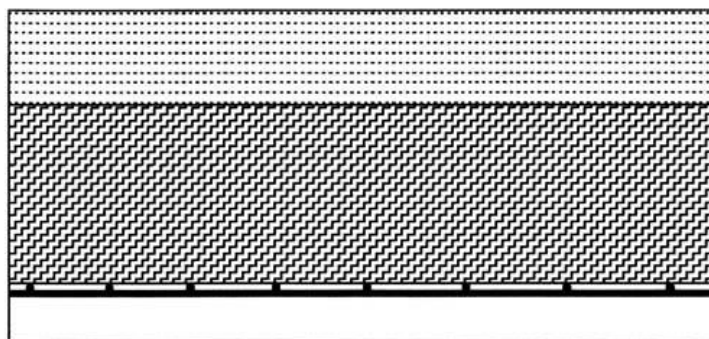
Trots att denna metod använts en del historiskt i Sverige är erfarenheten av förstärkning med hjälp av stålårsarmering i grusvägar ännu relativt liten. I Finland har däremot den tekniken använts flitigt och varit en stor framgång. Enligt det finska vägverket är skissen nedan (se Figur 2.3) en lämplig åtgärd för hur armering i grusväg kan läggas ut. Eftersom det inte finns någon skyddande beläggning runt armeringen är risken för korrosion större än på asfaltsvägar, därmed rekommenderas armeringsdimension på $\varnothing 7$ mm alternativt galvaniserade stänger på $\varnothing 5$ mm med rutstorlek på 100 mm (Sandberg & Björnfot, 2004).

Gruslitrager: 60-80 mm

Bärlager: 150 mm

Armeringsnät

Bärlager: ≈ 50 mm (Avjämning)



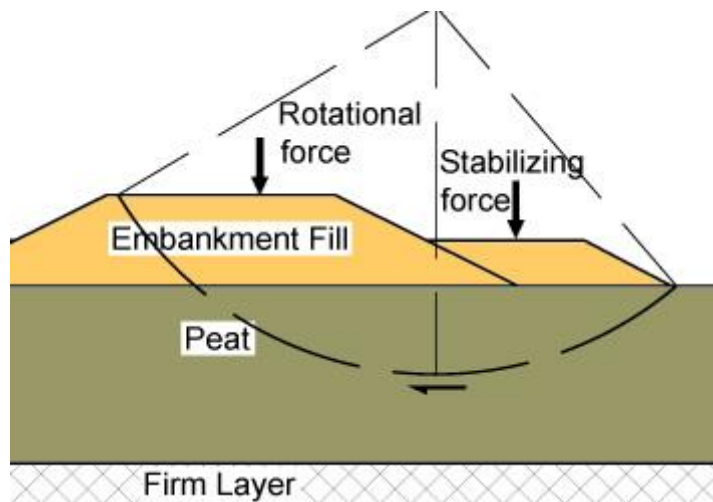
Figur 2.3: Lagerföljd grusöverbyggnad (Sandberg & Björnfot, 2004).

2.2.6. Mottrycksvallar

Jord har generellt en låg draghållfasthet. Speciellt gäller det i vattensjuka jordar där vatten trängt in mellan kornen, så att avståndet mellan dem ökat. Detta förhållande råder i en vägkropp som löper genom en torvmosse där åtgärder ofta behöver vidtagas för att motverka bottenuppträckning och förhindra så att vägkroppen inte glider ut sidled. Ett sätt att motverka att vägen flyter ut är att skapa stödvallar. Då mottrycksvallar används breddas basen för vägkroppen vilket fördelar belastningen av vägkroppen över en större yta och höjer säkerhetsfaktorn för vägen.

Genom anläggande av en mottrycksvall skapas en motvikt för vägkroppen som hindrar glidcirkeln vilket tvingar denna djupare och längre in i torvmassan (se Figur 2.4). För att få mottrycksvallen effektiv krävs det att denna är tillräckligt bred så att dess tyngdpunkt verkar på motviktssidan av glidcirkeln (se Figur 2.4). Vid anläggandet av en mottrycksvall är det viktigt att den uppfyller sina egna stabilitetskrav och att anläggningsprocessen sker i etapper under övervakning. Stödvallen gör sig bäst genom att konstrueras på samma sätt och samtidigt som vägen anläggs. Detta för att konstruktionen ska kunna bibehålla ett över tid

stabilt tillstånd. Den kan i princip konstrueras av vilket material som helst, även av torvmassor som grävts upp (Roadex, 2014).



Figur 2.4: Cirkulär glidyta med stabiliserande stödvall (Roadex, 2014).

2.2.7. Täckdike

Ett täckdike är ett övertäckt dike i vars botten det finns ett vattenförande material, till exempel i form av ett perforerat rör. Täckdike används ofta vid dränering av åkermark, golfbanor, husgrunder eller för avvattning av landsväg, där det av utrymmesskäl inte är lämpligt med ett öppet dike. Det finns flera olika typer av täckdiken som utvecklats genom åren, såsom torvdiken, trätäckdiken, stendiken, tegelrörsdiken samt moderna täckdikeshör. I mitten på 60-talet introducerades plaströren som kom att konkurrera ut de tidigare dominerande tegelrörerna. Efter år 1983 har plaströren av polyetenplast eller av PVC-plast varit de rör som näst intill helt användes inom täckdikning. Plaströren har oftast slitsar som upptar överskottsvattnet och där jorden har stora kalkutfällningar och rostutfällningar används rör med större slitsar för att undvika igensättning.

Täckdikets uppgift är att avvattna marken. Vid täckdiken i vägbyggnadssammanhang skall dränledning i botten på diket vara stenfylld med material av kornstorlek 22,4-90 mm. Ett öppet dike kan av utrymmesskäl många gånger vara olämpligt. Vid anläggning eller reparation av en väg över en mosse kan volymen som ett öppet dike upptar behöva användas till andra ändamål. Vid användandet av ett täckdike eller ett stenfylld dike breddas basen för väggroppen och på så vis kommer belastningen av väggroppen att fördelas över en större yta. Ett täckdike kan därför även fungera som en stödvall. Vid anläggandet av ett täckdike vid en flytande väg över en mosse är det viktigt att grundvattennivån i mossen inte sänks, då detta medför att väggroppen blir tyngre. Därför bör täckdiket anläggas ovanför grundvattennivån så att täckdiket enbart fungerar till avvattning av landsvägen (Granhage, 2009).

2.2.8. Förstärkning av slänt

För att hantera släntproblematiken som kan uppkomma vid byggande av vägbankar kan olika former av förstärkningsåtgärder användas. Bland dessa finns armering av slänten, tryckvallar och vegetation.

Armering under en vägbank kan användas för att reducera vertikala och horisontella förskjutningar men det är huvudsakligen mer effektivt vid reduktion av de horisontella. Reduceringen av dislokationer kan ses som en funktion beroende av skjuvhållfastheten och djupet av de mjuka materialen. Vanligtvis förekommer de högsta skjuvspänningarna och de maximala deformationerna i centrum och i ytterkanten av vägbanken. Vallens material ålägger en last motsvarande sin egen vikt på undergrunden varvid följande skjuvspänningar uppkommer. Dessa spänningar verkar från centrum och utåt mot ytterkanterna av banken och är en följd av den reducerade hållfastheten i undergrunden. Vid anläggning av armering motverkas skjuvspänningarna och därmed erhålls en ökad stabilitet i slänten.

Där vägbanken är för hög för att klara av tillräcklig stabilitet kan tryckvallar användas som förstärkning. De används som alternativa val av förstärkning för att nå önskad stabilitet i slänten där plats och närhet till fyllnadsmaterial är tillgängliga. Tryckvallar fungerar som motvikt och är framförallt användbara för att stabilisera slänten vid ökad last från trafik eller påfyllning av material i väggroppen. Höjden och bredden på tryckvallen beror på dess densitet, skjuvhållfastheten i undergrundens material samt djup till fast botten.

I en del situationer är det inte önskvärt att använda armering eller stödvallar för att förstärka slänten. I dessa fall kan skjuvhållfastheten i jordprofilens översta meter ökas med hjälp av lågväxt vegetation på vägbankens slänter och kanter. Den ökade skjuvhållfastheten beror på rötternas tjocklek, styrka och hur djupt i profilen de går. En slänt med vegetation får tack vare växternas rötter en ökad kohesion i jordens översta lager och därmed erhålls lägre risk för yterrosion. Då rötterna dessutom tar upp mycket av markens vatten som bidrar till erosion ökas släntens stabilitet (Bhattacharyya, 2009).

3. Resultat

Baserat på den tidigare genomgången av olika åtgärder med utgångspunkt i bakgrundsfakta och den aktuella vägens förutsättningar går det att göra en bedömning av de mest lämpliga åtgärderna för vägen ifråga. Detta baseras på åtgärdens omfattning, miljöpåverkan och kostnad samt hur väl metoderna utför sitt tänkta syfte. De åtgärder som inte är tillämpliga går således att utesluta. De bäst lämpade åtgärderna dimensioneras till ett antal slutgiltiga konstruktionslösningar med tillhörande kostnadskalkyler.

3.1. Slutsatser från teorin

I följande avsnitt redovisas för- och nackdelar för respektive åtgärder. Detta möjliggör att de mest lämpade lösningarna för grusvägen över Kollanda mosse kan väljas för dimensionering.

3.1.1. Geonät

Metoden med geonät baseras på att ett lager över vägbanan hyvlas av, ett nät placeras över ytan innan ett nytt bärlager samt slitlager placeras över detta. Det bygger på principen att nätet samverkar med ovan- och underliggande lager och håller ihop dessa. Detta är en relativt enkel metod som är väl beprövad i de aktuella sammanhangen.

Fördelarna med denna metod är att både sättnings- och bärighetsproblemen åtgärdas då ballastmaterialet i vägen samverkar med geonätet för att bilda en styv komposit, vilket motverkar differentialsättningarna. Detta leder även till att vägens kanter hålls ihop vilket skapar en stabilare väggkropp och en förstärkt vägbana. Med en mer sammanhängande väggkropp innebär det att man på ett effektivt sätt undviker att vägen flyter ut vilket underlättar upprättandet och bevarandet av diken. Då vägens styvhet och styrka kan ökas med näten innebär det att man inte behöver samma mängd material i väggkroppen för att uppnå samma styrka. Detta leder till att en tunnare väg och därmed lättare väggkropp kan byggas. På så vis kan lasten minskas samtidigt som styrkan i vägen förbättras. Geonäten har även en förmåga att motverka skador från tjälsprickor i marken genom att förstärka vägbanan. Utöver detta är användning av geonät för förstärkning en etablerad metod som är enkel att genomföra och som med fördel kan kombineras med andra lösningar, exempelvis lättfyllnadsmaterial. Geonäten har även en möjlighet att förbättra släntstabiliteten genom att näten dras ut mot släntkant.

Nackdelarna med geonätmetoden är att hyvlingen medför stora materialtransporter samt kostnader för hantering av materialet.

3.1.2. Lättfyllnadsmaterial

Användningen av lättfyllnadsmaterial innefattar ett bortschaktande av den underliggande torven till ett lämpligt djup för att på så sätt kunna kompensera vägens tyngd. Ett stort antal olika material kan väljas samt flera olika urschaktningsdjup vilket ger ett stort antal möjligheter för hur denna metod kan utföras.

Fördelarna med lättfyllnadsmetoden är att den minskar lasten som den underliggande torven utsätts för, vilket i sin tur minskar sättningarna. Även detta är en väletablerad metod för hantering av instabila jordtyper. Denna metod kan kombineras med geonät för en ännu lättare väg. De stora valmöjligheterna vad gäller val av lättfyllnadsmaterial för den här metoden gör att man kan skraddarsy en lösning för den aktuella vägen. Detta kräver dock en diskussion om vilket det mest lämpliga materialet är, med hänsyn till såväl kostnad som tillgänglighet och kvalitet.

Trots dessa fördelar är denna metod inte helt oproblematiske. För att utnyttja lättfyllnadsmaterialet behöver vägen grävas upp och anläggas på nytt vilket är ett omfattande och dyrt arbete då stora mängder material måste transporteras till och från byggplatsen. Även de djupa urschaktningarna kan bli ett problem, särskilt i förhållande till de grundare urschaktningarna som behövs för användning av exempelvis geonät.

3.1.3. Stålarmering

Stålarmering i vägbanan är ett alternativ till geonät som bygger på samma principer. Stålnät placeras ut under bärlager och slitlager för att bättre fördela lasterna. För att kunna installera näten krävs en hyvling av vägen ner till önskat djup. Därefter installeras näten och bär- och slitlager återförs på nytt.

Fördelarna med stålarmering är desamma som för geonät, då de verkar efter samma principer. Under byggskedet kan armeringen läggas ut i etapper för att på så sätt minska störningar i trafiken över den aktuella sträckan.

Nackdelar med stålarmeringen är att den inte samverkar lika väl med materialet som ett geonät gör. Stålarmeringen är också dyrare och tyngre än geonät, även om det sistnämnda inte har någon dramatisk påverkan i den mängd som alternativet skulle innebära. Som alltid vid användning av stålmaterial är korrosion en långtidsrisk som potentiellt kan minska vägens livslängd. Stålarmering lämpar sig som bäst vid asfalterad väg men eftersom inte ett bundet bärlager är nödvändigt utifrån samfällighetsvägens behov så är det inte ekonomiskt försvarbart.

3.1.4. Förstärkning av slänt och dike

Förstärkning av slänt innefattar användandet av armering, tryckvallar eller vegetation för förstärkning. Även täckdiken kan användas. Stålarmering och geonät läggs ut under väggroppen och bryter på så sätt eventuella glidytor samt motverkar skjuvglidbrott. Vegetationen odlas direkt på slänten och rötterna fungerar i likhet med armeringen genom att bryta glidyterna. Gemensamt för samtliga metoder är att de bidrar till att förhindra utflytning av vägbanan antingen genom sammanhållning av väggroppen (som i fallen med armering och vegetation) eller genom att fungera som motvikt och på så sätt öka de mothållande krafterna (som i fallen med täckdiken och tryckvallar). Fördelen med att förstärka slänterna är att utflytningen kan minskas. Sättningsproblematiken kvarstår dock så länge inte väggroppen förstärks ytterligare. Detta medför att de olika förstärkningsåtgärderna inte är tillräckliga för sig själva. De kan dock användas i kombination med andra åtgärder.

