Statens geotekniska institut

Erfarenheter av byggmetoder på torvmark

Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh

SGI Publikation 26 Linköping 2016

SGI Publikation 26

Hänvisa till detta dokument på följande sätt:

Vesterberg, B, Carlsten, P & Lindh P 2016, *Erfarenheter av byggmetoder på torvmark*, SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Linköping.

Diarienummer: 1.1-1503-0178

Uppdragsnummer: 15496,15506

Beställning:

Statens geotekniska institut
Informationstjänsten
581 93 Linköping
Tel: 013-20 18 04
E-post: info@swedgeo.se

Ladda ner publikationen som PDF
www.swedgeo.se

Statens geotekniska institut

Erfarenheter av byggmetoder på torvmark

Bo Vesterberg
Peter Carlsten
Per Lindh

SGI Publikation 26 Linköping 2016

Förord

Byggande och förvaltning av infrastruktur och bebyggelse är ett av samhällets största åtaganden och att uppnå ett hållbart samhällsbyggande är en stor utmaning. Kraven på att minska miljöbelastningen och omgivningspåverkan vid byggande ökar. Stora mängder jord- och bergmassor uppstår vid markbyggande vilka måste hanteras på ett hållbart sätt. Grundläggningskostnader utgör en väsentlig del av den totala investeringskostnaden i bygg- och anläggningsprojekt och samtidigt visar erfarenheter att de största tekniska riskerna är relaterade till geotekniska frågeställningar såsom markens hållfasthet samt hur olika typer av utförande och konstruktioner kan anpassas till markens beskaffenhet. De geotekniska förhållandena måste därför beaktas i den fysiska planeringen för att åstadkomma en hållbar och säker bebyggd miljö samt en effektiv plan- och byggprocess. Ökade risker och skador som uppkommer på grund av bristfällig kännedom om markförhållanden och felaktig grundläggning är ett omfattande problem både för samhället och för enskilda individer och bedöms generera höga merkostnader.

Statens geotekniska institut (SGI) är en myndighet med övergripande ansvar för markbyggande, för att minska risken för ras, skred och stranderosion samt för effektivisering av efterbehandling av förorenade områden.

Genom forskning, rådgivning och kunskapsförmedling arbetar SGI för ett effektivare markbyggande genom att verka för:

- Ökad säkerheten för att minska risker och skador på människor, miljö och egendom
- Minskad miljö- och klimatpåverkan
- Förbättrad kvalitet inom markbyggande
- Ökad produktivitet och minskade kostnader.

I denna rapport redovisas resultaten av en litteraturstudie och en inventering av nationella och internationella erfarenheter av byggande på torvmark i samband med väg- och järnvägsprojekt.

FoU-projektet ”Erfarenheter från byggmetoder på torvmark” har drivits som ett samarbetsprojekt mellan SGI och Trafikverket och inom ramen för forskningsprogrammet BIG (Branschsamverkan i grunden) och finansierats av båda dessa organisationer. En referensgrupp har medverkat i projektet och följande personer har ingått där: Mikael Ånäs, Trafikverket, Minna Karstunen, Chalmers tekniska högskola, Bo Johansson, NCC, och Helene Kennedy, SGI. Synpunkter på rapporten har, förutom av referensgruppen, lämnats av Peter Zackrisson, Sweco, Stefan Håkansson, Sweco, och Björn Dehlbom, SGI. Arbetsgruppen bestod av Bo Vesterberg, SGI, Peter Carlsten, Trafikverket, och Per Lindh, SGI.

Vi vill rikta ett varmt tack till dessa personer och organisationer och övriga som direkt eller indirekt medverkat i projektet.

Undertecknad har beslutat att ge ut publikationen.

Linköping i mars 2016

David Bendz
Forskningschef

Innehållsförteckning

Sammanfattning **8**

Summary **10**

1. Inledning **12**
1.1 Syfte och mål 12
1.2 Bakgrund 12

2. Torvs geotekniska egenskaper **14**
2.1 Ett konstruktionsmaterial vid grundläggning 14
2.2 Basegenskaper 14
2.3 Deformations- och hållfasthetsegenskaper 15

3. Byggmetoder – nationella objekt **17**
3.1 Inledning 17
3.2 Förbelastning 17
3.3 Lastanpassning 23
3.4 Armering 27
3.5 Djupstabilisering 30
3.6 Pålning 42
3.7 Massutskiftning 42

4. Erfarenheter – konstruktioner **43**
4.1 Vägar 43
4.2 Järnvägar 46
4.3 Bankar – allmänt 57

5. Analys och diskussion **61**
5.1 Torvs egenskaper, parametrar och beräkningsmodeller som underlag till byggmetoder 61
5.2 Byggande och underhåll 66
5.3 För- och nackdelar med olika byggmetoder 67
5.4 Byggmetoder vägar – rekommendationer 75

6. Slutsatser och rekommendationer **76**
6.1 Slutsatser och rekommendationer 76
6.2 Fortsatt forskning och utveckling 80

Referenser **83**

Sammanfattning

Det råder en viss skepsis mot att använda torv som undergrund för vägar och järnvägar. Rätt utfört finns möjligheter att bygga bankar över torv som i obelastat tillstånd har mycket låg bärförmåga. I denna rapport redovisas exempel på goda erfarenheter från olika byggmetoder för förstärkning och byggande av vägar och järnvägar på torvmark. Vidare diskuteras och pekas ut relativt omfattande behov av nya kunskaper avseende egenskaper, metoder och modeller för torv för att kunna effektivisera val av byggmetod.

Huvudsyftet med projektet var att genomföra en litteraturstudie för att sammanställa och analysera tidigare, huvudsakligen under de senaste cirka 15 åren avslutade projekt, nationella och internationella erfarenheter av byggande på torvmark i samband med väg- och järnvägsprojekt. Målet var att sammanställa nationella och internationella erfarenheter från byggmetoder på torvmark i en state-of-the-art rapport.

En inventering av avslutade och pågående nationella projekt har utförts för erfarenhetsåterföring. Från projekten har sammanfattats, så långt som information funnits tillgänglig, för använd byggmetod: undersökningar, dimensionering och design, uppföljningar i byggskedet och allmän erfarenhetsåterföring. Speciellt har goda exempel på byggmetoder lyfts fram. Projektet avhandlar byggande på ”torvmark” och således även jordprofiler där torv ingår tillsammans med andra jordmaterial, men med materialet torv i fokus.

Det finns byggmetoder som används och fungerar väl för såväl nybyggnation som förstärkning av vägar och järnvägar på torvmark. Men de beräkningsmetoder och -modeller som används för att dimensionera åtgärder i torvmark bygger huvudsakligen på sådana som utvecklats för finkornig mineraljord. Det finns således ett behov av att utveckla relevanta metoder för bestämning av materialparametrar och relevanta beräkningsmodeller för torv. Baserat på tidigare erfarenheter av byggande fungerar i allmänhet de använda byggmetoderna bra, men sannolikt sker i vissa fall antingen en kostsam överdimensionering eller skapas onödigt stora underhållsåtgärder under många efterföljande år. Med nya kunskaper avseende egenskaper, metoder och modeller för torv finns stora möjligheter att kunna effektivisera valet av byggmetod och tillhörande dimensionering.

Baserat på dokumenterad information och intervjuer med geotekniker i Sverige har ofta uttryckts att en byggmetod har ”fungerat bra” för ett visst väg- eller järnvägsobjekt. Detta konstaterande är dock som regel inte baserat på långtidsmätningar av teknisk funktionalitet, inte heller statistik för underhållsåtgärder före och efter en förstärkningsåtgärd, utan i bästa fall på en okulär besiktning några år efter färdigställande. Detta innebär att det som regel är svårt att verifiera att en byggmetod tekniskt har fungerat tillfredställande.

Många olika byggmetoder har använts de senaste cirka 15 åren, med bedömda goda resultat, för förstärkning och nybyggnation av vägar på torvmark i Sverige och valet av metod baseras bland annat på traditioner och tidigare erfarenheter inom aktuell region. Metoder som använts för vägar är huvudsakligen förbelastning (med överlast), lastanpassning (lättviktsmaterial, profiländring, tryckbankar), armering (vävd geotextil, geonät), stabilisering (masstabilisering) och massutskiftning (urgrävning och återfyllning, partiell urgrävning, undanpressning).

Byggmetoder för förstärkning av befintliga järnvägar i Sverige har huvudsakligen varit tryckbankar, men även massutskiftning (fullständig urgrävning) och stödbensurgrävning. Även andra metoder som pålning, spont och masstabilisering har använts. Vid nybyggnation av järnvägar är normal praxis att torven grävs bort och ersätts med friktionsmaterial.

I rapporten ges i Kapitel 3 exempel på goda erfarenheter av byggmetoder för nationella vägobjekt på torvmark. I Avsnitt 4.2 presenteras exempel på järnvägsobjekt där förstärkning av befintliga bankar på

torvmark har genomförts. I Avsnitt 5.1 diskuteras och presenteras behov av ny kunskap avseende torvs egenskaper, parametrar och beräkningsmodeller som underlag till en effektivare dimensionering av byggmetoder. Exempelvis analyseras och diskuteras i Avsnitt 5.1 nuvarande metodiker och deras relevans för bestämning av friktionsvinkel och odränerad skjuvhållfasthet för torv och tankar till förbättringar ges. För- och nackdelar med olika byggmetoder för vägar och järnvägar på torvmark har sammanställts i tabeller i Avsnitt 5.3. Rekommendationer för byggmetoder för vägar på torvmark ges i Avsnitt 5.4.

Vid provning i torv ger vingförsök som regel resultat som är missvisande avseende odränerad skjuvhållfasthet. Direkta skjuvförsök är det försök som betraktas som mest relevant för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet i torv, men även för det försöket ska stor försiktighet gälla vid nyttjande av utvärderad odränerad skjuvhållfasthet.

Sannolikt behövs ett nytt teoretiskt ramverk utvecklas för att på ett bättre sätt förklara och förutsäga torvs mekaniska (spännings-töjnings) egenskaper, tillsammans med utvecklingen av ny försöksutrustning för bestämning av bland annat hållfasthetsegenskaper. Detta beroende på att befintliga teorier och modeller som tillämpas för torv är utvecklade för finkorniga jordar som saknar fibrer.

Summary

There is a skepticism regarding the use of peat as foundation for roads and railroads. However, with an adequate construction method there are possibilities to construct embankments on peat which in unloaded conditions have low bearing capacity. In this report examples of good experiences of construction methods for improving and constructing road and rail road embankments are presented. New knowledge concerning geotechnical properties, methods to determine properties and models for calculation of the geotechnical behavior of peat is needed. The report states that this need of new knowledge is extensive.

In the project reported in this report a literature review was conducted, and knowledge about construction methods of roads and rail roads on peat ground was collected, especially concerning Swedish, but also international, experiences. To collect the Swedish experiences an inventory of construction projects implemented in Sweden the last 15 years was conducted. From the construction projects, as far as information was available, the following was documented regarding used methods: investigations, calculations and design, follow ups at construction stage, and general experiences. Especially good examples of construction methods were highlighted. The project was expected to create a basis for better estimates of quality of construction on peat ground and to identify the need for future research and development activities. The project concerned peat ground, i.e. soil profiles containing peat together with other soil materials, however with peat in focus.

There exist construction methods that are used, and work well, both for new construction, and for improvement of existing structures, for roads and rail roads on peat ground. However, the methods and models for calculation of the geotechnical behavior of peat which are used for design of roads and rail roads are basically developed for fine-grained mineral soils, and not for peat containing fibers. There is thus a need to develop relevant testing methods for evaluation of parameters and methods for calculation of the geotechnical behavior of peat. Based on previous experiences, of construction of roads and rail roads on peat, the construction methods in general works well. However, we believe that in some cases, the construction methods lead to expensive and oversized design or to unnecessary large maintenance action and cost for many years. With new knowledge concerning geotechnical properties, testing methods and models for calculation of the geotechnical behavior of peat there are big possibilities for a more efficient choice of construction method and design.

Documented information and interviews with geotechnical engineers in Sweden often expressed that a used construction method has worked well for a certain road or rail road project. These statements were normally not based on long-term measurements of technical functionality or statistics of maintenance actions before and after a reinforcement measure. At best the statements were based on ocular inspection some years after finishing the construction work. This implies that it has been difficult to verify a certain used construction method has been satisfying from a technical point of view.

Many different construction methods have been used in Sweden the last 15 years, with estimated good results, for improvement and new construction of roads on peat ground. The choice of construction method is often based on traditions and previous experiences in the current region. Construction methods that have been used for roads are mainly preloading (with surcharge), load adjustment (lightweight fill, profile change, pressure berms), reinforcement (woven geotextile, geogrid), stabilization (mass stabilization) and mass replacement (excavation and replacement, partial excavation, displacement).

Construction methods for improvement of existing rail road embankments on peat in Sweden have mainly been pressure berms, but also mass replacement (complete excavation, partial excavation). Also other methods like piling, installation of sheet pile wall and mass stabilization have been used. For new construction of rail roads the normal procedure is to excavate peat and replace it with frictional material.

In chapter 3 examples of good experiences of construction methods for Swedish roads on peat ground are presented. In section 4.2 examples of rail road projects with improvement of existing embankments are described. In section 5.1 the need for new knowledge concerning geotechnical properties, geotechnical parameters and models for calculation of the geotechnical behavior of peat are discussed and presented, as a basis for a more efficient design of construction methods. For example current methodologies for evaluation of friction angle and undrained shear strength of peat are analyzed and discussed. Advantages and disadvantages with different construction methods for roads and rail roads on peat ground have been presented in tables in section 5.3. Recommendations for construction methods of roads on peat ground are given in section 5.4.

Investigation of peat strength with the field vane test in general gives an evaluated undrained shear strength that is not relevant. Direct simple shear test is the method that is regarded as most relevant for evaluation of undrained shear strength of peat, but also for this test large cautions should be used when applying the results.

Most likely a new theoretical framework needs to be developed in order to better explain and predict the mechanical (stress-strain) behavior of peat, together with a development of new testing apparatuses for investigation of e.g. strength properties. This because the current theories and models which are applied for peat is developed for fine-grained soils which do not have fibers that affects the mechanical behavior.

1. Inledning

1.1 Syfte och mål

Huvudsyftet med projektet var att genomföra en litteraturstudie för att sammanställa och analysera tidigare, huvudsakligen under de senaste cirka 15 åren avslutade projekt, nationella och internationella erfarenheter av byggande på torvmark i samband med väg- och järnvägsprojekt. Målet var att sammanställa nationella och internationella erfarenheter från byggmetoder på torvmark i en state-of-the-art rapport.

En inventering av avslutade och pågående nationella projekt har utförts för erfarenhetsåterföring. Från projekten har sammanfattats, så långt som information funnits tillgänglig, för använd byggmetod: undersökningar, dimensionering och design, uppföljningar i byggskedet och allmän erfarenhetsåterföring. Speciellt har goda exempel på byggmetoder lyfts fram.

Baserat på litteraturstudien beskrivs allmänt torvs geotekniska egenskaper samt identifieras behov av fortsatta forsknings- och utvecklingsinsatser. Projektet avhandlar byggande i ”torvmark” och således även jordprofiler där torv ingår tillsammans med andra jordmaterial, men med materialet torv i fokus.

1.2 Bakgrund

Det råder en viss skepsis mot att använda torv som undergrund för vägar och järnvägar. Rätt utfört finns möjligheter att bygga bankar över torv som i obelastat tillstånd har mycket låg bärförmåga. På senare år har förbelastning av torv använts i vägprojekt med positiva erfarenheter, exempelvis rapporterat i ”Förbelastning av torv, kalkgyttja och bleke, Rv 50 Mjölby-Motala” (Johansson et al., 2012). I denna rapport redovisas även andra exempel på goda erfarenheter från olika byggmetoder för förstärkning och byggande över torvmark.

Under 1980- och 90-talen utfördes en hel del forsknings- och utvecklingsarbete i Sverige avseende torvs egenskaper och torv som grundläggningsmaterial under bankar, framförallt vägbankar. ”Torv - geotekniska egenskaper och byggmetoder” (Carlsten, 1988a), ”Vägbyggnad på torv” (Carlsten, 1989), ”Peat – geotechnical properties and up-to-date methods of design and construction. State-of-the-art-report” (Carlsten, 1993), ” Hållfasthet i torv. Skjuvförsök på torvprover” (Carlsten, 1997), ”Torvs geotekniska egenskaper. Sammanställning av erfarenheter från laboratorieförsök på torv” (Carlsten & Lindahl, 1999), är de huvudsakliga sammanställande skrifter som togs fram. Vidare studerades speciellt byggmetoden förbelastning och rekommendationer kring den togs fram, ”Förbelastning av torvmosse i samband med byggnation av Dalarövägen, Stockholm” (Carlsten, 1985), ”Användning av förbelastning vid vägbyggnad på torv” (Carlsten, 1988b) och Carlsten (1988a, 1989, 1993). Överslagsmässiga modeller för beräkningar av sättningar hos torv under bankar togs fram (Carlsten, 1989), och dessa byggde på modeller utvecklade för leror och inte torv som innehåller fibrer. Svenska torvjordars geotekniska egenskaper beskrevs och klassificerades, undersökningsmetoder i fält- och laboratorium utvecklades, en databas med egenskaper hos torv skapades på SGI, provbankar uppfördes och vägar byggdes och rekommendationer avseende byggmetoder vid vägbyggnad på torv togs fram (Carlsten, 1988a, 1989, 1993, 1997; Carlsten & Lindahl, 1999). Rapporter som delvis berör torv och publicerade under 1985-1990 är SGI Rapport 27, 29, 32, 34 och 38. Handboken “Embankments on Organic Soils” (Hartlén & Wolski, 1996), som även inkluderar torv, togs fram i ett svenskt-polskt samarbete.

I slutet av 1990-talet och början av 2000-talet genomfördes studier av torv kopplad till järnvägsbankar, framförallt befintliga järnvägsbankar kopplat till ökad tåglast och högre tåghastighet (Banverket, 1996a; Banverket, 1996b; Carlsten & Johansson, 1996; Axelsson, 1996; Carlsten, 1996; Carlsten, 1997; Carlsten & Lindahl 2000; Holm et al., 2002). Fokus var hållfasthets- och styvhetsegenskaper och undersökningsmetodik i fält- och laboratorium för torv under järnvägsbankar. Masstabilisering av torv studerades under

90-talet och början av 2000-talet inom projekten ”Eurosoilstab” och ”Svensk djupstabilisering” och tekniker för stabilisering i fält och provning i laboratoriet utvecklades. En doktorsavhandling ”Mass stabilization – stability and settlement in Mass Stabilized Peat” presenterades av Jelisic (2004), en annan om stabilisering av bland annat torv av Åhnberg (2006) och en licentiatuppsats om olika faktorers inverkan på stabiliseringseffekten av torv av Pousette (2001). Bortsett från masstabilisering har forskning och utveckling i Sverige inom torvområdet, avseende geotekniska egenskaper och modeller och byggmetoder, varit liten de senaste cirka 15 åren.

Roadex påbörjades 1998 som ett pilotprojekt i syfte att ”skapa ett effektivt utbyte och samarbete mellan vägdistrikt inom den europeiska kontinentens nordliga delar”. Utvecklingsarbetet inom Roadex har drivits i olika delprojekt sedan dess och Trafikverkets norra distrikt har medverkat. Rapporter har publicerats rörande byggande, drift och underhåll av företrädesvis lågtrafikerade vägar på torvmark. Några av rapporterna har översatts till svenska och projektet ha också tagit fram lektioner (e-learning) i syfte att sprida kunskap. En av lektionerna rör ”Vägar på torv”. Rapporter och övrigt material kan hämtas på webbplatsen ”Roadex.org”.