3.1.5. Kombinationer

Flera av de nämnda metoderna kan med fördel kombineras med varandra. Då det inte är möjligt att behandla alla tänkbara kombinationer av åtgärder så kommer undersökningen att kretsa kring kombinationen geonät och lättfyllnadsmaterial. Detta är den mest lovande kombinationen eftersom den förhindrar såväl utflytning som sättningar och enkelt kan utföras tillsammans.

Fördelen med en kombination av geonät och lättfyllnadsmaterial är att geonätets styrka förhindrar differentiasättningar, håller ihop väggroppen samt ökar bärigheten, samtidigt som lättfyllnadsmaterialet minskar tyngden av väggroppen mot underlaget och följaktligen även de tidsberoende sättningarna. Samverkan mellan lättfyllnadsmaterial och geonät ger en styv och förhållandevis lätt komposit. De båda metoderna medför hyvling och utschaktning av väggroppen vilket i sin tur motsvarar en stor utgiftspost. Kostnaderna kan däremot hållas nere med lämpligt val av lättviktsmaterial, ett lågkostnadsmaterial med lång livslängd skulle som exempel kunna väljas. Även miljöpåverkan blir beroende av materialvalet. De övriga nackdelarna med denna metod är jämförbara med nackdelarna för de enskilda metoderna för sig – urschaktning och materialtransporter kommer att behövas. Risk finns då för att trafikflödena över vägen störs i byggskedet vilket påverkar de boende negativt.

3.1.6. Sammanfattning

Målet med detta projekt är att erbjuda en lösning till samfällighetsföreningen. Valet av åtgärd måste därför spegla behovet vid den aktuella vägen. Under de rådande omständigheterna vid vägen ifråga finns primärt två problem som behöver lösas. Det första är att vägen sätter sig och det andra är att den flyter ut i sidled. Det är med detta i åtanke som valet av åtgärd för vägen måste göras.

Sättningsproblematiken är primärt ett resultat av lasten från överbyggnaden som undergrunden utsätts för. Genom att minska denna last, vilket i praktiken innebär att minska vägkroppens tyngd, så kan de tidsberoende sättningarna följaktligen undvikas. Av denna anledning blir lättfyllnadsmaterial en naturlig lösning på sättningsproblematiken. Det stora antalet material som finns att välja mellan underlättar tillämpningen av denna åtgärd då optimalt material kan väljas. Eftersom samfällighetsföreningen inte besitter några större ekonomiska resurser blir kostnaden den dominerande faktorn vid val av material. Dyrare material som cellplast eller Leca bör därför inte användas. Istället bör exempelvis restmaterial som bark, däck, aska eller liknande användas då dessa material kan fås till en betydligt lägre kostnad. Det finns även en tydlig miljöaspekt i att välja restmaterial, då återvinning av material motverkar resursslöseri, samt att restmaterialet kan väljas så att det inte medför någon påverkan på vattenmiljön i mossen.

Problemet med lättfyllnadsmaterialen är att de flesta inte ökar bärigheten i väg och mark och därmed har liten påverkan på vägens tendens att flyta ut. I det fallet är geonäten den mest lämpade metoden. Genom att förstärka och förstyya vägkroppen hålls den ihop och både utflytning och differentialsättningar kan undvikas. Installation av geonäten är också, som kan ses tidigare i rapporten, en väletablerad och billig metod för markförstärkning, varför den lämpar sig väl i detta sammanhang. Geonäten löser dessutom problematiken kring släntstabiliteten.

Den lösning som bäst tar hänsyn till såväl sättningsproblematiken som vägens utflytning är en kombination av lättfyllnadsmaterial och geonät. Denna kombination ger en stark men lätt vägkonstruktion med lång livslängd och förhållandevis låga kostnader utifrån väl valda materialval och utformning av vägen. Denna lösning gör det även möjligt att utnyttja mossens flytkraft genom en så kallad flytande vägkonstruktion. Det är även en väletablerad lösning som används ofta i vägbyggnadssammanhang. Av dessa anledningar är denna lösning den mest lämpliga för den aktuella vägen och därmed kommer den att undersökas närmre.

Den största nackdelen med kombinationslösningen är de stora kostnaderna som är inblandade. Därför är det rimligt att även ta i beaktning en mindre kostsam lösning. Även i detta fall måste lösningen kunna bidra med minskad utflytning och minskade sättningar. Den enda lågkostnadsmetoden som i viss mån löser båda dessa problem är installation av geonät, som därmed kommer att undersökas närmare tillsammans med kombinationslösningen.

De övriga genomgångna åtgärdsförslagen är inte lika relevanta eller lämpliga för den aktuella vägsträckan. Stålarmeringen kan användas på samma sätt som ett geonät, men är dyrare och tyngre varför det är mer lämpligt att använda geonäten. Slänterna kan förstärkas med ett par olika metoder, men då släntstabiliteten inte är ett stort problem så blir dessa lösningsförslag mindre relevanta.

3.2. Konstruktionslösningar

För att kunna tillgodose flera olika krav och önskemål på reparation har två olika konstruktionslösningar tagits fram. Den första är hyvling av vägen med installering av geonät 30 cm under vägytan. Den andra innebär en kombination av geonät och lättviktsmaterial. Det andra lösningsförslaget dimensioneras för två olika lättviktsmaterial.

Var och en av de i rapporten föreslagna konstruktionslösningar har sina fördelar och nackdelar vad gäller ekonomi, kvalitet och tillförlitlighet. Vid dimensionering av vägöverbyggnadens respektive lagertjocklekar samt kontroll av töjningen i terrasytans vertikalled har Trafikverkets dimensioneringsprogram PMS Object använts där de ingående parametrarna har varit enligt följande:

Referenshastighet: 50 km/h

Klimatzon 2, Västra Götaland

Dimensioneringsperiod: 20 år

ÅDTK: 200, varav andel tung trafik 5 %

Typ av väg: lokalväg

Antal standardaxlar per tungt fordon: 1,3

Beräknat antal standardaxlar: 105525

Vid dimensioneringen antogs undergrunden vara lera då torv inte fanns att välja som alternativ.

Grusslit-, bär- och förstärkningslager sattes till minsta godkända standard vilket innebär att de inte kunde minskas ytterligare för optimering av töjningen vertikalled i terrassytan.

Samfällighetsföreningens geotekniska dokument från 1992 beskriver en överbyggnadstjocklek på dåvarande väg på 1-1,5 m, samt en genomsnittlig tjocklek av underliggande torv på 6 m. Med hänsyn till ekonomi samt att nuvarande väg på flera ställen befinner sig under nivån för den omgivande mossen och därav riskerar att översvämmas vissa perioder, kommer den rehabiliterade överbyggnadstjockleken vara densamma som för den nuvarande. Nuvarande vägs krönbredd är ca 5 m och den rehabiliterade vägen med samtliga lösningsförslag är dimensionerad med denna bredd.

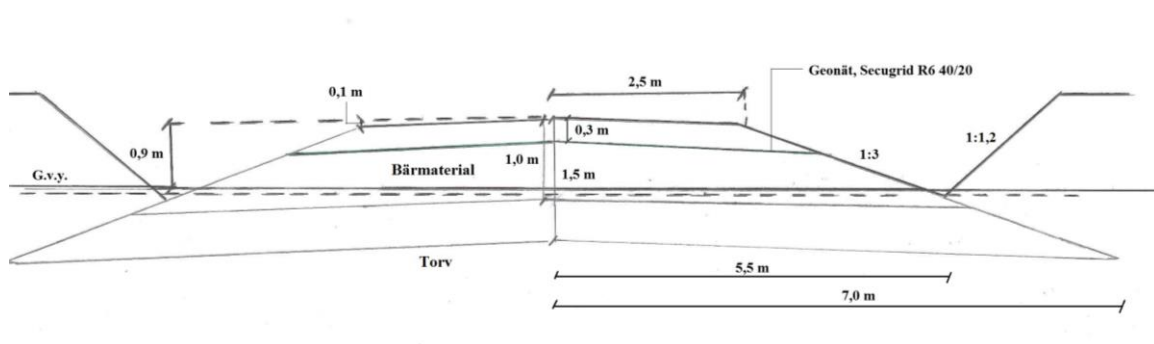
I rapporten görs beräkningar för kontroll av utdragsbrott i geonätet och glidning av geonät med Trafikverkets beräkningsmall TK Geo 11. Beräkning av spänning på överbyggnaden mot underliggande torv har gjorts av den befintliga vägen, respektive för varje konstruktionslösningens överbyggnad. Detta för att kunna jämföra belastningen av torven före och efter reparationen. Vid beräkningarna har ett antagande gjorts om att de geotekniska handlingarna från 1992 även gäller för den nuvarande vägens överbyggnadstjocklek och dess underliggande torvs mäktighet. I beräkningarna har 1 m och 1,5 m överbyggnad behandlats för att utreda hela spannet av överbyggnadstjockleken. Vid kontroll av utdragsbrott i geonät, glidning av slänt på geonät och beräkning av spänningar på underliggande torv har grundvattenytans nivå antagits till 0,9 m under vägens ovankant.

3.2.1. Alternativ 1, geonät

En konstruktionslösning som är enkel och som håller de stora reparationskostnaderna nere är då ett lager geonät installeras i den befintliga vägkroppen. Detta åstadkoms genom att den befintliga vägen hyvlas av till ett visst djup, där ett lager av geonätet anläggs. Därefter påförs de avhyvlade massorna åter och packas (komprimeras) noggrant till en homogen vägkropp.

I samarbete med företaget ViaCon har restriktioner erhållits om att ett geonäts placeringsdjup i vägbanan inte får underskrida 0,3 m. Eftersom låga kostnader eftersträvas blir detta dimensionerande. Genom Trafikverkets beräkningsmall ur TK Geo 11 har geonätet Secugrid 40/20 R6 tagits fram, som förhindrar utdragsbrott i armeringen och där glidning mellan geonätet och underliggande material inte sker (Bilaga 1). Installation av ett lager geonät kommer att hämma differentialsättningarna. Eftersom geonätet installeras enbart i ett lager 0,3 m under vägbanan innebär detta att geonätet bara kommer att stabilisera den övre delen av överbyggnaden. Materialet som återfylls ovanpå geonätet är återvunna massor från den befintliga vägen, vilket innebär att det blir låga materialkostnader med detta lösningsförslag. Endast ett nytt grusslitlager är nödvändigt. Lösningsförslaget innebär dock att trycket mot underliggande torv kommer att vara densamma som för nuvarande väg. Därför kommer vägen efter reparation att fortsätta erhålla konsolideringssättningar samtidigt som det finns en risk att vägen fortsätter att flyta ut i de nedre regionerna.

Konstruktionslösningen enligt ovan kan sammanfattas som en enkel reparationsåtgärd som håller anläggningskostnaderna nere, men som inte löser problemen på längre sikt.



Figur 3.1: Lösning med hyvling och installering av geonät. Överbyggnad: 1,0-1,5 m. (Egen bild)

3.2.2. Alternativ 2, geonät med lättfyllnadsmaterial

Samfällighetens geotekniska dokument visar att vägkroppens tjocklek redan 1992 var upptill 1,5 m. Dessutom har vägproblemen genom åren medfört att ytterligare tung ballast påförts vägen. Huvudproblemet med nuvarande väg kan med stor säkerhet påstås vara att vägens egentynghet på underliggande torv är för hög, vilket i sin tur orsakar att den underliggande torven fortsätter att konsolidera. Vid beräkning av nuvarande vägbanks spänning på

underliggande torv med antagen överbyggnadstjocklek av 1 m respektive 1,5 m kan följande resultat presenteras:

För beräkningen 1 m nuvarande överbyggnad:

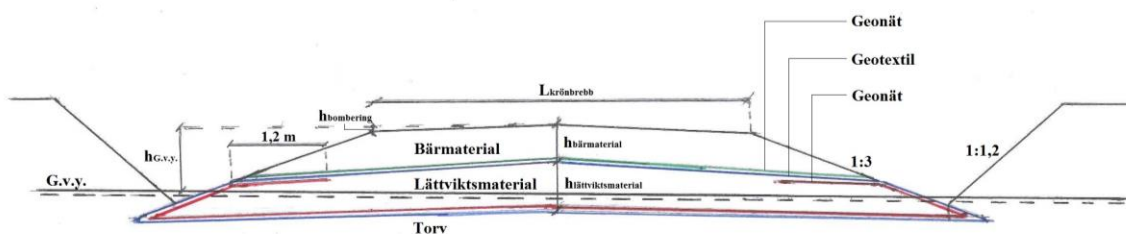
$$\sigma_{1m\text{öb}, \text{nuvarande}} = 19 \text{ kPa}$$

För beräkningen 1,5 m nuvarande överbyggnad:

$$\sigma_{1,5 \text{ m öb}, \text{nuvarande}} = 24 \text{ kPa}$$

Se Bilaga 2 för beräkningsgång.

Ett lösningsförslag som skulle minska risken för att torven i mossen fortsätter att konsolidera är att ersätta ballast med lättviktsmaterial. Vid användning av lättviktsmaterial kommer en reduktion av trycket på underliggande mosse att erhållas (Bilaga 2). För att lösa bärighetsproblemen samt att minska risken för att vägen flyter ut installeras geonät i två skikt i väggroppen. Konstruktionslösningsförslaget med lättfyllnadsmaterial innebär att nuvarande väg schaktas bort helt till underliggande torv. För att erhålla en hög bärighet är det viktigt att jämviktsbalansen i torven inte störs. Därför skall enbart bortschaktning av vägen ske i överbyggnaden och inte i dess undergrund av torv. Torven separeras därför med geotextil med ett lager geonät ovanpå, därefter påförs lättviktsmaterialet. Ovanpå lättviktsfyllnaden läggs åter geotextil och geonät ut samt återfyllnad av bärmaterial och friktionsmaterial från den bortgrävda överbyggnaden. Ett nytt gruslitlager läggs ovanpå. Genom samarbete med företaget ViaCon har nedanstående skiss tagits fram som visar på den nya väggroppens uppbyggnad och placering av geotextil, geonät, lättfyllnadsmaterial samt bärmaterial.



Figur 3.2: Lösning med geonät och lättfyllnadsmaterial. (Egen bild)

Geotextilen fungerar i konstruktionen som ett materialskiljande lager samtidigt som den kapslar in lättfyllnadsmaterialet i en säck. Det nedre lagret av geonätet följer med geotextilen och viks in mellan bärmaterialet och lättfyllnadsmaterialet för att förhindra glidning, 1,2 m på vardera sida. Geonätet kommer att stabilisera överbyggnaden mot den underliggande torven. På samma sätt kommer det övre geonätet i konstruktionen mellan lättfyllningen och bärmaterialet att stabilisera den övre delen av överbyggnaden och förhindra att denna flyter ut i sidled.⁷

På marknaden finns det ett stort utbud av lättviktsmaterial. Flera olika typer har i denna rapport studerats och två lättviktsmaterial har valts ut till att vara de mest lämpliga. Den ena

⁷ Carl Petersson, försäljning och marknadsföring, ViaCon. Intervjuad 28/3 2014

typen är lättklinker, vilket är väl utprovat och Trafikverket har en tydlig mall för hur det skall användas. Genom Trafikverkets beräkningsmall TK Geo 11 och dimensioneringsprogrammet PMS Object kan lättklinkern behandlas på ett tillförlitligt och kvalitativt sätt i vägbyggnadssammanhang.

Den andra typen av lättviktsmaterial är en aska/grusblandning. Denna blandning består av 70 % flygaska från Lilla Edets pappersbruk och 30 % grus som återanvänds från de massor som erhållits från bortschaktande av befintlig väg (Ullberg & Wikström, 2005). Flygaskan från Lilla Edet är en restprodukt som uppstår efter förbränning av oanvändbar pappersmassa. Då flygaskan är en restprodukt blir materialkostnaden av flygaskan från pappersbruket låg och i de flesta fall gratis. Askan är för närvarande under process att bli miljöklassad, om så blir fallet kommer ingen dispens att behöva sökas vid användning av askan vid vägbyggnad. Det tillkommer dock transportkostnader för sträckan mellan Lilla Edet till Kollanda mosse.⁸

Aska/grusblandningen har en hög elastighetsmodul, $E_{aska/grus} = 1530 \text{ MPa}$ (Ullberg & Wikström, 2005) jämfört med $E_{lättklinker} = 40 \text{ MPa}$ (Trafikverket, 2014). Aska/grusblandningen får en liknande hållfasthet som betong, vilket är av stort intresse i vägbyggnadssammanhang. Flygaskan från Lilla Edets pappersbruk används ofta som bärmaterial vid vägbyggnation. Denna aska har dessutom vid ett flertal tillfällen redan tidigare använts vid reparation av vägar över mossar med liknande problematik som för vägen över Kollanda mosse. Resultatet av användning av flygaskan i vägarna har varit goda, vilket motiverar valet av detta lättviktsmaterial. Genom att blanda ut flygaskan med 30 % grus som återanvänds från den befintliga vägen kan kostnaderna för bortforsling av grusmaterialet samt framkörningskostnaden av flygaskan reduceras.⁸

3.2.3. Alternativ 2a, geonät med lättklinker

Ur Trafikverkets dimensioneringsprogram PMS Object har beräkning med lättklinker utförts. Enligt TK Geo 11 bör inte lättklinkern placeras närmare ytan än 0,5 m för att undvika frosthalka. För att erhålla en markant reduktion av vägens egentygnd på underliggande torv, sattes lagertjockleken av lättklinkern till 0,5 m för beräkningen med 1m överbyggnad, respektive 1 m lättklinker för 1,5 m överbyggnad. Följande lagertjocklekar på överbyggnaden fastställdes med PMS Object:

Antagen överbyggnadstjocklek 1 m, lättklinker:

Gruslitlager:	50 mm
Bärlager:	100 mm
Förstärkningslager:	350 mm
Lättklinker:	500 mm

Med ovanstående lagertjocklekar blev töjning vertikalled i terrassytan $\varepsilon = 0,0030$ vilken jämförs med största tillåtna töjning $\varepsilon = 0,0085$.

⁸ Gunnar Johansson, miljö- och kvalitétsschef, SCA Edets pappersbruk. Intervjuad 25/3 2014

Antagen överbyggnadstjocklek 1,5 m, beräkningen lättklinker:

Gruslitrager:	50 mm
Bärlager:	100 mm
Förstärkningslager:	350 mm
Lättklinker:	1000 mm

Med ovanstående lagertjocklekar blev töjningen vertikalled i terrassytan $\varepsilon = 0,0013$ vilken jämförs med största tillåtna töjning $\varepsilon = 0,0085$.

Se Bilaga 2 för dimensionering av överbyggnad.

Med Trafikverkets beräkningsmall för kontroll av utdragsbrott i geonät samt glidning av slänt på geonät fastställdes följande geonätstyper:

Antagen överbyggnadstjocklek 1 m, beräkningen lättklinker.

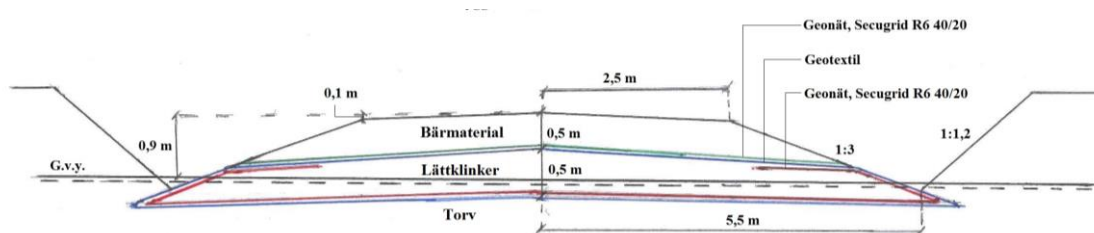
Geonät: Secugrid 40/20 R6

Antagen överbyggnadstjocklek 1,5 m, beräkningen lättklinker.

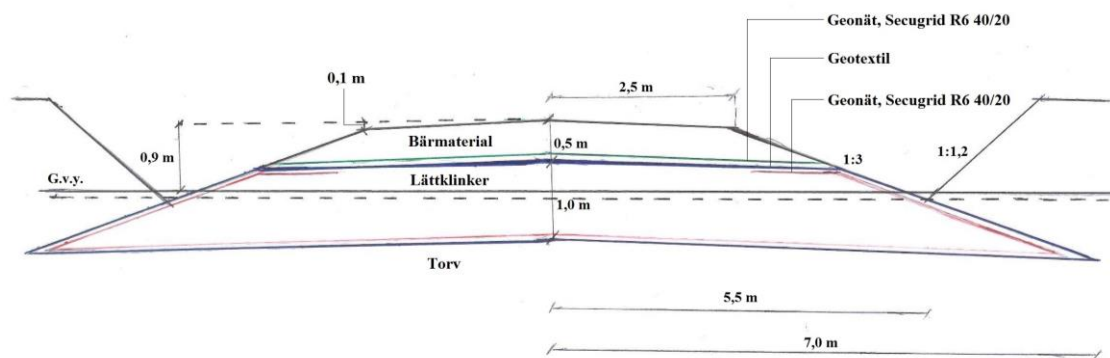
Geonät: Secugrid 40/20 R6

Se Bilaga 1 för kontroll av utdragsbrott i armering, glidning i armering och typ av geonät.

Trycket av överbyggnad på underliggande torv med lättklinker som lättviktsmaterial reducerades med 32,6 % för beräkningen med 1 m överbyggnad och med 42,5 % för beräkningen med 1,5 m överbyggnad. Detta kan jämföras med rekommendation från Roadex på maximalt 80 %. Se Bilaga 2 för beräkning.



Figur 3.3: Lösning med geonät och lättklinker. Överbyggnad: 1,0 m. (Egen bild)



Figur 3.4: Lösning med geonät och lättklinker. Överbyggnad: 1,5 m. (Egen bild)

3.2.4. Alternativ 2b, geonät med aska- och grusblandning

Vid dimensionering av överbyggnadens respektive lagertjocklekar med en aska/grusblandning som lättviktsmaterial har dimensioneringsprogrammet PMS Object använts. Genom en korrespondens med kvalitets- och miljöchef Gunnar Johansson på Lilla Edets pappersbruk har erfarenhet tillhandahållits om hur flygaskan kommit till användning vid vägbyggnationer. Det framkom därvid att den inte har någon hög nötningsstyrka och bör därför inte placeras i överbyggnadens slitlager. Då aska/grusblandningen som lättviktsmaterial innebär en låg materialkostnad och för att erhålla en stor avlastning på underliggande torv sattes dess tjocklek till 0,7 m för beräkningen med 1 m överbyggnad och till 1,2 m för beräkningen med 1,5 m överbyggnad. Följande lagertjocklekar av överbyggnaden fastställdes med PMS Object:

Antagen överbyggnadstjocklek 1 m, beräkningen aska blandat med grus:

Grusslitlager:	50 mm
Bärlager:	100 mm
Förstärkningslager:	150 mm
Aska och grusblandning:	700 mm

Med ovanstående lagertjocklekar blev töjningen vertikalled i terrassytan $\varepsilon = 0,0004$ vilken jämförs med största tillåtna töjning $\varepsilon = 0,0085$.

Antagen överbyggnadstjocklek 1,5 m, beräkningen aska blandat med grus:

Grusslitlager:	50 mm
Bärlager:	100 mm
Förstärkningslager:	150 mm
Aska och grusblandning:	1200 mm

Med ovanstående lagertjocklekar blev töjningen vertikalled i terrassytan $\varepsilon = 0,0002$ vilken jämförs med största tillåtna töjning $\varepsilon = 0,0085$.

Se Bilaga 2 för dimensionering av överbyggnad.

Med Trafikverkets beräkningsmall för kontroll av utdragsbrott i geonät samt glidning av slänt på geonät fastställdes följande geonätstyper:

Antagen överbyggnadstjocklek 1 m, beräkningen aska/grusblandning.

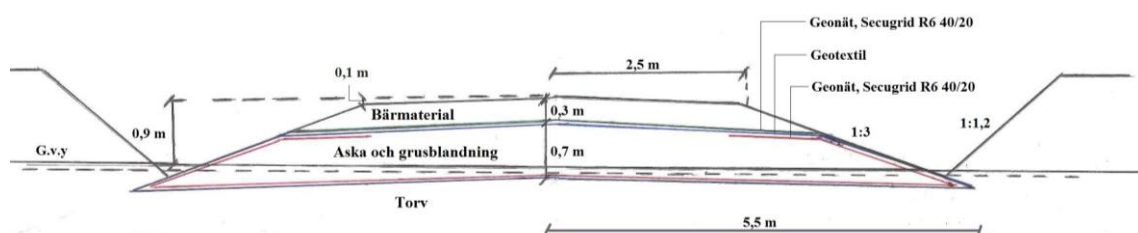
Geonät: Secugrid 40/20 R6

Antagen överbyggnadstjocklek 1,5 m, beräkningen aska/grusblandning.

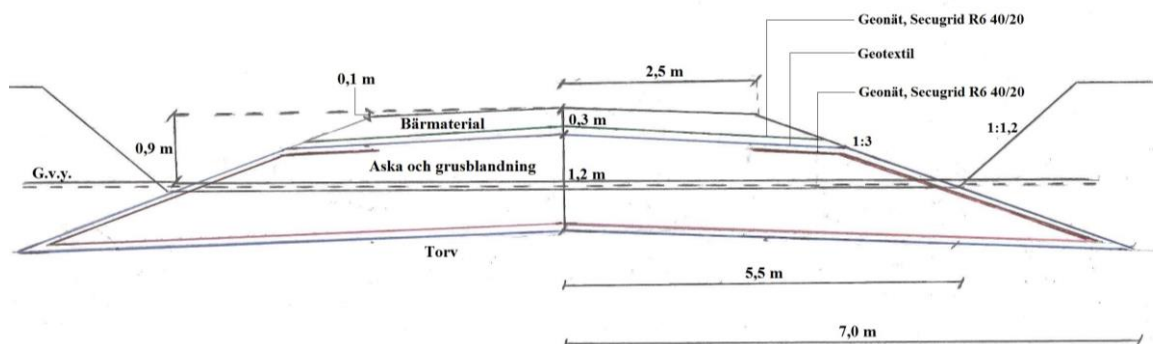
Geonät: Secugrid 40/20 R6

Se Bilaga 1 för kontroll av utdragsbrott i armering, glidning i armering och typ av geonät.

Trycket av överbyggnad på underliggande torv med aska/grus blandning som lättviktsmaterial reducerades med 27,7 % för beräkningen med 1 m överbyggnad och med 37,6 % för beräkningen med 1,5 m överbyggnad. Detta kan jämföras med rekommendation från Roadex på maximalt 80 %. Se Bilaga 2 för beräkning.