TK Geo 13 (TDOK 2013:0667; Trafikverket 2014 a) är en teknisk beskrivning som anger Trafikverkets krav vid nybyggnad och förbättring av geokonstruktioner för väg och järnväg. I anslutning till TK Geo 13 finns TDOK 2013:0668 Trafikverkets råd vid nybyggnad och förbättring av geokonstruktioner för väg och järnväg, TR Geo 13 (Trafikverket 2014 b) som innehåller råd till de krav som anges i TK Geo 13. TK Geo 13 och TR Geo 13 hänvisar till ”SGI. Information 6 – Torv, geotekniska egenskaper och byggmetoder” (Carlsten, 1988a) och BVS1585:002, Stabilitet för befintliga järnvägar (Banverket, 1999).

2. Torvs geotekniska egenskaper

2.1 Ett konstruktionsmaterial vid grundläggning

”*Lågförmultnad torv är en snäll jordart om man behandlar den väl, men den kan vara i dåligt sällskap*”. Torvmark kan i många fall användas vid grundläggning istället för att gräva ur den. Vid behov, och även som regel, förstärks jorden exempelvis genom förbelastning, för att kunna bära lasten av ovanliggande bank utan att för stora sättningar eller markbrott sker. Med rätt hantering av påförda laster vid byggandet av en bank förväntas normalt inte stabiliteten vara ett problem, utan utmaningen är som regel att hantera vertikala deformationer (sättningar) och deras storlek och tidsförlopp såväl under byggfasen som driftsfasen. Torv förekommer med andra jordarter i en jordprofil och ofta underlagras torv av organiska sediment (exempelvis gyttja, kalkgyttja), kemiska sediment (bleke) och lera. Detta är viktigt att beakta vid analys och val av byggmetod för grundläggning av ny konstruktion eller förstärkning av befintlig väg eller järnväg. Likaså ska beaktas att förmultningsgraden i högsta grad påverkar torvs egenskaper och metoden förbelastning kan vara olämplig vid exempelvis högförmultnad torv.

Trafikverket redovisar i sina kravdokument (TK Geo 13, och andra dokument) vilka krav som gäller för bankar och dessa krav ska uppfyllas även för bankar över torvmark. Krav avseende stabilitet och tillåtna sättningar kan exempelvis uppfyllas med hjälp av förbelastningmetoden. Torvens hållfasthet ökar med stegvis upplastning och sättningarna tas ut under liggtiden. Förbelastningen kombineras med en överlast och vid förbelastningstidens slut genomförs en avlastning. Problemen med krypdeformationer minskar när metoden förbelastning med överlast används.

Kunskapen kring torvjordar och deras geotekniska egenskaper och hur de fungerar som material vid grundläggning av vägar och järnvägar är betydligt mindre än motsvarande kunskap om lerjordar. Det är svårt att med dagens teorier och modeller beskriva torvs egenskaper på ett relevant sätt, eftersom dagens beräkningsmodeller baseras på beteende hos kohesionsjordar (leror), vilka saknar inverkan av fibrer.

2.2 Basegenskaper

Grundläggande parametrar är viktiga för att karakterisera och klassificera torv, och dessa är huvudsakligen vattenkvoten, humifieringsgraden/förmultningsgraden och densiteten. För att bättre kunna dra nytta av erfarenheter av byggmetoder från ett objekt till ett annat är det viktigt att verifiera att det är samma eller liknande typ av torv med avseende på basegenskaper, eftersom torv kan skilja en hel del i egenskaper och därmed i mekaniskt beteende.

Inventeringen av nationella objekt i denna studie visar att förmultningsgrad oftast varierar en hel del i en och samma jordprofil. Bildningssättet och vid bildningstiden rådande klimat anses vara avgörande faktorer. Torv klassificeras normalt efter en 10-gradig skala (enligt von Post & Granlund, 1926) och i tre grupper beroende på förmultningsgrad: H1-H4: lågförmultnad torv, H5-H7: mellantorv och H8-H10: högförmultnad torv (se vidare i exempelvis Carlsten, 1988a). I **Tabell 2.1** visas några basegenskaper typiska för torv (från www.roadex.org, E-learning – Vägar på torv).

Torvavlagringar har nästan uteslutande bildats sedan senaste istiden och det maximala djupet i en svensk mosse är 10 m (tillväxten kan vara cirka 1 m per 1000 år). Ytliga delar av torven kan brytas ned vid exempelvis sänkt grundvattenyta. Torv längre ner i mossen bryts i allmänhet inte ner med tiden utan den fick sina huvudsakliga egenskaper i samband med avsättningen/bildningen. Torv kan enligt Magnusson et al. (1963) indelas i fyra olika typer av torvbildningar: igenväxningstorvmarker, översilningstorvmarker, källtorvmarker och mossar. En torvmark kan bestå av flera av dessa torvtyper lagrade på varandra. Torv består av organiska rester av den vegetation som växt på markytan under olika tider efter senaste istiden

(Carlsten, 1989) och som regel är torven överst i jordlagerföljden. Torv kan dock även finnas inlagrat i sediment vid exempelvis meandrande vattendrag.

Tabell 2.1 Några basegenskaper typiska för torv (www.roadex.org, E-learning – Vägar på torv).

Egenskap	Typ av torv		
	Lågförmultnad torv	Mellantorv	Högförmultnad torv
Vattenkvot %	700-2000	500-1200	500-900
Askhalt %	1.5 - 3.0	3 - 8	8 - 30
Skrymdensitet in situ (kg/m^3)	900 - 1100	900 - 1100	900 - 1100
Torrdensitet (kg/m^3)	40 - 70	70 - 100	100 - 140
Portal	10 - 25	8 - 17	7 - 13
Permabilitet (m/s)	10^{-5} - 10^{-6}	10^{-6} - 10^{-7}	10^{-7} - 10^{-8}

I Carlsten (1988a, 1989) och Carlsten & Lindahl (1999) finns mer beskrivet om geotekniska basegenskaper hos svenska torver.

Torv på nordliga breddgrader, Finland, Canada, Norge och Japan kan egenskapsmässigt vara relativt lika (utan att vara likadana) torv i Sverige. Torv på sydligare breddgrader kan däremot skilja sig avsevärt från torv i Sverige.

2.3 Deformations- och hållfasthetsegenskaper

Torv är ett samlat begrepp för material med olika bildningssätt vilket innebär att de geotekniska egenskaperna ofta varierar, ibland kraftigt, för olika torver. Torv har allmänt låg densitet, är mycket kompressibel, har låg hållfasthet och dålig bärförmåga och i obelastat tillstånd hög permeabilitet. Torvs egenskaper förändras vid konsolidering för belastning; permeabiliteten och kompressibiliteten minskar, hållfastheten ökar (speciellt för lågförmultnad torv). Deformations- och hållfasthetsegenskaperna hos torv skiljer sig ofta markant från lerjordar. Det saknas en del kunskap avseende geotekniska egenskaper och hur dessa lämpligen bestäms hos torvjordar och inte minst hur dessa kan beskrivas med lämpliga modeller för olika tillämpningar. Dessa geotekniska egenskaper och förhållanden måste beaktas vid val av byggmetod. I torvmark förekommer ofta jordlagerföljder med andra organiska och lösa jordar. Egenskaperna hos dessa måste också beaktas vid val av byggmetod.

Vid förbelastning av torv är en uppfattning att de största deformationerna och största hållfasthetstillväxten sker direkt under lasten (Landva, 1980; Carlsten & Lindahl 2000), detta till skillnad från lera då också inverkan med djupet är tydlig (om än avtagande med djupet). Fibrer i torv fungerar som en form av armering och vid signifikant inverkan av fibrer erhålls en ”hängmatteeffekt” eller ”repeffekt” i torven vid belastning och bärförmågan och stabiliteten för ovanliggande konstruktion blir högre (Carlsten & Lindahl, 2000). Vid förbelastning av torv är hållfasthetsökningen dels relativt snabb beroende på den höga permeabiliteten och dels relativt stor exempelvis i jämförelse med leror, vilket är gynnsamt vid byggande.

Den internationella litteraturstudien visar att det idag i allmänhet saknas kunskap om deformationsmönster och brottmekanismer hos torv under bankar. Väl utförda och kontrollerade försök i större skala (i laboratorium och i fält) behöver utföras för att bättre förstå och i beräkningsmodeller kunna inkludera effekten av fibrer. Huvudsaklig (initial) riktning hos fibrer i torv kan vara vertikal (exempelvis ibland för obelastad torv) likväl som horisontell (exempelvis ibland för belastad torv) eller något däremellan och kunskapen är begränsad kring detta.

En internationell sammanställning (state-of-the art) av egenskaper och värden på parametrar hos torv har genomförts av (Mesri & Ajlouni, 2007) med fokus på permeabilitet, kompressibilitet och skjuvhållfasthet. Studien visar generellt resultat och slutsatser som tidigare erhållits också för svensk torv (Carlsten & Lindahl, 1999).

Befintliga försöksmetoder är inte särskilt relevanta för att bestämma friktionsvinkeln hos torv och tveksamma för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet. Kopplingen mellan brott vid laboratorieförsök och vid fältförsök är inte klarlagd. Sannolikt behövs ett nytt teoretiskt ramverk tas fram för att förklara och förutsäga hållfasthet hos torv (och även kompressionsegenskaper) tillsammans med utvecklingen av ny försöksutrustning för bestämning av bland annat friktionsvinkel (O´Kelly, 2015). I Holland pågår en del forskning kring torv och där har man med uppskalade direkta skjuvförsök (Den Haan & Grognet, 2014) fått värden på friktionsvinklar på cirka 30° vid större töjningar, vilka är cirka 10 % större än de från försök utförda i den mindre och standardiserade apparaten för skjuvförsök, att jämföra med friktionsvinklar typiskt på cirka 40-60° från aktiva triaxialförsök (exempelvis O´Kelly, 2015; Den Haan & Feddema, 2013; Mesri & Ajlouni 2007). Ofta krävs stora töjningar, större än 15 % skjuvtöjningar, för att mobilisera maximal skjuvspänning, vilket bidrar till tveksamheter av relevans av brottvärden. Direkta skjuvförsök är det försök som mest efterliknar en fältsituation, men då med begränsningen för specialfallet en plan (horisontell) glidyta där fiberorienteringen är huvudsakligen i planets (horisontellt) riktning.