Figur 3.5: Lösning med geonät och aska och grusblandning. Överbyggnad: 1,0 m.
(Egen bild)



Figur 3.6: Lösning med geonät och aska och grusblandning. Överbyggnad: 1,5 m.
(Egen bild)

3.3. Ekonomi

Ekonomin har spelat en avgörande roll för rapportens resultat av konstruktionslösningar. För de olika lösningsförslagen som redovisats i rapporten är det en markant skillnad i totalkostnaden. Med en nuvarande årlig underhållskostnad på ca 100000 kr/år innebär detta att respektive lösningsförslag kommer ta olika lång tid innan de blir ekonomiskt lönsamma. För att kunna beräkna den tid det tar för respektive konstruktionslösning innan den blir lönsam har det i rapporten gjorts antaganden om årligt insparade kostnader vid val av respektive åtgärd. Tillsammans med Algot Andreasson, Torslanda Entreprenad AB, har nedanstående antagande gjorts med summa om insparade årliga kostnader för respektive åtgärd:

	Förslag 1	Förslag 2a	Förslag 2a	Förslag 2b	Förslag 2b
	Hyvling och geonät	Leca och geonät	Leca och geonät	Blandning aska/grus och geonät	Blandning aska/grus och geonät
Överbyggnad:	1,0 - 1,5 m	1,0 m	1,5 m	1,0 m	1,5 m
Årligt insparade kostnader:	30 000 kr	90 000 kr	90 000 kr	90 000 kr	90 000 kr

Tabell 3.1: Årligt insparade kostnader per lösning.

I ett samarbete med Torslanda Entreprenad AB har budgetkalkyler tagits fram för de olika lösningsförslagen (Bilaga 3). Nedan presenteras respektive lösningsförslag med tillhörande budgetkalkylerade slutsumma för utförandeentreprenaden med tillhörande lönsamhetstid:

	Förslag 1	Förslag 2a	Förslag 2a	Förslag 2b	Förslag 2b
	Hyvling och geonät	Leca och geonät	Leca och geonät	Blandning aska/grus och geonät	Blandning aska/grus och geonät
Överbyggnad:	1,0 - 1,5 m	1,0 m	1,5 m	1,0 m	1,5 m
Kostnad utförande:	309 995 kr	1 182 419 kr	1 774 288 kr	865 515 kr	1 147 045 kr
Lönsamhetstid:	10,3 år	13,1 år	19,7 år	9,6 år	12,7 år

Tabell 3.2: Total kostnad för utförande och lönsamhetstid.

Av trafikverket kan som tidigare nämnts i rapporten ett bidrag på upp till 70% erhållas vid en reparation av väg. Detta reducerar kostnaderna samt lönsamhetstiden för de olika lösningsförslagen. Nedan följer den reducerade budgetkalkylerade slutsumman med antaget bidrag på 70% för utförande entreprenaden från trafikverket med tillhörande lönsamhetstid:

	Förslag 1	Förslag 2a	Förslag 2a	Förslag 2b	Förslag 2b
	Hyvling och geonät	Leca och geonät	Leca och geonät	Blandning aska/grus och geonät	Blandning aska/grus och geonät
Överbyggnad:	1,0 - 1,5 m	1,0 m	1,5 m	1,0 m	1,5 m
Kostnad utförande med bidrag:	92 998 kr	354 725 kr	532 286 kr	259 654 kr	344 113 kr
Lönsamhetstid:	3,0 år	3,9 år	5,9 år	2,9 år	3,8 år

Tabell 3.3: Kostnad för utförande med bidrag och lönsamhetstid.

4. Diskussion

Under arbetet med detta projekt har ett stort antal val gjorts, avseende allt ifrån arbetsgång och undersökningsmetodik till dimensioneringsantaganden och åtgärdsval. Vidare har arbetet även präglats av ett flertal olika faktorer, så som samarbetet med ViaCon, hanteringen av de miljökrav som gäller för mossen samt målsättningen att tillgodose samfällighetens behov av en god lösning på problemen med deras väg. I och med detta har arbetet utförts under särskilda betingelser som, om de varit annorlunda, hade resulterat i en helt annan process och säkerligen helt andra resultat. Av denna anledning blir det nödvändigt att diskutera dessa betingelser för att kunna få perspektiv på projektet.

4.1. Val av åtgärd

För att kunna bidra med ett konkret lösningsförslag till samfällighetsföreningen och därmed uppnå arbetets målsättning var det nödvändigt att undersöka vilka metoder som används på likvärdiga problem i och utanför Sverige. Av dessa metoder valdes två lösningar ut – en enklare förstärkning av överbyggnaden med geonät och en mer omfattande konstruktion av en lätt väg bestående av en underbyggnad av grus och aska samt en grusöverbyggnad, förstärkt av geonät – medan ett flertal andra metoder förkastades. För jämförelsens skull gjordes även valet att undersöka en lätt vägkonstruktion med lättklinker som grundläggningmaterial. Rimligheten i de valda lösningarna sätts i perspektiv genom att diskutera och jämföra med de förkastade åtgärderna.

Ett av de bortvalda lösningsförslagen var att armera överbyggnaden med stålarmring. Denna metod har visat på goda resultat men valdes bort eftersom stålarmeringen verkar på samma sätt som ett geonät, fast till högre kostnad och större vikt. Det kan därför ses som givet att prioritera en geosyntetisk lösning framför armering med stålarnät – något som även ges stöd av litteraturen, där geosynteter är vanligt förekommande vid vägbyggnationer över torv. Det är dock möjligt att stålarnäten är bättre lämpade i en del situationer, exempelvis när vägen skall konstrueras med en bitumenbaserad överbyggnad eller när det inte är möjligt att få tillgång till fullgoda geosyntetiska alternativ. I sådana fall kan det eventuellt vara lämpligt att välja stålarnätsarmering för att förstärka vägen. I de flesta fall är dock geonät den mest intuitiva förstärkningsåtgärden, med stort stöd i litteraturen för den aktuella typen av problem, varför det även valts i detta fall.

De övriga åtgärderna kan förenklat beskrivas som en stabilisering av vägens slänter. Genom att förstärka slänterna kan utglidningen av vägen i sidled motverkas och behovet av underhåll minskar följaktligen. Trots att merparten av denna rapport fokuserat på geosynteter och lättviktsmaterial så finns det grund i litteraturen för tillämpning av släntstabiliserande åtgärder för att förstärka en väg över mosse. Många av de släntförstärkande lösningarna som innefattas i rapporten är enkla att utföra till en rimlig kostnad, varför det kan finnas situationer där de lämpar sig väl. Detta kan ha förbisetts i rapporten då geosyntetiska lösningar och lättviktsmaterial redan vid ett tidigt stadium visade sig vara lovande. En djupare undersökning

av exempelvis stödvallars användningsområden för förstärkning av en väg över mosse skulle kunna ge intressanta resultat.

En annan intressant fråga att undersöka är om de valda lösningarna går att använda som standardlösning på likvärdiga problem. Det kan enkelt hävdas att det inom ramen för det aktuella fallet är svårt att tala om standardtillämpningar. Kunskapen om byggande och rehabilitering av vägar över mossar är ofta bristande, eftersom vägarna i fråga antingen är för små för att anses vara betydelsefulla eller så stora att det lönar sig bäst att schakta bort den underliggande torven. Det går dock att diskutera rimligheten i att konsekvent tillämpa de lösningar som valts för vägsamfälligheten. Den första lösningen, som innefattar hyvling och installation av ett lager geonät, är en enkel rehabiliteringslösning som med fördel kan tillämpas på de flesta likvärdiga problem till en relativt låg kostnad. Metoden skulle fungera väl som standardtillämpning för mossar med liten mäktighet eftersom de tidsberoende sättningarna då inte blir lika avgörande som för mossar med hög mäktighet. Den andra lösningen, som bygger på grundläggning med lättviktsmaterial och förstärkning med geonät, är en omfattande metod som kanske bäst lämpar sig för mossar med hög mäktighet. Båda lösningarna behandlar den unika problematik som vägbyggnad över en mosse står inför och med mindre modifieringar bör de kunna användas i de flesta likvärdiga fall.

4.2. Dimensionering

Även dimensioneringsarbetet är viktigt att diskutera. Eftersom de handlingar som kunde erhållas från föreningen vid projektets start avser reparationer av vägen 1992 var informationen om vägen bristfälliga. Därför har flera grova antaganden behövts göras om bland annat vägens och mossens tjocklek. Detta har implikationer för framförallt kostnaderna för metoderna. Även underhållsarbetet som utförts på vägen sedan handlingarna skrevs har en potentiell påverkan på den nutida vägens betingelser. Till sist har även antaganden behövt göras om vattenflödena i marken. Precis som i handlingarna så har antagandet gjorts att hastigheterna i grundvattenflödena är så låga att dessa inte påverkar konstruktionen.

Liksom för valet av vilka lösningsförslag som bör undersökas närmare var dimensioneringen beroende av ett antal parametrar. Det som spelar stor roll för vägföreningen är som bekant att lösningen ska bli så kostnadseffektiv som möjligt, samtidigt som vägen ska hålla så lång tid som möjligt. Vid dimensioneringen av överbyggnaden blev just dessa parametrar svåra att väga samman. Om pengar ska sparas in för att minska på mängden lättviktsmaterial och låta mer grus ligga kvar finns risk att den underliggande mossen kommer fortsätta konsolidera. Eftersom det inte finns någon tydlig gräns för vid vilken egentyngd som vägen kommer sluta sjunka kan därför ingen balans mellan ekonomi och säkerhet nås. Om ett mellanting mellan de två parametrarna ska tas fram finns helt enkelt inte någon konkret grund att stå på vid en presentation av resultatet. Därmed gjordes valet att fokus ska ligga på säkerheten och att dimensionera en överbyggnad som kommer resultera i så låga sättningar som möjligt. Även om det inte blir det mest kostnadseffektiva alternativet så är det ändå det alternativ som kommer hålla längst. Något som rent ekonomiskt dock talar för den valda metoden är att

framtida kostnader för underhåll av vägen reduceras maximalt, vilket i sig var den grundläggande orsaken till varför vägföreningen kontaktade institutionen.

Vid valet av just lättviktsmaterialet kan däremot ekonomin tas i beaktning. Dyra materialval som cellplast, glas och lättklinker är inte att föredra ur ett ekonomiskt perspektiv men då dessa material används ofta finns mycket information om hur de ska användas. Andra material som bark och aska är avsevärt billigare men betydligt mindre erfarenhet och information finns jämfört med de andra materialen. Därför beslutades det att två alternativ av lättviktsmaterial skulle väljas, ett dyrt med tydlig information om hur dimensionering skulle gå till samt ett material som var billigare men där informationen inte var lika tydlig. Detta för att se den tydliga skillnaden mellan hur ekonomi och säkerhet spelar in och att kunna låta vägföreningen välja mellan de två alternativen. Att just aska valdes berodde på den kontakt som redan fanns med SCA Edets pappersbruk och om den erfarenhet de har om aska som lättviktsmaterial. Att askan dessutom kunde erbjudas gratis från företaget var enormt positivt eftersom det då skulle resultera i det billigast möjliga alternativet. Aska har dessutom egenskapen att den härdar och vid blandning med grus kan en hög elasticitetsmodul erhållas och därmed god bärighet. Därigenom kan ett resultat tas fram som dels erbjuder maximal säkerhet utifrån materialets förutsättningar samtidigt som det är ekonomiskt försvarbart.

Enligt de prisuppgifter som använts kommer den enklare lösningen – hyvling av vägen och installation av geonät – att betala av sig efter 10,2 år. Den andra lösningen – grundläggning med aska och förstärkning av geonät – bedöms bli lönsam efter 9,6-12,7 år beroende på överbyggnadstjocklek, vilket kan jämföras med 13,1-19,7 för leca. Som kan ses betalar i genomsnitt den första lösningen av sig tidigare än den andra. Detta måste dock sättas i perspektiv på att underhållskostnaderna för den första lösningen är högre än för den andra. I ett längre tidsperspektiv kommer den första lösningen att bli dyrare än den andra, trots en kortare återbetalningstid. Därmed kan det konstateras att den andra lösningen är den mest lönsam – särskilt om den byggs med en tunn överbyggnad. Eftersom det även är möjligt med bidrag för arbeten utförda på enskilda vägar kan återbetalningstiden kortas ner så mycket som till 2,9 respektive 3,8 år, vilket gör åtgärden väldigt kostnadseffektiv.

Vid den tidigare förstärkningen av en annan delsträcka på vägen användes bark som lättviktsmaterial – något som därför var av intresse i början av dimensioneringen och som vägföreningen talade gott om. Det är relativt enkelt och billigt att få tag på bark då det förekommer mycket skogsarbete i området vilket då skulle resultera i låga transportkostnader. Problemet med barken i detta sammanhang är dock att det saknas relevant materialdata – informationen om bark som fyllnadsmaterial är knapphändig eller saknas helt. Alltför många erfarenhetsbaserade antaganden skulle behöva göras och därmed skulle inte ett med säkerhet fungerande resultat kunna tas fram. Det blir alltså en fråga om tydliga data, å ena sidan, och erfarenhet av materialet, å andra sidan. Då författarna saknar tidigare erfarenhet av bark som fyllnadsmaterial blev valet att fokusera endast på material där specifik data finns tillgänglig. Bark riskerar dessutom att förmultna vid tillgång på syre vilket kan ske om grundvattennivån sänks. Därmed kan barken förkastas för denna tillämpning, trots att den har fungerat vid den tidigare förstärkningen.

Det andra alternativet med lättklinker grundade sig på de tydliga instruktionerna vid dimensionering från Trafikverkets dokument TK Geo 11 och program PMS Object samt från ViaCons rekommendationer. Trots att det inte är ekonomiskt är det utan tvekan det mest säkra alternativet som kan tas fram eftersom all data finns lättillgänglig i TK Geo 11 och PMS Object.

Något som ansågs viktigt i sammanhanget var att ta fram konkreta beräkningar på mossens konsolidering orsakad av vägen. Detta visade sig dock vara betydligt mer komplicerat än väntat. Knappt några data finns om mossens mäktighet, som kunde vara allt mellan 0-11 m, eller hur tjock den befintliga vägen var, vilken bedöms ligga i spannet 1-1,5 m. Då torv är ett föränderligt material är det ytterst svårt att ta fram korrekta materialdata utan att göra platsundersökningar, något som det inte finns resurser till i det här fallet. Framförallt är beräkningar på mossen komplicerade eftersom faktorer som fiberriktning och vattenflödets riktning är viktiga. Detta gjorde att beräkningar krävs för tre riktningar, vilket kan jämföras med de beräkningar i två riktningar som finns detaljerade i Sällfors (2009). En helt annan metod krävs för att kunna utföra beräkningarna och då denna kunskap inte var tillgänglig i vare sig litteraturen eller på institutionen gjordes valet att lägga sättningsberäkningarna åt sidan. Istället beräknades spänningen på torven orsakad av vägens egentyngd före och efter förstärkning. Dessa beräkningar ger en god uppfattning om hur mycket lättare vägen kommer bli och därmed hur mycket mindre mossen då rimligtvis kommer konsolidera, men bara i förhållande med nuvarande väg. Om exakta sättningsberäkningar ska tas fram krävs kunskaper och resurser som inte varit tillgängliga i projektet. Det är sannolikt att sättningsberäkningar sällan utförs på torvmarker ute i näringslivet. Istället används troligen tidigare erfarenheter för att göra en sådan bedömning.

4.3. Miljö

Oavsett vilken lösning eller vilka material som är relevanta i denna typ av situationer är det viktigt att analysera tänkbara konsekvenser. I det aktuella fallet skulle en tänkt miljöfara kunna hota det rika fågellivet i Kollanda mosse, med följderna att kommunen förlorar område med stort naturvärde. Denna typ av skada är svår att reparera när den väl skett, varför det istället är nödvändigt med förebyggande åtgärder.

Utöver de ekonomiska aspekterna med att välja lättfyllnadsmaterial finns även en miljöaspekt. Mossen är ett skyddat område, vilket medför särskild lagstiftning och begränsningar i vad som kan byggas i området och med vilka material. Trots att hänsyn har behövt tas till de miljöregler som finns för området så har miljöfrågan inte haft en så stor betydelse för arbetet. Detta beror i hög grad på att inga vattenflöden förändras i mossen, eftersom båda lösningarna som har presenterats inte innefattar en dränering av mossen. Istället behöver särskild hänsyn tas, som tidigare nämnts, till valet av fyllnadsmaterial.

I projektets början var däckrester en möjlig kandidat till fyllnadsmaterial. Det visade sig dock tidigt att detta inte var ett möjligt materialval, då risken finns att ämnen lakas ur däcken och ut

i vattnet. En liknande oro fanns därför också för användandet av aska. Beroende på källan till askan samt vilken typ av aska det rör sig om riskerar den att förorena ett vattendrag. Detta bedöms dock inte vara en stor risk vad gäller det aktuella fallet eftersom askan i fråga kommer från förbränning av organiska material och har använts till fyllnadsmaterial i andra projekt. Trots detta kan det bli nödvändigt att söka dispens från Länsstyrelsen för att få använda askan då den ännu inte är miljöklassad. En grundlig konsekvensanalys skulle vara av godo för att förhindra att Kollanda mosse utsätts för större risker än vad som kan anses vara acceptabelt.

4.4. Branscherfarenhet

Som kan ses är de frågeställningar och problem som är aktuella i projektet mångfacetterade. Det är därför ofta nödvändigt att bryta ner frågeställningarna till mindre delar som kan behandlas var för sig. Detta tillvägagångssätt har präglat alla delar av projektet och har även tydligtgjort vilka områden där en utökad kunskap har behövts för att kunna hantera de givna problemen. Som exempel har det varit nödvändigt att djupare undersöka torvens generella egenskaper för att på så sätt förstå hur den kommer bete sig i en vägkonstruktion. Det har dock blivit uppenbart i projektets gång att dessa kunskaper inte nödvändigtvis är förankrade i näringslivet.

I större projekt schaktas den underliggande torven bort, vilket medför att den särskilda problematik som en mosse utgör i vägbyggnadssammanhang inte behöver behandlas. Därmed finns det heller ingen tydlig erfarenhetsbas att utgå ifrån i de tillfällen då det inte är möjligt med en urschaktning, exempelvis vid mindre vägbyggen. Det är framförallt inom större projekt som kunskaper och erfarenheter skapas och sprids och utan detta kunskapsbyggande vad gäller mindre vägar över mossar kommer inga standardiserade lösningar att skapas. Detta har försvårat problemlösningen i det aktuella fallet. Istället har det i hög grad varit nödvändigt att utnyttja kunskapen hos en extern aktör, ViaCon, med kompetens inom de områden som visat sig vara särskilt lovande.

Under arbetets gång har företaget varit till stor hjälp, då de har bidragit med såväl branschvana som mer specialiserade kunskaper samt råd och stöd. Trots den stora hjälp de bidragit med är de ett företag med sina egna intressen, varför det är viktigt att diskutera deras roll.

Företaget har bidragit till att skapa en klar bild av problemet och de lösningar som finns tillgängliga. Fokuset i korrespondensen har legat på geosynteter och deras tillämpningar då detta är ett område där de har stor kompetens. Av naturliga anledningar leder detta till att lösningar utanför företagets nisch får en lägre prioritering i rapporten. Som tidigare nämnts i diskussionen är dock geonät en väletablerad metod i det aktuella fallet, med gott stöd i litteraturen. Valet av en geosyntetisk lösning var alltså i hög grad redan aktuell innan korrespondensen etablerades – deras stöd bidrog främst till att konkretisera en redan vald lösning. Att utgångspunkten i den hjälp som erhållits ligger i det egna företagets erfarenheter, kunskaper och produkter får ses som oundvikligt. Författarnas brist på branschvana och

kunskap inom området har gjort det nödvändigt att söka hjälp hos en tredje part – oavsett vilken part som kunnat väljas skulle deras råd fortfarande vara baserade på deras subjektiva branscherfarenhet. Det kan därför fastställas att trots att företaget haft en betydande roll i arbetet så har deras inverkan inte påverkat själva valet av åtgärd i någon nämnvärd utsträckning. Istället har de kunnat bidra med mycket kunskap som varit värdefull under arbetets gång.

Trots att företagets roll inte kan sägas ha påverkat metodvalet så är det ändå möjligt att ett annat företag hade kunnat gjort det, om de hade kontaktats istället. Med detta vill menas att om kontakt hade etablerats med ett företag med en annan nisch än ViaCons, exempelvis anläggning av stödvallar, så hade detta kunnat leda in projektet på andra lösningar än de som faktiskt valdes.

En av de kunskaper som företaget har bidragit med är förståelse för och tillämpning av de beräkningsmetoder som finns beskrivna i Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner, TK Geo 11, som används mycket ute i näringslivet, ibland med mindre förändringar. Deras stöd i detta sammanhang har varit en nödvändighet, då det annars funnits en risk att modellerna hade kunnat tillämpas på fel sätt – något som är en reell risk när någon utan erfarenhet väljer att använda modellerna. Detta hade kunnat leda till mer eller mindre allvarliga dimensioneringsfel och i förlängningen en dyrare och mindre funktionell väg.

De frågor som diskuterats ovan är bara ett axplock av tänkvärda funderingar som uppkommit under arbetets gång. Liksom i alla infrastrukturprojekt finns det en lång rad frågor och faktorer som måste tas i beaktning för att på bästa sätt kunna uppnå den tänkta målsättningen. Denna diskussion har tjänat som ett led i denna process, genom att sätta det utförda arbetet i perspektiv och erbjuda såväl kritik som identifiera områden där fortsatta undersökningar och diskussioner är nödvändiga.

5. Slutsats

Reparation av väg över mosse är ett ämne som inte föregås av väl utarbetade arbetsmetoder. Detta beror till stor del av att det är en problematik som inte är global utan begränsat till den norra periferin. Det beror också på att konceptet att reparera vägen och samtidigt bevara mossen och omgivande miljö riktar sig i huvudsak mot lågtrafikerade vägar med privata brukare och vägföreningar. Detta då större åtgärder kräver ekonomiska resurser som under dessa förutsättningar oftast inte existerar. Stora delar av de studier och de fakta som finns inom området är därmed baserat på erfarenheter från mindre företag. Därmed har utbytet med företaget ViaCon till stor del legat till grund för förslagen som tagits fram.

I och med höga vattenhalter tillkommer många krav på vägbyggnation över mossar. I det enskilda fallet med vägen i Kollanda existerar redan en sträckning vilket i sin tur innebär att en grundvattensänkning i anslutning till vägen uppkommit men som riskerar att förändras i samband med rehabiliteringsarbeten. Genom de valda förslag som tagits fram undviks dock förändring av områdets vattenflöden samt utsläpp som kan försämra vattenkvaliten. Därmed är det stor sannolikhet åtgärden blir godkänd för genomförande utifrån Länsstyrelsens föreskrifter.

För att åtgärda befintliga problem med vägsträckningen är den mest lämpliga lösningen en kombination av lättfyllnadsmaterial och geonät. Den kombinerade åtgärden löser problemen med differentialsättningar, konsolidering av mossen samt glidning av slänterna. Förslaget med installation av geonät löser endast problemen med differentialsättningar samt viss del av glidning av slänterna, denna åtgärd har dock betydligt lägre utförandekostnad än de andra. Det lättfyllnadsmaterial som passar bäst är aska blandat med grus. Åtgärden motiveras ur ett kostnadsperspektiv eftersom aska är billigt samt utifrån dess goda materialegenskaper.

Ekonomi har i projektets gång haft en underordnad betydelse i prioritering trots dess relevans för att projektet skall kunna genomföras överhuvudtaget. Däremot är relevant kostnad ett begrepp som är ytterst svårt att relatera kring utan insikt i föreningens ekonomi och hur de värderar åtgärderna. Utifrån gjorda budgetkalkyler kan det dock konstateras att förslaget med installation av geonät och aska och grusblandning som lättviktsmaterial över tid blir mer lönsam än det enkla förslaget. Detta beror på att den framtida underhållskostnaden blir betydligt lägre. Genom Trafikverket finns möjlighet att erhålla ett bidrag på upp till 70 % av projektet men för att kunna erhålla dessa belopp krävs dock en större utredning från Trafikverket. Utan vidare insikt och kunskap är det dock svårt att uttala sig kring huruvida detta projekt uppfyller dessa kriterier. Skulle samfällighetsföreningen välja att genomföra förslaget aska och grusblandning kommer arbetet att vara lönsamt inom 9,6 år för en överbyggnadstjocklek på 1,0 m och 12,7 år för en överbyggnadstjocklek på 1,5 m. Med ett eventuellt bidrag på 70 % från Trafikverket kommer förslaget att vara lönsamt inom 2,9 respektive 3,8 år.

Referenser

- Bendzovski, R. och Melin, D. (2008) *Analys av dimensioneringsmetoder för stödkonstruktioner med polymerbaserad jordarmering*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Bergman, R. och Suer, P. (2011) *Säkra vägar i nytt klimat*. Statens geotekniska institut (SGI)
- Bhattacharyya, S. K. (2009) *Highway Embankment Design in Bangladesh*. Birmingham: University of Birmingham (Examensarbete inom College of Engineering and Physical Science. School of Civil Engineering).
- Bjurström, H. Hjalmarsson, A-K. och Sedendahl, K. (1999) *Handbok för restprodukter från förbränning*. [Elektronisk] Stockholm: Fjärrvärmeföreningen.
- Björnfot, P. och Sandberg, J. (2004) *Sprickfri och bärig väg med stålarmring*. [Elektronisk] Vägverket.
- Brorson, I. och Wilhelmson, H. (1986) *Handledning för geotekniska beräkningar*. Vägverket. (publ. 1986:6).
- Burström, P. G. (2006) *Byggnadsmaterial*. Andra upplagan. Lund: Studentlitteratur.
- Carling, M., Hjalmarsson, A-K. och Sveriges Geotekniska Institut. (1998) *Energiaskor för väg och anläggningsändamål*. [Elektronisk] EFO Energiaskor AB.
- Department of Environment and Local Governments. (2000) *Guidelines on the Rehabilitation of Roads over Peat*. [Elektronisk] Department of Environment and Local Governments.
- Forestry Civil Engineering och Scottish Natural Heritage (2010) *Floating Roads on Peat*. [Elektronisk]. Forestry Civil Engineering och Scottish Natural Heritage.
- Geosynthetic Materials Association. (2002) *Handbook of Geosynthetics*. [Elektronisk] Geosynthetic Materials Association.
- Granhage, L. (2009) *Kompendium i vägbyggnad*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Hansson, M. och Åslew Andersson, C. (2010) *En totalkostnadsjämförelse mellan cell-, skum- och leca-betong*. [Elektronisk] Jönköping: Tekniska Högskolan Jönköping.
- al Hasan, E. och a Meccai, K. (2004) *Geotextiles in Transportation Applications*. I *Second Gulf Coneference On Roads*; 14-18 mars 2004, Abu Dhabi, Förenade Arabemiraten.

Johnson, P. E., Reid, J. M. och Winter, M. G. (2005) Construction of Road Foundations on Soft Ground Using Lightweight Tyre Bales. I *International Conference on Problematic Soils*; 25-27 maj 2005, Famagusta, Cypern.

Länsstyrelsen. (2014) Våtmarksinventering. <http://ext-webbgis.lansstyrelsen.se/Vastragotaland/Infokartan/index.aspx?bookmark=918> (2014-05-19)

Lövström M. (2012) *Att använda askor rätt*. [Elektronisk] Stockholm: Svenska Energiaskor AB.

MacCulloch, F. och Munro, R. (2006) *Hantering av torvrelaterade problem på lågtrafikerade vägar*. [Elektronisk] Roadex III Northern Periphery.

Monash University (2010) Introductory lecture (part 1 of 5). [YouTube]. <http://www.youtube.com/> (2014-02-19).

Myr. <http://www.ne.se/lang/myr/261241>, Nationalencyklopedin, hämtad 2014-02-18.