Det finns behov av ny kunskap och nya modeller för torv, kanske till och med helt nya teoretiska koncept än de gängse inom jordmekaniken samt nya dimensioneringsprinciper. Materialmodeller som används i geotekniska beräkningar måste beskriva torvs mekaniska egenskaper, annars är det i strikt mening inte relevant att utföra beräkningar. För överslagsmässiga beräkningar av kända och uttestade fall kan befintliga beräkningsmodeller, exempelvis av sättningar av en bank enligt TK Geo 13 / TR Geo 13 användas (se vidare i Kapitel 5).

I Avsnitt 5.1 diskuteras relativt utförligt torvs deformations- och hållfasthetsegenskaper och problematiken och utmaningarna avseende relevanta försöksmetoder och utvärderingsmodeller för bestämning av dessa egenskaper som underlag till val av byggmetoder.

3. Byggmetoder – nationella objekt

3.1 Inledning

I detta kapitel presenteras praktiska exempel med de byggmetoder som har använts vid byggande, nybyggnation eller förstärkning av befintlig konstruktion, av vägar och järnvägar på torvmark i Sverige huvudsakligen de senaste cirka 15 åren. Byggmetoderna har grupperats enligt:

- **Förbelastning** (kombinerad med överlast, stegvis upplastning, och eventuell vertikaldränering)
- **Lastanpassning** (lättviktsmaterial, profilsänkning, tryckbank)
- **Armering** (vävd geotextil, geonät, risbädd/rustbädd)
- **Djupstabilisering** (masstabilisering, kalkcement-pelare)
- **Pålning** (påldäck)
- **Massutskiftning** (urgrävning och återfyllning, inklusive stödbensurgrävning, undanpressning)
- **Spont**

Nedan i detta kapitel beskrivs varje byggmetod med ett eller flera objekt i Sverige, en vägkonstruktion, där metoden har använts och dokumenterats. Från projektens sammanfattas, så långt information finns, för använd byggmetod: i) undersökningar (inklusive jordlagerförhållanden och basparametrar); ii) dimensionering och design; iii) uppföljningar i byggskedet; iv) allmän erfarenhetsåterföring. Objekt med byggmetod spont exemplifieras i Avsnitt 4.2 för järnvägskonstruktioner.

Från den nationella inventeringen finns flera väldokumenterade fall med förbelastning (med eventuell överlast) som byggmetod, några av dessa äldre än 15 år. Exempelvis är erfarenheterna goda från förbelastning av Riksväg 50 Mjölby-Motala (Johansson et al., 2012). Vidare finns mer eller mindre väl dokumenterade nationella fall avseende byggmetoderna lastanpassning, armering, djupstabilisering, pålning, massutskiftning och spont, med ibland olika varianter för de olika byggmetoderna, exempelvis cellstabilisering och masstabilisering under byggmetoden stabilisering.

3.2 Förbelastning

Förbelastning utförs med hjälp av en överlast från en bankfyllning ofta i kombination med tryckbankar för att förhindra eventuellt brott i torven. Fyllningen av bankmaterial ska ske etappvis baserat på torvens aktuella skjuvhållfasthet för att undvika skjuvbrott i torven. Utläggningen av bankmaterial utförs normalt på en vävd geotextil eller geotextil och geonät som läggs på torven. Det är viktigt att ytlig torv eller stubbar inte schaktas bort då de som regel bidrar till ökad stabilitet genom sin armerande förmåga.

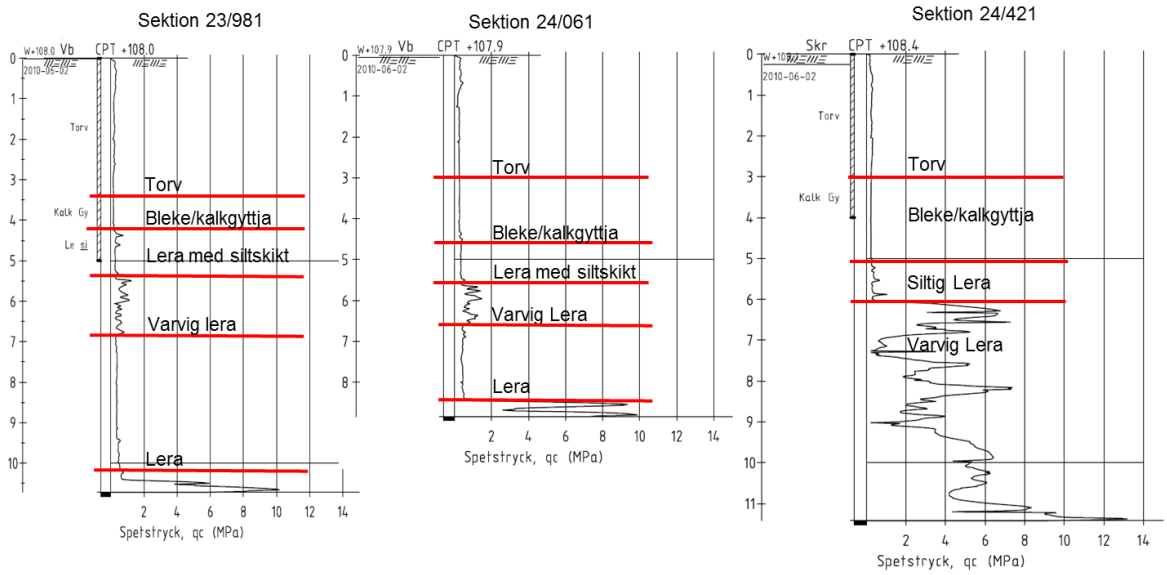
3.2.1 Riksväg 50 Mjölby - Motala

Nybyggnationen av vägsträckan passerar två större torvområden som förstärktes genom förbelastning (Johansson et al., 2012). En dokumentation av geotekniska undersökningar i fält och laboratorium, deformationsmätningar, portrycksmätningar, analyser och slutsatser, och sammanfattande råd om genomförandet av denna typ av projekt ges i Johansson et al. (2012).

Överst utgörs jordlagerföljden av ett torvlager med en mäktighet på 2 till 4 m, **Figur 3.1**. Torven överlagrar lager av kalkgyttja och/eller bleke med en mäktighet mellan 0,5 och 2 m. Under torven finns siltig lera

med varierande förekomst av silt- och sandskikt. Torvens vattenkvot varierade mellan 200 % för den högförmultnade och upp till 1000 % för den lågförmultnade torven. Densiteten på torven var omkring 1,0 t/m^3 och vingförsök indikerade en okorrigerad skjuvhållfasthet på mellan 5 och 10 kPa.

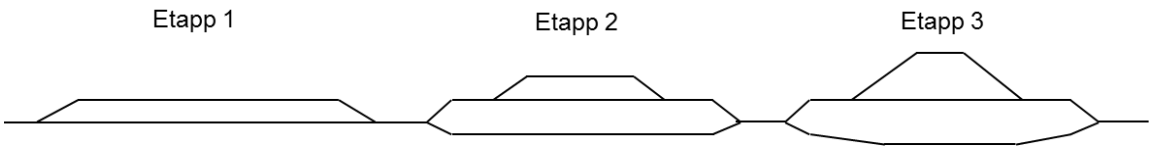
Kalkgjyttjan/bleken har en vattenkvot som varierar mellan 150 och 500 % och densiteten varierar mellan 1,0 och 1,3 ton/m^3. Skjuvhållfastheten varierar mellan 5-10 kPa.



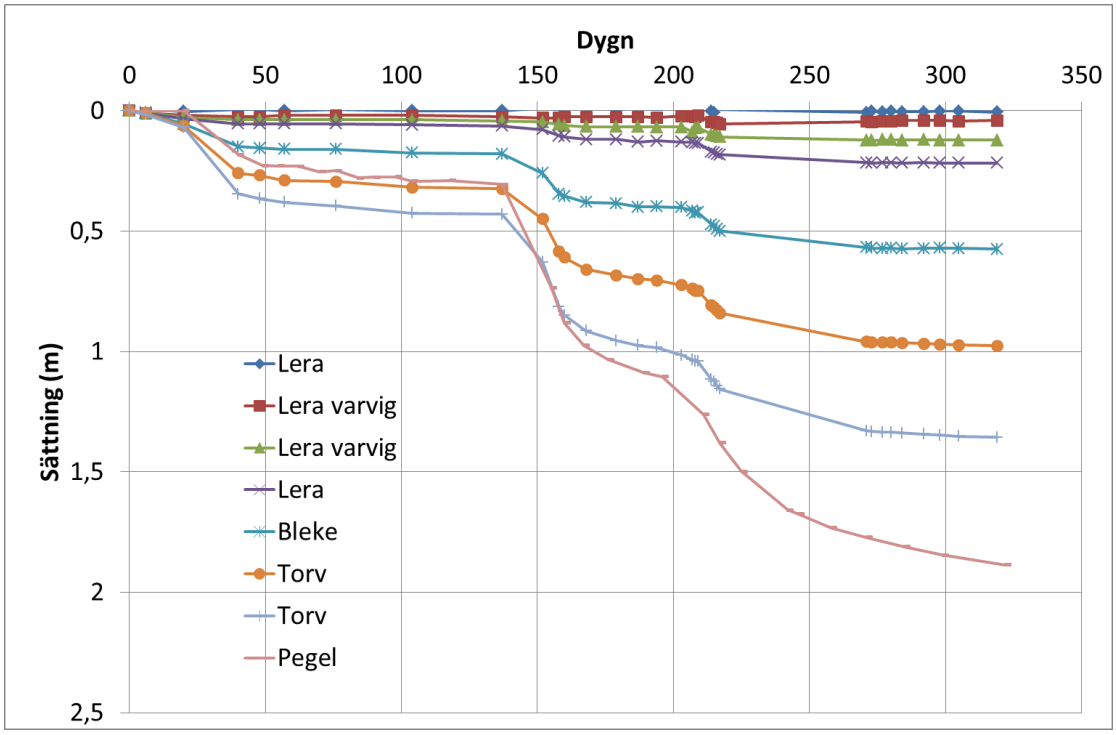
Figur 3.1 Tolkad jordlagerföljd vid Riksväg 50 Mjölby-Motala (Johansson et al., 2012).