Martinsson P-O. (1995) *Våtmarker - i Ale, Alingsås, Lerums, Lilla Edets och Trollhättans kommuner*. Vänersborg: Länsstyrelsen i Älvsborgs län.

Radforth, N. W. (1969) *Muskeg Engineering Handbook*

Rimoldi, P. (2001) The use of geogrids in road and railway applications. I *GEOTECHNIKA*; 30-31 oktober 2001, Budapest, Ungern.

ROADEX. (2014). Lesson 2. Roads on peat. *ROADEX Network – For better rural roads*. <http://roadex.org/> (2014-02-19).

Rustbädd. [http://www.ne.se/lang/rustbädd](http://www.ne.se/lang/rustbadd), Nationalencyklopedin, hämtad 2014-05-06.

Smith, I. (2006) *Smith's elements of soil mechanics*. 8:e upplagan. Singapore: Blackwell Publishing.

Strata Systems, Inc. (2010) *Reinforced soil slopes and embankments*. [Elektronisk] Strata Systems, Inc.

Sällfors, G. (2009) *Geoteknik*. 4:e upplagan. Göteborg.

Torv. <http://www.ne.se/lang/torv>, Nationalencyklopedin, hämtad 2014-02-19.

Torv – från sjö till våtmark. <http://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/erosion-och-igenvaxning/torv-fran-sjo-till-torvmark/>

Trafikverket. (2011) *TK Geo 11 - Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner*. Trafikverket.

Trafikverket. (1990) *Vägverkets författningssamling*
http://www.trafikverket.se/PageFiles/1109/vagverkets_foreskrift_statsbidrag_enskildvag.pdf
(2014-05-13)

ViaCon. (2014) *Geosynteter. ViaCon – Geosynteter, geotextilier, geomembran, geonät, gabioner*. <http://www.viacon.se/geosynteter.aspx> (2014-02-19).

Muntliga referenser

Andreasson, Algot (Kalkylator, Torslanda Entreprenad AB). Telefonintervju med författarna 2014-03-24.

Johansson, Gunnar (Miljö- och kvalitetschef, SCA Edets pappersbruk) Telefonintervju med författarna 25/3 2014.

Rydgård, Mats (Ekolog, Vattenvårdsenheten på Länsstyrelsen Västra Götaland). Mailintervju med författarna 2014-03-27.

Segeström, Håkan (Kontaktperson för vägsamfälligheten). Personligt möte med författarna 2014-01-30.

Bildreferenser

Figur 2.1: Smith, I. (2006) *Smith's elements of soil mechanics*. 8:e upplagan. Singapore: Blackwell Publishing.

Figur 2.2: Björnfot, P. och Sandberg, J. (2004) *Sprickfri och bärig väg med stålarmring*. [Elektronisk] Vägverket.

Figur 2.3: Björnfot, P. och Sandberg, J. (2004) *Sprickfri och bärig väg med stålarmring*. [Elektronisk] Vägverket.

Figur 2.4: ROADDEX. (2014). Lesson 2. Roads on peat. *ROADDEX Network – For better rural roads*. <http://roadex.org/> (2014-02-19).

Figur Bilaga 3.1: Trafikverket. (2011) *TK Geo 11 - Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner*. Trafikverket.

Figur Bilaga 3.2: Trafikverket. (2011) *TK Geo 11 - Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner*. Trafikverket.

Figur Bilaga 3.3: Trafikverket. (2011) *TK Geo 11 - Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner*. Trafikverket.

Dimensionering av armering i underkant bank

1 Förutsättningar

Denna beräkning avser dimensionering av armering i underkant bank enligt TK Geo 11, kap 16.1.4. Gemensamma parametrar för samtliga fall redovisas i beräkningsgången.

1.1 Beräkningsförutsättningar

Höjd på bank	$H_{bank} [m]$
Aktuell släntlutning 1:X	$X_{slänt} [m]$
Längd på slänt vid botten	$L_{slänt} := H_{bank} \cdot X_{slänt} [m]$

1.2 Gällande handlingar och föreskrifter

- TK Geo 11, Publikation 2011:047

1.3 Säkerhetsklass

Aktuell säkerhetsklass	$SK := 2 \Rightarrow \gamma_d := 0,91$
------------------------	--

1.4 Material

1.4.1 Bankfyllnadsmaterial, Förstärkningslager

Tunghet jord	$\gamma_1 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$
TK Geo, Tabell 5.2-1	
Medelvärde av tunghet på överbyggnad	
Karakteristisk friktionsvinkel	$\phi_{k.1}$
TK Geo, Tabell 5.2-4	
Partialkoefficient för jord	$\gamma_M := 1,3$
TK Geo, kap 2.6.3	
Dimensionerande friktionsvinkel	$\phi_{d.1} := \text{atan} \left(\frac{\tan(\phi_{k.1})}{\gamma_M} \right)$
Reduktionsfaktor för friktion mellan armering och jord	$\alpha_1 := 1,0$
TK Geo, Tabell 16.1-3	
(Krossmaterial och Geonät)	

1.4.2 Jord under armeringen, Torv

Tunghet jord	$\gamma_2 := 12 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$
TK Geo, Tabell 5.2-1	
Karakteristisk friktionsvinkel	$\phi_{k.2} := 28^\circ$
TK Geo, Kap 5.2.2.7	
Partialkoefficient för jord	$\gamma_M := 1,3$
TK Geo, kap 2.6.3	

Dimensionerande friktionsvinkel

$$\phi_{d.2} := \operatorname{atan}\left(\frac{\tan(\phi_{k.2})}{\gamma_M}\right)$$

$$\phi_{d.2} := 22,24^\circ$$

Reduktionsfaktor för friktion
mellan armering och jord
TK Geo, Tabell 16.1-3

 α_2

2 Laster

Trafiklast

$$q_T := 20 \text{ [kPa]}$$

Partialkoefficient för permanent
geoteknisk last
TK Geo, kap 2.3.2

$$\gamma_{G.g} := 1,1 \cdot \gamma_d$$

$$\gamma_{G.g} := 1$$

Partialkoefficient för variabel
geoteknisk last
TK Geo, kap 2.3.2

$$\gamma_{Q.g} := 1,4 \cdot \gamma_d$$

$$\gamma_{Q.g} := 1,27$$

Aktivt jordtryck

$$K_a := \tan\left(45^\circ - \frac{\phi_{d.1}}{2}\right)^2$$

Horizontalspänning

$$\sigma_h := K_a \cdot (\gamma_{G.g} \cdot \gamma_1 \cdot H_{bank} + \gamma_{Q.g} \cdot q_T) \text{ [kPa]}$$

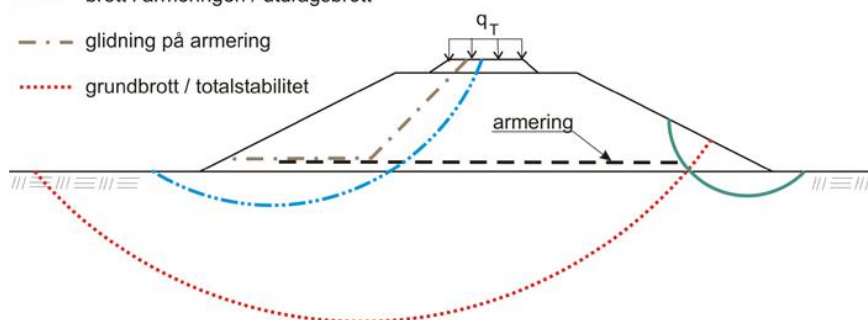
Lasteffekt

$$F_{arm} := \sigma_h \cdot \frac{H_{bank}}{2} \left[\frac{kN}{m} \right]$$

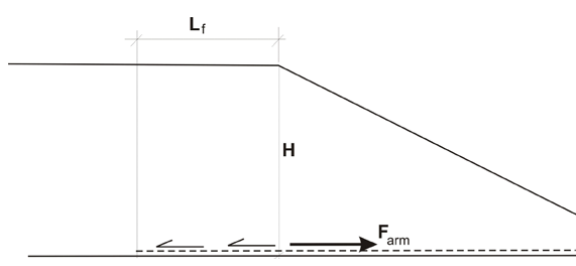
TK Geo, ekv 16.1-10

3 Figurer

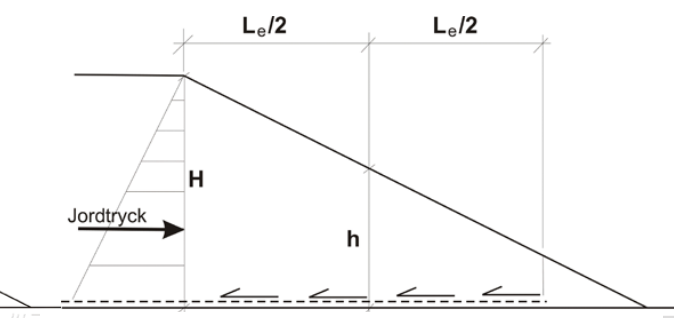
- stabilitet hos jordkil
- brott i armeringen / utdragsbrott
- - - glidning på armering
- grundbrott / totalstabilitet



Figur Bilaga 3.1
Kontroll av olika brottsgränstillstånd
(Trafikverket, 2011)



Figur Bilaga 3.2
Utdragsbrott i armeringen under banken
(Trafikverket, 2011)



Figur Bilaga 3.3
Glidning av slänt på armering där jordtrycket kan
uttryckas med F_{arm}
(Trafikverket, 2011)

4 Dimensionering

4.1 Utdragsbrott

TK Geo, ekv 16.1-11

Modellfaktor

TK Geo, ekv 16.1-6

$$F_{arm} \leq \frac{L_f \cdot \gamma \cdot H \cdot 2 \cdot \tan(\phi_d)}{\gamma_{rd}}$$

$$\gamma_{rd} := 1,3$$

$$L_f := \frac{F_{arm} \cdot \gamma_{rd}}{\gamma_1 \cdot H_{bank} \cdot 2 \cdot \alpha_2 \cdot \tan(\phi_{d.1})} \text{ [m]}$$

Ansätter ett minsta värde
på förankringslängden

$$L_{min} := 1 \text{ [m]}$$

Vald förankringslängd för
Utdragsbrott

$$L_{utdrag} := \max(, L_{min})$$

4.2 Glidning av slänt på armering

Medelhöjd på slänt

jmf fig 16.1-9 i TK Geo

TK Geo, ekv 16.1-12

$$h_{slänt} \text{ [m]}$$

$$F_{arm} \leq \frac{L_e \cdot \gamma \cdot h \cdot \alpha \cdot \tan(\phi_d)}{\gamma_{rd}}$$

$$L_e := \frac{F_{arm} \cdot \gamma_{rd}}{\gamma_1 \cdot h_{slänt} \cdot \alpha_2 \cdot \tan(\phi_{d.1})}$$

Ansätter ett minsta värde på
förankringslängden för glidning

$$L_{min. glid} := 1 \text{ [m]}$$

Vald förankringslängd för
glidning

$$L_{e. glid} := \text{median}(L_{min.}, L_e, L_{slant})$$

Kontroll av förankringslängden
med avseende på aktuell slänt

$$Kontroll_{L_e} := \text{if } \frac{L_{slänt} - \frac{L_{e. glid}}{2}}{h_{slänt}} \leq X_{slänt} \\ \text{||"OK"} \\ \text{else} \\ \text{||"Ansatt värde på h för lågt"}$$

5 Val av geonät

Erforderlig dragstyrka, lång tid

$$F_{arm} \left[\frac{kN}{m} \right]$$

Krypfaktor enligt isokronkurva
64% vid 6% töjning, 120 år

$$k := 0,64$$

Korrektionsfaktor för
installationsskador

TK Geo, Tabell 16.1-2

Krossmaterial 64-125 mm

$$\eta_i := 0,7$$

Korrektionsfaktor för
beständighet

TK Geo, kap 16.1.2.1.2.2

$$\eta_b := 0,9$$

Partialkoefficient för geosyntet
TK Geo, ekv 16.1-2

$$H_{bank} = 1,5 \gamma_{M. geonät} := 1,1$$

Minsta kapacitet, kort tid

$$T_b := \frac{F_{arm} \cdot \gamma_{M,geonät}}{k \cdot \eta_i \cdot \eta_b} \left[\frac{kN}{m} \right]$$

TK Geo, ekv 16.1-1 & 16.1-2

6 Resultat

	1m öb varav 0,5m lättklinker	1,5m öb varav 1m lättklinker	1m öb varav 0,7m askblandning	1,5m öb varav 1,2m askblandning	0,5m öb, grus, övre armering	0,3m öb, grus, övre armering
H _{bank} (m)	1	1,5	1	1,5	0,5	0,3
X _{slänt}	3	3	3	3	3	3
L _{slänt} (m)	3	4,5	3	4,5	1,5	0,9
γ ₁ (kN/m ³)	12,8	9,2	13,47	9,99	20	20
φ _{k.1} (°)	35	35	45	45	45	45
φ _{d.1} (°)	28,31	28,31	37,57	37,57	37,57	37,57
α ₂	0,8	0,8	0,8	0,8	0,95	0,95
K _a	0,36	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24
σ _h (kPa)	13,75	14,01	9,47	9,69	8,5	7,54
F _{arm} (kN/m)	6,88	10,51	4,74	7,27	2,12	1,13
L _f (m)	0,811	1,15	0,36	0,51	0,189	0,17
L _{utdrag} (m)	1	1,15	1	1	1	1
h _{slänt} (m)	0,5	0,75	0,5	0,75	0,25	0,15
L _e (m)	3,24	4,6	1,46	2,05	0,76	0,67
L _{e,glid} (m)	3	4,5	3	4,5	1,5	0,9
T _b (kN/m)	18,77	28,68	12,93	19,83	5,8	3,08
geonät, typ		Secugrid R6 40/20				

Tabell Bilaga 6.1

Krönbredd

$$L_{krönbredd} := 5 \text{ [m]}$$

Terrasserad bredd

$$L_{terrass} := L_{krönbredd} + 2 \cdot L_{slänt} \text{ [m]}$$

$$L_{f, verklig} := \frac{L_{krönbredd}}{2} := 2,5 > L_{f, teoretisk}$$

$$L_{slänt} \geq L_{e, glid}$$

L_f blir i det verkliga fallet L_{krönbredd}/2 eftersom det finns slänt på båda sidor om vägen. Detta jämförs med L_f ur beräkningarna. För samtliga fall är L_{f, verklig} större än L_{f, teoretisk} och därmed kommer geonätet att hålla för utdragsbrott.

Då armering kommer att läggas ut under hela vägkroppen blir den installerade armeringens längd lika med L_{terrass}. Vid beräkning av L_{e, glid} har L_{slänt} blivit dimensionerande för samtliga fall. Eftersom armeringen i praktiken kommer installeras med just bredden 2xL_{slänt} + L_{krönbredd} uppfylls därmed kravet för att ingen glidning av slänt på armeringen ska ske.

Geonätet som erhålls för det övre lagret i alternativet med aska och grus motsvarar samma geonät som vid alternativet med enbart hyvling 0,3m och installation av geonät. Samma gäller för motsvarande dimensionerande värden.

Dimensionering överbyggnad

Följande dimensionstjocklekar har erhållits från programmet PMS Object.

1 Beräkningsförutsättningar

1.1 Trafikparametrar

Klimatzon	2, <i>Västra Götaland</i>
Referenshastighet	50 [km/h]
Dimensioneringsperiod	20 år
- Standardvärde enligt Jan Englund	
ÅDTk	200
- Uppskattat värde utifrån rådande trafik, Håkan Segerström	
Andel tunga fordon	<i>Lokal väg</i> , 5 [%]
- Uppskattat värde utifrån rådande trafik, Håkan Segerström	
Antal standardaxlar per tungt fordon	1,3
- Standardvärde enligt Jan Englund	
Beräknat antal standardaxlar	105525

1.2 Materialparametrar

Överbyggnadstjocklek på befintlig väg	1,0 – 1,5 [m]
- <i>Geoteknisk handling (1992)</i>	
E-modul, 70 % flygaska med 30 % grus	$E_{aska, grus} := 1530 [MPa]$
- <i>Vägverket, Utvärdering av ett försök med flyg- och bottenaska som vägmateriäl (2005) Johan Ullberg, Ulrika Wikström</i>	
E-modul, lättklinker	$E_{lättklinker} := 40 [MPa]$
- TK Geo, kap 10.2.1.3	
Tunghet, grus	$\gamma_{grus} := 20 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$
- <i>Geoteknik (2009) Göran Sällfors</i>	$\gamma_{grus, w} := 10 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$
Tunghet, lättklinker	$\gamma_{lättklinker} := 6,5 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$
- TK Geo, kap. 10.2.1.1	$\gamma_{lättklinker, w} := 2 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$
Tunghet, 70 % aska med 30 % grus	$\gamma_{aska, grus} := 12,49 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$
- <i>Vägverket, Utvärdering av ett försök med flyg- och bottenaska som vägmateriäl (2005) Johan Ullberg, Ulrika Wikström</i>	$\gamma_{aska, grus, w} := 2,49 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$

Grundvattenytan antagen till 0,9m under toppen av vägbanan.

Lättklinker placeras inte närmare överytan än 0,5 m för att undvika frosthalka.

-TK Geo, kap. 10.2.3.2

2 Dimensionering

2.1 Erhållna mått

Erhållna värden ur PMS Object utifrån tidigare tjocklek av väg och trafikparametrar. Då måtten på grusslit-, bär- och förstärkningslager är satta till minsta godkända standard kan de inte minskas ytterligare.

Antagen överbyggnadstjocklek 1m, fall lättklinker:

Grusslitlager	50 [mm]
Bärlager	100 [mm]
Förstärkningslager	350 [mm]
Lättklinker	500 [mm]
Töjning av terrasyta i vertikalled	$\varepsilon := 0,0030$ [mm]
Största tillåten töjning	$\varepsilon := 0,0085$ [mm]
- PMS Object	

Antagen överbyggnadstjocklek 1,5m, fall lättklinker:

Grusslitlager	50 [mm]
Bärlager	100 [mm]
Förstärkningslager	350 [mm]
Lättklinker	1000 [mm]
Töjning av terrasyta i vertikalled	$\varepsilon := 0,0013$ [mm]
Största tillåten töjning	$\varepsilon := 0,0085$ [mm]
- PMS Object	

Antagen överbyggnadstjocklek 1m, fall aska blandat med grus:

Grusslitlager	50 [mm]
Bärlager	100 [mm]
Förstärkningslager	150 [mm]
Lättklinker	700 [mm]
Töjning av terrasyta i vertikalled	$\varepsilon := 0,0004$ [mm]
Största tillåten töjning	$\varepsilon := 0,0085$ [mm]
- PMS Object	

Antagen överbyggnadstjocklek 1,5m, fall aska blandat med grus:

Grusslitlager	50 [mm]
Bärlager	100 [mm]
Förstärkningslager	150 [mm]
Lättklinker	1200 [mm]
Töjning av terrasyta i vertikalled	$\varepsilon := 0,0002$ [mm]
Största tillåten töjning	$\varepsilon := 0,0085$ [mm]
- PMS Object	

2.2 Beräkning av spänning på underliggande torv orsakad av överbyggnad

2.2.1 Beräkning av nuvarande, 1m överbyggnad

Antagen överbyggnadstjocklek	1,0 [m]
Grus ovan g.v.y.	0,9 [m]
Grus under g.v.y.	0,1 [m]

Nuvarande överbyggnads spänning på underliggande torv $\sigma_{1m\ddot{o}b, nuvarande} := \gamma_{grus} \cdot 0,9 + \gamma_{grus, w} \cdot 0,1 := 19$ [kPa]

2.2.2 Beräkning av nuvarande, 1,5m överbyggnad

Antagen överbyggnadstjocklek	1,5 [m]
Grus ovan g.v.y.	0,9 [m]
Grus under g.v.y.	0,6 [m]

Nuvarande överbyggnads spänning på underliggande torv $\sigma_{1,5m\ddot{o}b, nuvarande} := \gamma_{grus} \cdot 0,9 + \gamma_{grus, w} \cdot 0,6 := 24$ [kPa]

2.2.3 Beräkning av förslag med aska blandat med grus, 1m överbyggnad

Antagen överbyggnadstjocklek	1,0 [m]
Askblandning ovan g.v.y.	0,6 [m]
Askblandning under g.v.y.	0,1 [m]
Grus ovan g.v.y.	0,3 [m]

Spänning på underliggande torv utifrån förslag

$$\sigma_{aska, grus} := \gamma_{aska, grus} \cdot 0,6 := 7,49$$
 [kPa]
$$\sigma_{aska, grus, w} := \gamma_{aska, grus, w} \cdot 0,1 := 0,25$$
 [kPa]
$$\sigma_{grus} := \gamma_{grus} \cdot 0,3 := 6$$
 [kPa]
$$\sigma_{1m, aska, grus} := \sigma_{aska, grus} + \sigma_{aska, grus, w} + \sigma_{grus} := 13,74$$
 [kPa]

$$\frac{\sigma_{tot, 1m, aska, grus}}{\sigma_{1m\ddot{o}b, nuvarande}} := \frac{13,74}{19} := 0,723$$

Lösning med 0,7m lättfyllningsmaterial i form av 70 % aska och 30 % grus resulterar i 27,7 % lägre spänning på underliggande torv jämfört med tidigare överbyggnad av 1,0m grus.

2.2.4 Beräkning av förslag med aska blandat med grus, 1,5m överbyggnad

Antagen överbyggnadstjocklek	1,5 [m]
Askblandning ovan g.v.y.	0,6 [m]

Askblandning under g.v.y.

0,6 [m]

Grus ovan g.v.y.

0,3 [m]

Spänning på underliggande torv
utifrån förslag

$$\sigma_{aska, grus} := \gamma_{aska, grus} \cdot 0,6 := 7,49 \text{ [kPa]}$$

$$\sigma_{aska, grus, w} := \gamma_{aska, grus, w} \cdot 0,6 := 1,49 \text{ [kPa]}$$

$$\sigma_{grus} := \gamma_{grus} \cdot 0,3 := 6 \text{ [kPa]}$$

$$\sigma_{1,5m, aska, grus} := \sigma_{aska, grus} + \sigma_{aska, grus, w} + \sigma_{grus} := 14,98 \text{ [kPa]}$$

$$\frac{\sigma_{tot, 1,5m, aska, grus}}{\sigma_{1,5m \ddot{o}b, nuvarande}} := \frac{14,98}{24} := 0,624$$

Lösning med 1,2m lättfyllningsmaterial i form av 70 % aska och 30 % grus resulterar i 37,6 % lägre spänning på underliggande torv jämfört med tidigare överbyggnad av 1,5m grus.

2.2.5 Beräkning av förslag med lättklinker, 1m överbyggnad

Antagen överbyggnadstjocklek

1,0 [m]

Lättklinker ovan g.v.y.

0,4 [m]

Lättklinker under g.v.y.

0,1 [m]

Grus ovan g.v.y.

0,5 [m]

Spänning på underliggande torv
utifrån förslag

$$\sigma_{l\ddot{a}ttklinker} := \gamma_{l\ddot{a}ttklinker} \cdot 0,4 := 2,6 \text{ [kPa]}$$

$$\sigma_{l\ddot{a}ttklinker, w} := \gamma_{l\ddot{a}ttklinker, w} \cdot 0,1 := 0,2 \text{ [kPa]}$$

$$\sigma_{grus} := \gamma_{grus} \cdot 0,5 := 10 \text{ [kPa]}$$

$$\sigma_{1m, l\ddot{a}ttklinker} := \sigma_{l\ddot{a}ttklinker} + \sigma_{l\ddot{a}ttklinker, w} + \sigma_{grus} := 12,8 \text{ [kPa]}$$

$$\frac{\sigma_{tot, 1m, l\ddot{a}ttklinker}}{\sigma_{1m \ddot{o}b, nuvarande}} := \frac{12,8}{19} := 0,674$$

Lösning med 0,5m lättfyllningsmaterial i form av lättklinker resulterar i 32,6 % lägre spänning på underliggande torv jämfört med tidigare överbyggnad av 1,0m grus.

2.2.6 Beräkning av förslag med lättklinker, 1,5m överbyggnad

Antagen överbyggnadstjocklek

1,5 [m]

Lättklinker ovan g.v.y.

0,4 [m]

Lättklinker under g.v.y.

0,6 [m]

Grus ovan g.v.y.

0,5 [m]

Spänning på underliggande torv
utifrån förslag

$$\sigma_{l\ddot{a}ttklinker} := \gamma_{l\ddot{a}ttklinker} \cdot 0,4 := 2,6 \text{ [kPa]}$$

$$\sigma_{l\ddot{a}ttklinker, w} := \gamma_{l\ddot{a}ttklinker, w} \cdot 0,6 := 1,2 \text{ [kPa]}$$

$$\sigma_{grus} := \gamma_{grus} \cdot 0,5 := 10 \text{ [kPa]}$$

$$\sigma_{1,5m, l\ddot{a}ttklinker} := \sigma_{l\ddot{a}ttklinker} + \sigma_{l\ddot{a}ttklinker, w} + \sigma_{grus} := 13,8 \text{ [kPa]}$$

$$\frac{\sigma_{tot, 1,5m, l\ddot{a}ttklinker}}{\sigma_{1,5m \ddot{o}b, nuvarande}} := \frac{13,8}{24} := 0,575$$

Lösning med 1,0m lättfyllningsmaterial i form av lättklinker resulterar i 42,5 % lägre spänning på underliggande torv jämfört med tidigare överbyggnad av 1,5m grus.

Kostnads kalkyler

1. Förslag 2a, 1m överbyggnad samt lecafyllning

Förslag 2a: För 1m överbyggnad samt lecafyllning					
	Mängd	Enhet	Á-pris	Á-pris tot	
Etablering	1	st	6 900	6 900	
Etablering av hyvel	1	st	3 250	3 250	
Bodetablering bod 1695 toa 555 utlägg grund 555	1	st	3 194	3 194	
Hyra bod 140 toa 50 grund 9	35	dag	230	8 050	
Hem	1	st	3 226	3 226	
Tillfällig vägtrafikanordning	35	dagar	450	15 750	
Jordschakt för väg, plan fall A	709	m3	101	71 609	
Jordschakt för väg, plan fall B	791	m3	239	189 049	
Materialskiljande lager av geotextil, under överbyggnad för väg, plan o d, bruksklass N4	3 750	m2	16	60 000	
Armerande lager av geonät	4 350	m2	52	226 200	
Lättfyllning för väg, leca tj=500mm	750	m3	586	439 500	
Förstärkningslager 0-80 tj=450, fall A	709	m3	99	70 191	
Slitlager av grus 0-18 tj=50mm	1 500	m2	40	60 000	
Justering av bärlager, med hyvel	1 500	m2	17	25 500	
			Summa:	1 182 419	exkl. moms

2. Förslag 2a, 1,5m överbyggnad samt lecafyllning

Förslag 2a: För 1,5m överbyggnad samt lecafyllning					
	Mängd	Enhet	Å-pris	Å-pris tot	
Etablering	1	st	6 900	6 900	
Etablering av hyvel	1	st	3 500	3 500	
Bodetablering bod 1695 toa 555 utlägg grund 555	1	st	3 226	3 226	
Hyra bod 140 toa 50 grund 9	50	dag	230	11 500	
Hem	1	st	3 314	3 314	
Tillfällig vägtrafikanordning	50	dagar	395	19 750	
Jordschakt för väg, plan fall A	709	m3	88	62 392	
Jordschakt för väg, plan fall B	1 541	m3	215	331 315	
Materialskiljande lager av geotextil, under överbyggnad för väg, plan o d, bruksklass N4	4 250	m2	16	68 000	
Armerande lager av geonät	4 850	m2	52	252 200	
Lättfyllning för väg, leca tj=1000mm	1 500	m3	574	861 000	
Förstärkningslager 0-80 tj=450, fall A	709	m3	99	70 191	
Slitlager av grus 0-18 tj=50mm	1 500	m2	40	60 000	
Justering av bärlager, med hyvel	1 500	m2	14	21 000	
			Summa:	1 774 288	exkl. moms