Den underliggande jorden består av en varvig lera med densitet mellan 1,6 och 1,8 ton/m^3 samt en korrigerad skjuvhållfasthet mellan 20 och 30 kPa.

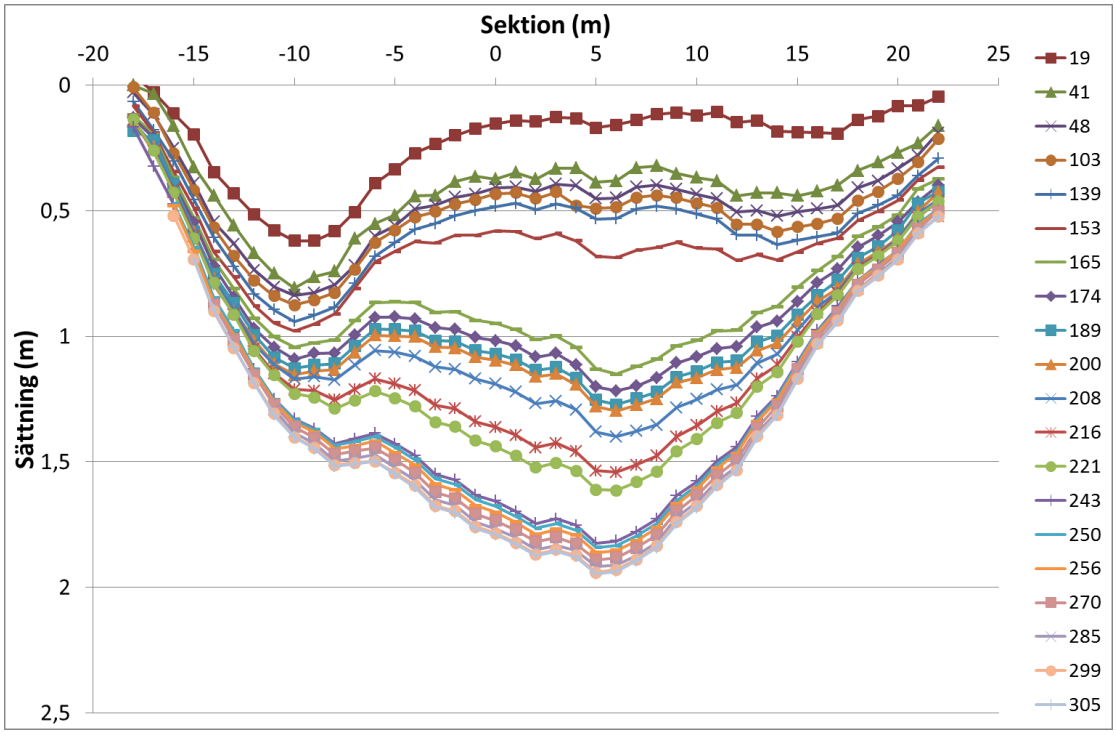
Profilplanet för vägen ligger 2 till 2,5 m över mossens yta. Vägbankens schematiska uppbyggnad, visas i **Figur 3.2**. Exempel på sättningsförlopp ges i **Figur 3.3** och **Figur 3.4** (se vidare i Johansson et al., 2012).



Figur 3.2 Schematisk skiss av uppbyggnaden av vägbank RV 50 Mjölby-Motala, där etapp 3 är inklusive överlast (Johansson et al., 2012).



Figur 3.3 Sättningsförlopp hos peglar i km 24/060, avser vägmitt (Johansson et al., 2012).



Figur 3.4 Slangsättningsmätningar vid olika dygn, km 24/060 (Johansson et al., 2012).

De viktigaste resultaten från utförda deformationsmätningar är:

- Sättningsuppföljning med peglar ger tillräcklig information
- Fördelen med slangsättningsmätning är att den inte hindrar eller av misstag förstörs av pågående schakt- och fyllnadsarbeten.
- Jordskruvar ger besked om hur stor deformationen är i olika delar av jordprofilen, men resultaten blir osäkra vid riktigt stora deformationer.

De viktigaste erfarenheterna vid utförandet:

- De initiala deformationerna är mycket stora, vilket gör att det inte är lämpligt att styra fyllningsarbetet mot angivna fyllningsnivåer. Lagerhöjden kan bli för stor. Uppfyllningen bör istället definieras som en fyllningstjocklek.
- Portrycksmätningarna visar att det är vanskligt att mäta portryck under längre tid. Mätarna bör regelbundet funktionstestas eller sättas om.

De viktigaste erfarenheterna vid projektering:

- Hållfastheten hos organisk jord kan bedömas med hjälp av tillgänglig empiri.
- Humifieringsgrad och vattenkvot behövs för att kunna bedöma deformationsegenskaperna hos den organiska jorden i de fall dessa egenskaper inte bestäms i kompressometerförsök.
- Hållfasthets- och deformationsegenskaper hos underliggande lösa jordlager måste undersökas.
- Överlastens storlek måste anpassas till effektivspänningsökningen. Förenklat kan detta uttryckas med att högre överlast erfordras vid låg bank och lägre överlast vid hög bank.

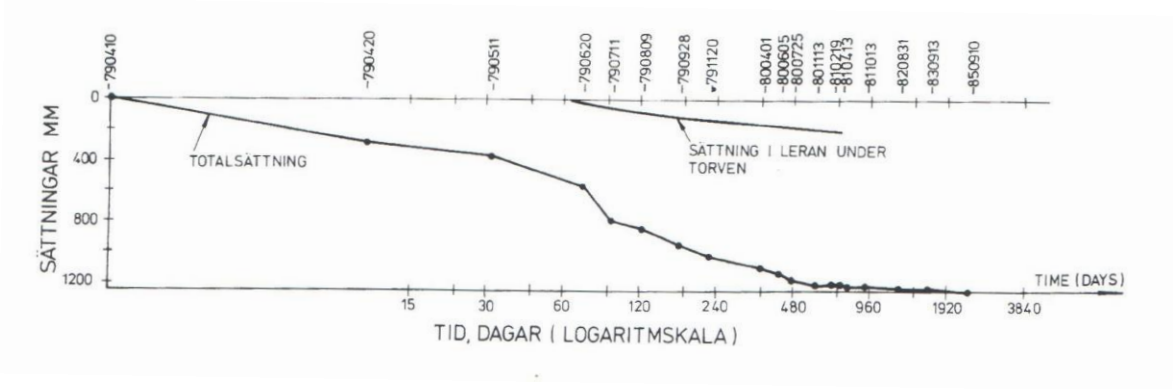
Av erfarenheterna från förbelastning på Riksväg 50 kunde följande slutsatser dras:

- När torvens humifieringsgrad och vattenkvot bestämts kan sättningens storlek beräknas med tillräcklig noggrannhet med tillgänglig empiri,
- Hållfasthetstillväxten i torven, till följd av belastning, kan bestämmas genom tillgänglig empiri.
- Noggrann uppföljning av sättningarnas storlek och tidsförlopp med till exempel peglar är nödvändig för att kunna avgöra om liggtiden kan förkortas eller behöver förlängas.
- Den begynnelsevis låga hållfastheten i torv gör att lasten måste påföras etappvis. Efter det att jordarna konsoliderat och erhållit en högre hållfasthet kan nästa laststeg utföras.

Det har inte varit någon uppföljning utöver funktionsmätningar av RV50. Vid okulär besiktning av rörelser av vägen några år efter genomförandet var bedömningen att resultatet blev bra för använd byggmetod.

3.2.2 Väg 73, Dalarövägen, Stockholm

Förbelastning av torv användes vid byggandet av Dalarövägen, Stockholm (Carlsten, 1985, 1988a, 1988b). Här har vägen utförts som en 24 m bred motorvägssektion och på en sträcka av cirka 850 m leds vägen över den så kallade Slätmossen. Torvmäktigheten var mellan 2 och 3 m och förmultningsgraden varierade mellan H2 och H5. De mer lågförmultnade delarna påträffades i den över delen av torvprofilen medan de lägre delarna bestod av mer högförmultnad torv. Den projekterade avlastningen efter slutförd förbelastning var 0,5 m i sektion 1/360. Då sättningarna blev något större än beräknat behövde överlasten kompletteras i ett extra laststeg, vilket medförde ökad säkerhet mot eftersättningar. Sättningsförloppet i sektion 1/359 visas i **Figur 3.5**.



Figur 3.5 Sättningar som funktion av tid (logaritmisk skala) i sektion1/360 Dalarövägen (Carlsten, 1988a).

Erfarenheter från förbelastning av torv på Dalarövägen, Väg 73:

- ”Ostörda prover” i kombination med bestämning av deformationsegenskaper i laboratoriet ger en relativt noggrann uppskattning av sättningarnas tidsförlopp.
- Uppföljning av sättningarnas storlek och tidsförlopp är nödvändig då exempelvis indata från fyllningens densitet med mera kan vara svårbedömt.
- Överlasten bör påföras etappvis på grund av torvens låga hållfasthet. Då konsolideringsförloppet sker snabbt för torv kan intervallerna mellan pålastningarna sättas till 1 månad.
- Resultaten från sättningsuppföljningen från överlasten visade på nästan enbart vertikala deformationer på torven. De uppmätta horisontella deformationerna var i storleksordningen 150 mm under bankens slänt.
- I de fall förbelastning av torv är aktuell bör alla deformationer beaktas, det vill säga även de deformationer som utbildas i underliggande jordprofil.
- Dalarövägen har mätts i cirka 3 år efter färdigställande. Resultaten visade en sättning på cirka 10 mm/år (40 mm/4 år, jämför Figur 3.5).