3. Förslag 2b, 1,0 m överbyggnad samt aska och grusblandning

Förslag 2b: 1,0m överbyggnad samt aska och grusblandning					
	Mängd	Enhet	Å-pris	Å-pris tot	
Etablering	1	st	6 900	6 900	
Etablering av hyvel	1	st	3 450	3 450	
Bodetablering bod 1695 toa 555 utlägg grund 555	1	st	3 229	3 229	
Hyra bod 140 toa 50 grund 9	45	dag	229	10 305	
Hem	1	st	3 226	3 226	
Tillfällig vägtrafikanordning	45	dagar	379	17 055	
Jordschakt för väg, plan fall A	375	m3	88	33 000	
Jordschakt för väg, plan fall B	1 125	m3	215	241 875	
Materialskiljande lager av geotextil, under överbyggnad för väg, plan o d, bruksklass N4	4 000	m2	16	64 000	
Armerande lager av geonät	4 500	m2	52	234 000	
Lättyfyllning för väg, Askblandning tj=700mm (70% aska + 30% Grus Fall A)	1 050	m3	122	128 100	
Förstärkningslager 0-80 tj=250, fall A	375	m3	105	39 375	
Slitlager av grus 0-18 tj=50mm	1 500	m2	40	60 000	
Justering av bärlager, med hyvel	1 500	m2	14	21 000	
			Summa:	865 515	exkl. moms

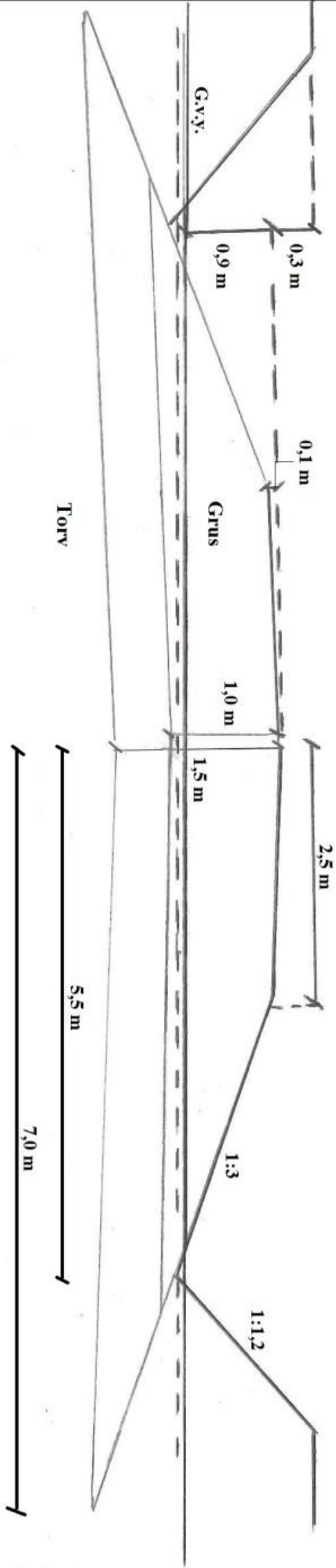
4. Förslag 2b, 1,5m överbyggnad samt aska och grusblandning

Förslag 2b: 1,5m överbyggnad samt aska och grusblandning					
	Mängd	Enhet	Å-pris	Å-pris tot	
Etablering	1	st	6 900	6 900	
Etablering av hyvel	1	st	3 450	3 450	
Bodetablering bod 1695 toa 555 utlägg grund 555	1	st	3 300	3 300	
Hyra bod 140 toa 50 grund 9	55	dag	235	12 925	
Hem	1	st	3 315	3 315	
Tillfällig vägtrafikanordning	55	dagar	386	21 230	
Jordschakt för väg, plan fall A	375	m3	88	33 000	
Jordschakt för väg, plan fall B	1 875	m3	215	403 125	
Materialskiljande lager av geotextil, under överbyggnad för väg, plan o d, bruksklass N4	4 250	m2	16	68 000	
Armerande lager av geonät	4 850	m2	52	252 200	
Lättfyllning för väg, Askblandning tj=1200mm (70% aska + 30% Grus Fall A)	1 800	m3	122	219 600	
Förstärkningslager 0-80 tj=250, fall A	375	m3	104	39 000	
Slitlager av grus 0-18 tj=50mm	1 500	m2	40	60 000	
Justering av bärlager, med hyvel	1 500	m2	14	21 000	
			Summa:	1 147 045	exkl. moms

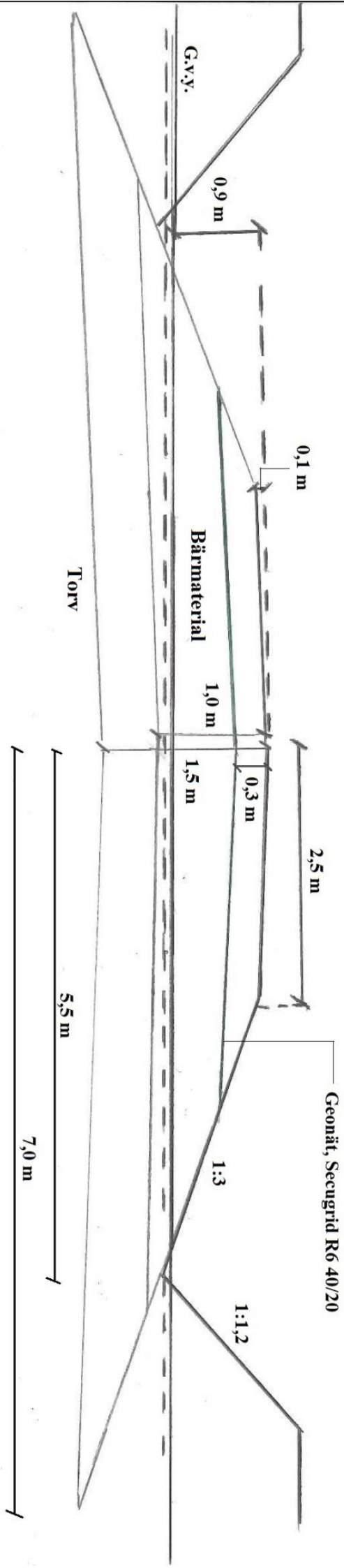
5. Förslag 1, Hyvla av väg 300mm samt lägga ett lager geonät, nytt slitlager

Förslag 1: Hyvla av väg 300mm samt lägga ett lager geonät, nytt slitlager					
	Mängd	Enhet	Å-pris	Å-pris tot	
Etablering	1	st	6 900	6 900	
Etablering av hyvel	1	st	3 250	3 250	
Bodetablering bod 1695 toa 555 utlägg grund 555	1	st	3 194	3 194	
Hyra bod 140 toa 50 grund 9	35	dag	230	8 050	
Hem	1	st	3 226	3 226	
Tillfällig vägtrafikanordning	35	dagar	450	15 750	
Jordschakt för väg, plan fall A	375	m3	123	46 125	
Jordschakt för väg, plan fall B	75	m3	275	20 625	
Armerande lager av geonät	1 500	m2	52	78 000	
Förstärkningslager 0-80 tj=250, fall A	375	m3	105	39 375	
Slitlager av grus 0-18 tj=50mm	1 500	m2	40	60 000	
Justering av bärlager, med hyvel	1 500	m2	17	25 500	
			Summa:	309 995	exkl. moms

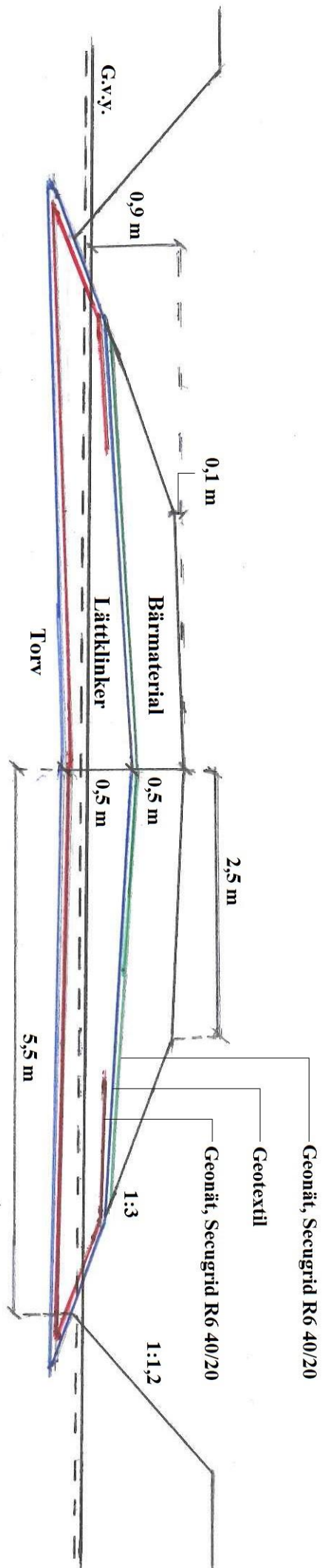
Ursprunglig väg
Överbryggnad: 1,0 - 1,5 m



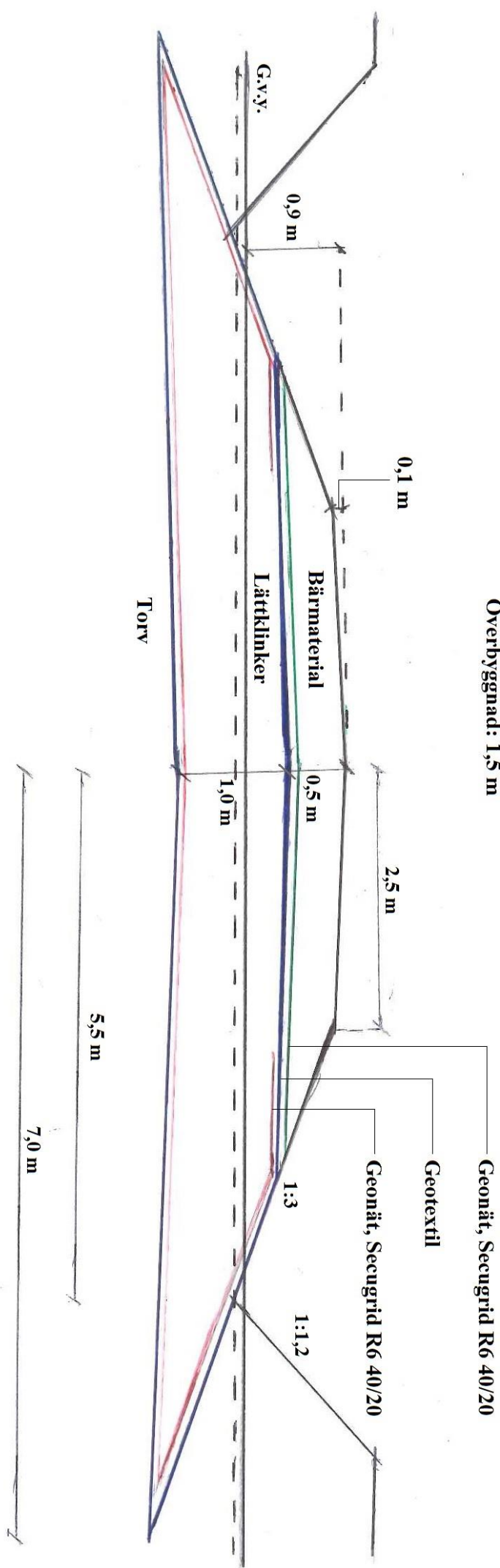
Lösning med hyvling och installering av geonät överbyggnad: 1,0 - 1,5 m



Lösning med geonät och lättklinker Överbyggnad: 1,0 m

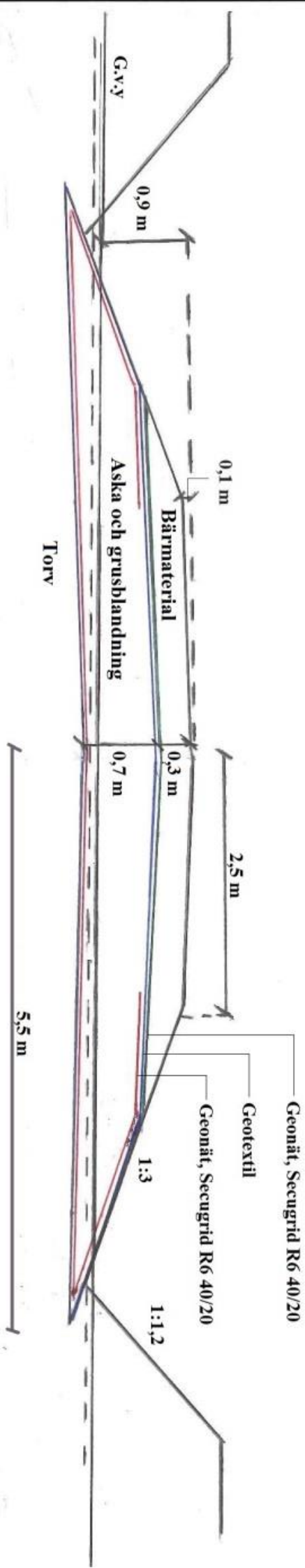


**Lösning med geonät och lättklinker
Överbyggnad: 1,5 m**



Lösning med geonät och aska och grusblandning

Överbyggnad: 1,0 m



Lösning med geonät och aska och grusblandning Överbbyggnad: 1,5 m