3.2.3 Ombyggnad Väg 296 Kårböle - Z länsgränsen

Vid ombyggnad, breddning och profilhöjning med mellan 0,2 och 0,6 m, av väg 296, *Väg 296 Kårböle - Z länsgränsen*, användes förbelastning med överlast av torv som förstärkningsmetod (Ånäs, 1999). Alternativet med massutskiftning av torven och återfyllning med sprängsten ansågs vara en relativt dyr metod. Torven hade en vattenkvot mellan 200 och 2000 %. Humifieringsgraden varierade mellan 2 och 10. På den aktuella sträckan varierade torvdjupet mellan 0 och 6 m. Torvdjupet varierade både i längdled och i tvärled. Förbelastningen utfördes i två etapper. Den första etappen var uppdelad på 0,7 m överlast dag 1 och resterande 0,6 m dag 2. Pålastningen föregicks av utläggande av en geotextil. Efter 30 dygn utfördes den andra etappen av förbelastningen. Även den andra etappen var uppdelad på två dagar med påförande av 0,6 m fyllning per dag. Krav ställdes på noggrann kontroll av uppfyllningslagrets tjocklek samt vägkroppens sättning. De framtida sättningarna efter vägen färdigställts bedömdes bli mellan 0,1 och 0,2 m.

Fyra till fem månader efter den första pålastningen beräknades större delen av konsolideringssättningen ha utvecklats och att därmed avlastning kunde ske. Sättningarna på grund av förbelastningen under cirka 8-10 månaders liggtid, uppmätta med markpeglar, varierade mellan 0,2 och cirka 1 m, se **Tabell 3.1**.

Tabell 3.1 Beräknade sättningar och uppmätta sättningar före avlastning samt torvdjup (Ånäs, 1999).

Sektion	Beräknad sättning Höger sida	Uppmätta sättningar Höger sida	Överlast över färdig väg i aug 98 Höger sida	Torvdjup Höger sida	Uppmätta sättningar Vänster sida	Torvdjup Vänster sida	Överlast över färdig väg i aug 98 Vänster sida
	m	m	m	m	m	m	m
0/120	*1,1*		*0,85*	*4*	-	-	-
0/140	-		*0,86*	*5*	-	-	-
0/160	*1,5*		*0,89*	*6*	-	-	-
0/180	-		*0,81*	*4*	-	-	-
0/200	*1,5*		*0,79*	*6*	-	-	-
0/220			*0,95*	*4*	-	-	-
0/240	*0,3*		-	*1*	-	-	-
0/260	-		-	*3,5*	-	-	-
0/280	*0,9*		-	*3*		*4*	*0,57*
0/300	-		-	*2,5*		*1,5*	*0,58*
0/320	*1,0*		-	*3*		*2*	*0,53*
0/340	-		-	*0*		*2*	*0,11*
0/360	*0*		-	*0*		*1*	*-0,30*

Sättningsuppföljningen väckte några frågor, varför:

- Blev sättningsutvecklingen långsammare än beräknat?
- Blev uppmätta sättningarna mindre än beräknat?
- Är inte sättningsstorleken i alla delar proportionell mot torvdjupet?

Nollavvägning gjordes efter pålastning påbörjats, varierande egenskaper (humifieringsgrad, vattenkvot) hos torv, begränsad omfattning ostörd provtagning och kompressionsförsök, beräkningar i fler typsektioner, var de tänkbara förklaringar som gavs till avvikelserna. Sättningsberäkningar i projekteringsskedet ska ses som riktgivande, så att dels överlasten (avlastningen) blir tillräcklig och dels att sättningarna inte blir större än beräknat. Tidsperspektivet pekades ut som en viktig faktor som inte bör underskattas i projekteringsskedet.

Uppföljning av sättningar cirka 9 månader respektive 21 månader efter vägens färdigställande, visar att vägen fortsätter sätta sig något (cirka 2-7 cm), vilket antagits i projekteringen, men med något avtagande hastighet och har helt avstannat i vissa sektioner. Okulär uppföljning 2007 (cirka 9 år efter färdigställande) visar att sättningarna har fortsatt i vissa sektioner och med en bedömd sättning på 10-20 cm de senaste 7 åren, se **Figur 3.6**. Sättningarna under byggnationen, innan avlastning, var typiskt cirka 70-100 cm i de områden där största långtidssättningar skett. Fortsatta krypsättningar och möjligen dynamisk belastning av tunga fordon lyfts fram som förklaringar till de fortsatta sättningarna efter lång tid. Troligen orsakar dock sättningarna inga komfortproblem.

Rapporten som beskriver detta objekt har bland annat skrivits i syftet att visa att förbelastning av torvjord är genomförbart om alla berörda parter inser metodens för- och nackdelar (Ånäs, 1999). I rapporten konstateras att förbelastning av torv med överlast kan med fördel användas på det mindre vägnätet för breddning och vid mindre profilhöjning. Det är av yttersta vikt att en genomgång av förstärkningsåtgärderna görs med berörda parter (byggledare, entreprenör, konsulter och beställare) innan bygget startas. Vid större projekt är det en stor fördel om även entreprenören har en egen geotekniker. Det är viktigt vid användande av förbelastning med överlast som byggmetod att förundersökningarna är tillräckliga och utförda med kvalitet och att utförandet görs som ett engagerat ”team-arbete” (Ånäs, 1999).

Figur 3.6 Sättning i vägbanan över torvmark cirka 9 år efter utförd förstärkning genom förbelastning med överlast, Väg 296 Kårböle - Z länsgräns (Foto: Mikael Ånäs).

3.3 Lastanpassning

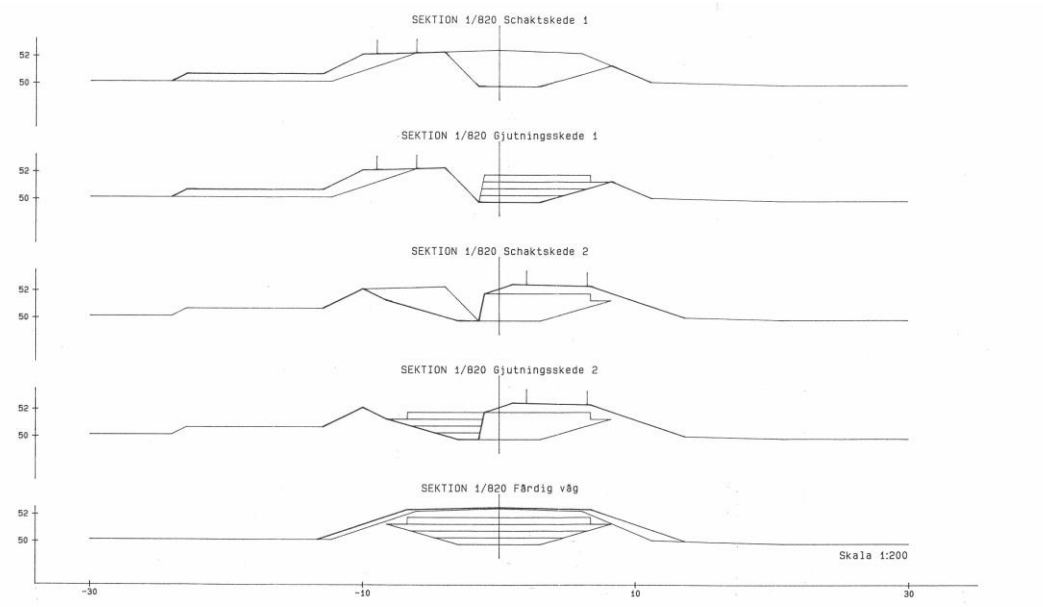
Lastanpassning kan utföras med olika lättviktsmaterial. De vanligaste är cellplast, bark/flis, lättklinkerfyllning och skumglas men även skumbetong har testats. I torvmark används metoden nästan enbart för att åtgärda befintliga vägar som har drabbats av stora sättningar.

3.3.1 Väg E65 Börringe kloster

På en sträcka av E65 förbi Börringe kloster (cirka 20 km öster om Malmö) förekom återkommande problem med pågående sättningar och dålig stabilitet. Sättningsproblematiken hade åtgärdats med ny beläggning och som mest var beläggningstjockleken cirka 0,9 m. I samband med att vägens profilläge skulle höjas, vägens tvärfall och bredd justeras beslutades att även sättnings- och stabilitetsproblematiken skulle åtgärdas genom avlastning (Thomasson, 1991). Skumbetong valdes och avlastningen dimensionerades så att stabiliteten blev godtagbar och beräknade sättningar acceptabla.

På en av delsträckorna (cirka 120 m) där problemen var som störst består jorden av torv, gyttja och lera ned till maximalt cirka 8 m djup. När vägen en gång byggdes hade urgrävning utförts men urgrävningsbredden var otillräcklig och torv och gyttja fanns kvar under vägen. Undersökningar med georadar visade på beläggningstjocklekar varierande mellan 0,5 och 0,9 m.

Avlastningens storlek dimensionerades med förutsättningen att densiteten hos skumbetongen efter maximal vattenuppsugning var högst 0,6 t/m^3. I **Figur 3.7** redovisas principen för utförandet av avlastningen. Trafiken skulle vara igång under hela entreprenadtiden, men i enbart ett körfält under vissa tider. Gjutetapperna utfördes med 0,5 m tjocklek och maximalt utfördes 2,0 m skumbetong på sträckan 1/780-1/900. Överbyggnaden på skumbetongen var minst 0,5 m. Den geometriska utformningen utfördes sådan att avlastning åstadkoms även under vägens slänter, eftersom torv och gyttja fanns kvar vid blivande släntfot.



Figur 3.7 Börringe kloster: Princip för utförande av skumbetongfyllningen (SGI, 1992).

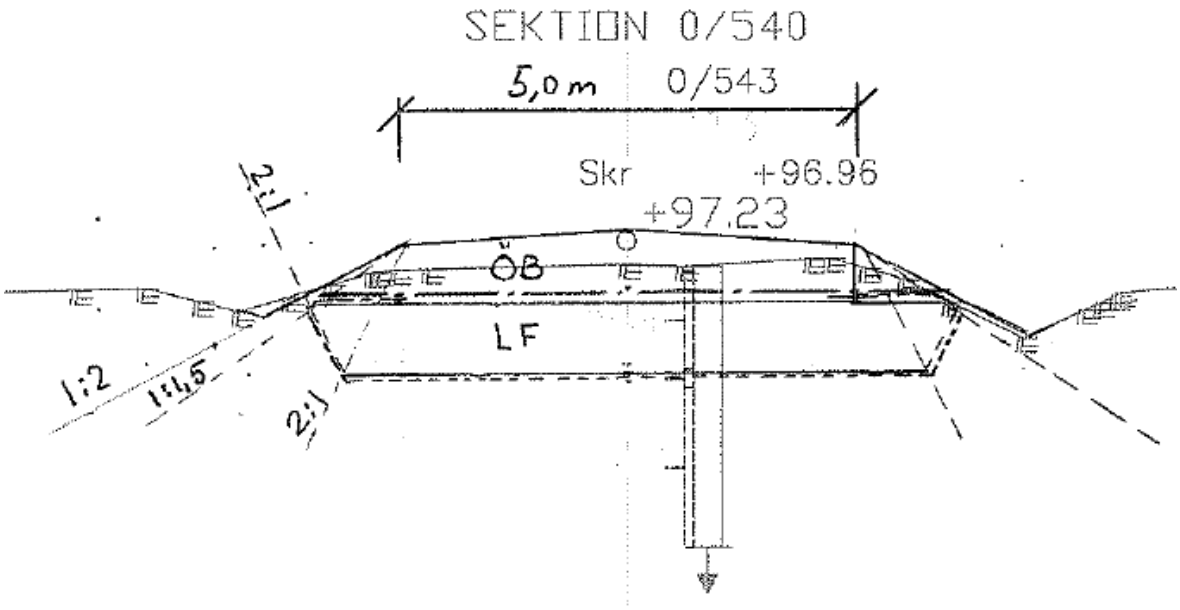
Arbetet utfördes i två etapper. I etapp 1 genomfördes avschaktning av den södra (högra) väghalvan, medan trafiken leddes fram på den norra. För att säkerställa stabiliteten i byggskedet uppfördes en tryckbank på vägens norra sida. Skumbetongen göts direkt mot framschaktad yta efter att en plastduk lagts ut. Härdningen av respektive lager tog ungefär ett dygn och därefter kunde ett nytt halvmeterslager gjutas ovanpå det tidigare. Som framgår av figuren så flyttades trafiken i etapp 2 över på den södra väghalvan när skumbetongen där var färdiggjuten och överbyggnaden klar. Efter att vägen färdigställts har vägytans rörelser mätts med spikar i beläggningen. Uppföljningen visade att problemen med sättningarna minskat avsevärt.

En stor fördel med att använda skumbetong är att trafiken kan vara igång på den väghalva som inte åtgärdas för tillfället.

3.3.2 Väg 807, Holma mosse

Lastanpassning kan också genomföras med trämaterialen bark eller flis. Vid förstärkning under 2010 av väg 807, Holma mosse, användes flis för att utföra en lastanpassning och för att höja profilnivån. Metoden går ut på att ersätta en del av överbyggnadsmaterialet med det lättare materialet flis och ovanpå detta en geotextil innan ny överbyggnad påförs (Gunnarsson, 2015).

Området vid Holma mosse hade varit översvämningsdrabbat, flera gånger årligen beroende på att vägprofilen i princip var i nivå med omkringliggande mosse där grundvattenytan låg ungefär vid markytan. Området består av besvärliga jordförhållanden med lösa och organiska jordar med en låg odränerad skjuvhållfasthet runt 5 kPa. Det var stora funderingar hur man lämpligen skulle kunna höja profilnivån och lyckas förstärka vägen för en sträcka på cirka 1200 m för att undvika större långtidssättningar. Den lösning som slutligen valdes var att gräva ur befintlig väg och ersätta den med 800 mm lättviktsmaterial bestående av flis och en överbyggnad, **Figur 3.8**. Under fyllningen av flis placerades en geotextil, N4, som drogs in minst 1 m in under vägen, **Figur 3.9** och **Figur 3.10**. Förstärkningsmetoden bygger på grundkonceptet presenterat i handboken ”Bark och flis som lättfyllning i vägbankar” (Vägverket, 1988). Maskiner kan köra direkt på flismaterial. Vägen fick ligga första vintern utan slitlager. Profilen på vägen höjdes som mest med cirka 0,5 m. Baserat på okulära bedömningar har sättningar av vägen varit små eller försumbara (Gunnarsson, 2015), se **Figur 3.11**.



Figur 3.8 Normalsektion med lättviktsmaterial (LF; 800 mm flis) under överbyggnad (ÖB; 40 mm IMT 40, 100 mm bärlager, 0-40 mm, och min 460 mm förstärkningslager, 0-125 mm), använt för lastanpassning och profilhöjning av Väg 807 vid Holma mosse (Gunnarsson, 2015).

Figur 3.9 Foto från förstärkning av väg 807 vid Holma mosse. På fotot visas flis som ligger på en geotextil och ovanpå flisen läggs en vävd geotextil. (Foto: Agne Gunnarsson)

Figur 3.10 Foto från förstärkning av väg 807 vid Holma mosse. På fotot visas den färdigställda bädden av flis och geotextil samt förstärkningslager. (Foto: Agne Gunnarsson)

Figur 3.11 Väg 807 vid Holma mosse cirka 4 år efter färdigställande av förstärkningsåtgärd lastanpassning. (Foto: Agne Gunnarsson)

3.4 Armering

En jordarmering med geonät medför bland annat att horisontalspänningen ökar med ökad belastning vilket resulterar i en ökad styvhet hos det armerade lagret. Detta medför i sin tur en ökad lastspridning vilket minskar lastens påverkan på spänningsnivåerna i underliggande lager.

3.4.1 Väg 2206, Barkerud - St Rålen

Det finns drygt 40 000 mil grusvägar i landet och av dessa är cirka 2000 mil statliga. Vid tjällossning och kraftig nederbörd försämras bärigheten på många av dessa vägar. Det finns ett behov av att få fram enkla och effektiva metoder för att förbättra bärigheten på grusvägar. I en rapport (Nätförstärkning av grusväg, Trafikverket, 2011) beskrivs erfarenheter från provsträckor på vägar i Dalsland som förstärkts med nätarmering i syfte att just förbättra bärigheten.

Delar av Väg 2206 mellan Barkerud och St Rålen är belägen på torvmark med en mäktighet mellan 2,5 och 4,5 m. De delar som gick över torvmark var tidigare förstärkt med rustbädd. Rustbädden hade kommit upp i ytan på vägkroppen förmodligen beroende på hyvling och vinterväghållning. För att förstärka vägkroppen med den exponerade rustbädden användes en geotextilduk klass 3 (Combigrid 40/40) direkt på befintlig väg och därefter påfördes 250 mm bergkross 0-32 och på detta lades 70 mm bergkross 0-18, **Figur 3.12**. Uppföljningen bestod i plattbelastningsförsök, tvärfallsmätningar och dessutom räknades antalet hålor. Plattbelastningsförsöket visade på varierande resultat före och efter åtgärd, ibland förbättring och ibland försämring. Tvärfallsuppföljningen och upplevelsen från trafikanter visade på goda resultat.

Geotextil läggs ut

0,25 m krossmaterial, 0-32, påförs

Krossmaterialet hyvlas ut

70 mm krossmaterial, 0-18, packas

Materialet vattnas och saltas

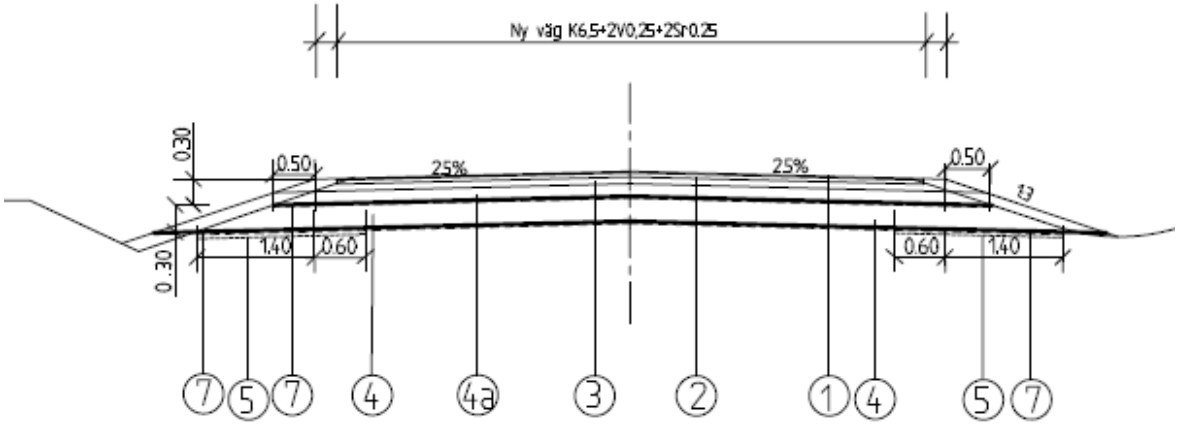
Figur 3.12 Utförande över sträckan över torvmark, Väg 2206 mellan Barkerud och St Rålen (Trafikverket, 2011).

Erfarenheter och rekommendationer

- Förstärkning med enbart krossmaterial ger en kortsiktig effekt. Det goda materialet har en tendens att försvinna, bland annat på grund av plogning vintertid.
- Användning av geonät och uppgrusning ger en förbättrad bärighet speciellt under tjällossningstider.
- Vägen är torrare på teststräckorna, troligen beroende på geotextilens materialskiljande effekt.
- Även med den utförda förstärkningen uppstår en ytuppmjukning och hålbildning men i avsevärt mindre utsträckning än på jämförelsesträckor utan förstärkning.
- Tvärfallet bibehålls bättre samtidigt som spårbildningen minskar jämfört med referenssträckor.
- Krossmaterial behöver fyllas på även på förstärkta sträckor, men med glesare intervaller.
- Kommentarer från yrkestrafikanter och privatbilister har varit mycket positiva.
- Det är ekonomiskt försvarbart att använda metoden med nätförstärkning i den ordinarie driftverksamheten.
- Värdet av plattbelastningsförsök vid utvärdering kan diskuteras. Utförs försök vid perioder av tjällossning får man sannolikt sämre resultat än de som erhölls i samband med förstärkningsarbetena.

3.4.2 Väg 245 Fredriksberg - Sunnansjö

Vid ombyggnad av väg 245 år 2001 har delsträckor av vägen som går över torvmark förstärkts med geonät, **Figur 3.13** och **Figur 3.14**. Före förstärkningen gjordes en avschaktning med 0,6 m varefter ett geonät placerades på schaktnivån. Därefter byggdes 0,3 m av överbyggnaden och sedan påfördes ytterligare ett geonät innan resterande del av överbyggnaden utfördes. Torvmäktigheterna var på sina ställen upp till 6 m. En uppföljning utfördes år 2003 (Sweco VBB, 2003). Endast marginella sättningar har konstaterats. Information saknas om sättningsförlopp och skador på den tidigare överbyggnaden.



Nr	BETECKNING	TYP	TJOCKLEK
1	SLITLAGER	ABT16	40mm
2	BÄRLAGER	AG 16 160/220	40mm
3	BÄRLAGER	BERGKROSS 0-40mm	80mm
4	FÖRSTÄRKNINGSLAGER	BERGKROSS 0-100mm	300mm
4a	FÖRSTÄRKNINGSLAGER	BERGKROSS 0-100mm	140mm
5	MATERIALAVSK. LAGER	GEOTEXTIL, SE FÖRKLARINGAR MATERIALKRAV	
7	GEONÄT	SE FÖRKLARINGAR, MATERIALKRAV	

Figur 3.13 Typsektion med förstärkning med geonät av Väg 245 Fredriksberg - Sunnansjö (Sweco VBB, 2003).

Figur 3.14 Förstärkning med geonät av Väg 245 Fredriksberg - Sunnansjö under 2001 (Sweco VBB, 2003).

3.5 Djupstabilisering

Förstärkning genom stabilisering med bindemedel i torvmark kan huvudsakligen utföras enligt två olika metoder, cellstabilisering och masstabilisering. Det huvudsakliga bindemedlet är cement ofta i kombination med slagg. Slaggen har en positiv inverkan på härdningsförloppet då humussyrorna i torven retarderar cementreaktionerna. Nedan redovisas fyra projekt: Riksväg 44 mellan Uddevalla och Trollhättan, Smista allé, Moraberg samt väg 509 S Finnböle, Lomsmuren.

3.5.1 Riksväg 44

Riksväg 44 mellan Uddevalla och Trollhättan byggdes med motorvägsstandard och blev klar 2004 (Carlsten & Olsson, 2004). På en cirka 280 m lång sträcka där vägen går över Bräcke mosse, **Figur 3.15**, användes masstabilisering. Överst finns cirka 5 m torv med vattenkvot upp till 2000 % och därunder lera ned till cirka 20 m djup. Förstärkningen utfördes med masstabilisering av torv till fullt djup i kombination med förbelastning med 6 månaders liggtid. Totalt har cirka 32 000 m^3 torv stabiliserats. Spänningstillskottet i den underliggande leran har anpassats så att normernas krav på restsättningar ska klaras. Sättningar har följts med slangar och markpeglar. Skruvpeglar har installerats för att följa sättningarna i masstabilisering respektive i leran.

Figur 3.15 Bräcke mosse, RV 44, före stabilisering (Carlsten & Olsson, 2004).

I arbetsplanen var det föreslaget urgrävning av torven och förstärkning av den underliggande leran med kalk/cementpelare. En sådan förstärkning hade lett till omfattande upplag av torv som skulle placerats i anslutning till vägen. För att minimera ingreppet i naturen och bevara mossen så intakt som möjligt valdes masstabilisering i projekteringen av bygghandlingen.

Vägen går över mossmark där torvens mäktighet maximalt var cirka 5 m. Överst fanns en lågförmultnad torv med vattenkvoter mellan 1200 och 2000 %. Från cirka 4 m djup fanns mellantorv med vattenkvot cirka 900 %. Mossens höga vatteninnehåll gjorde att bärigheten var mycket låg. Inga undersökningar utfördes avseende torvens kompressions- och hållfasthetsegenskaper. De höga vattenkvoterna indikerar dock att torven är mycket kompressibel.

Torven underlagras av cirka 1 m torrskorpelera och därunder av lös lera med maximalt 17 m mäktighet. Karakteristisk skjuvhållfasthet i leran är 12 kPa under torrskorpeleran och skjuvhållfastheten ökar därefter med cirka 1,5 kPa/m. Leran under torrskorpan är överkonsoliderad för cirka 40-60 kPa.

Förstärkningsarbetena utfördes i geoteknisk klass 3, GK 3. Masstabiliseringen, som innebär att hela torvvolymen stabiliseras, utfördes till 3 m bredd utanför blivande vägs bägge släntkrön. Således kom masstabiliseringen att utföras på cirka 27 m bredd. För den underliggande leran utfördes inga förstärkningar. En vävd geotextil med draghållfasthet > 70 kN/m vid brottöjning < 15 % lades ut ovan masstabiliseringen innan massorna lades ut. Fyllningen bestod av grusigt material (finjordshalt mindre än 10 %) med hög krossytegrad.

Design

Förbelastningens krönbredd utfördes lika med projekterad vägs krönbredd. För att inte orsaka stabilitetsbrott i torven under förbelastningsskedet förutsattes att bankens slänter under förbelastningstiden skulle utföras i lutning 1:3 eller flackare. I sektion 8/580 där den totala fyllningstjockleken bedömdes bli 3,0 m förutsattes att förbelastningen påfördes i tre steg så att 1,0 m påfördes omedelbart efter det att bindemedlet tillsatts och geotextil utlagts, 1,0 m efter 30 dygns liggtid (dock tidigast efter att föreskriven kontroll av hållfastheten hos masstabiliseringen utförts och godkänts av beställaren) och resterande 1,0 m efter ytterligare 30 dygns liggtid. Förbelastningen beräknades för en liggtid av 6 månader. Avlastning skulle utföras vid förbelastningstidens slut. Avlastningen dimensionerades så att tillskottspänningen i leran skulle resultera i att effektivspänningen motsvarade 0,85 gånger förkonsolideringstrycket i leran.

Kontrollprogram

Metoden ”förbelastning” kräver att fyllningstjocklekar för utfyllda massor kontrolleras och att tidsättningsförloppet noggrant följs. Syftet är att få ett bra underlag för beslut om när rätt tid infaller för att påföra uppfyllningar och göra avlastningar samt för att eventuellt göra belastningsändringar.

Före start av entreprenaden genomfördes en noggrann genomgång av utförande, uppföljning och kontroll med Trafikverkets geotekniker. Entreprenören skulle företrädas av en erfaren geotekniker.

Kontroll av sättningar utfördes med markpeglar utplacerade på torvytan i sektioner var 20:e m och med tre peglar i varje sektion (V8, VM, H8). Dessutom installerades 6 slangar på sträckan för mätning med slangsättningsmätare.

Kontrollundersökningar för verifiering av att masstabiliseringen erhållit de egenskaper som förutsatts vid dimensionering utfördes efter två veckor. Sträckan indelades i kontrollobjekt om 40 m längd. Inom varje kontrollobjekt skulle hållfastheten kontrolleras på 15 ställen. Lastetapp 2 fick inte påföras innan egenskaperna hos masstabiliseringen hade verifierats.

Provytor

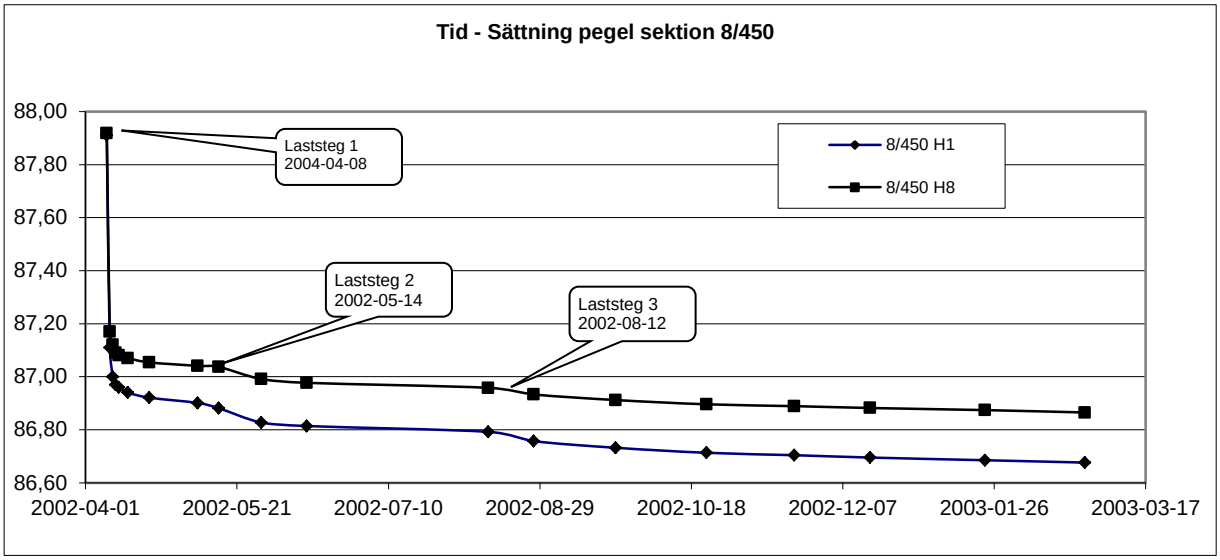
Stabiliseringen inleddes med att två provytor med SH-cement utfördes med inblandningsmängderna 150 respektive 200 kg/m^3. Provytorna testades med traditionell kalkpelarsond med ”förborrning” genom förbelastningen. Provningen av de olika bindemedelsmängderna visade att proven med mängden 150 kg/m^3 gav skikt med minskad hållfasthet vilket inte noterades vid proven med 200 kg/m^3. Därför valdes 200 kg/m^3 för kommande produktion.

Utförande
Totalt stabiliserades 32 000 m^3 torv, med inblandningsmängden 200 kg/ m^3, vilket gav en total inblandad mängd cement på 6400 ton. I handlingen var det inskrivet att entreprenören skulle kontrollera torvens mäktighet på hela sträckan innan stabiliseringen påbörjades. Entreprenören valde att utföra ytterligare mätningar utöver vad som stod i handlingen. Sonderingar utfördes i varje hörnpunkt enligt det rutnät som senare skulle användas vid installation. Totalt utfördes på detta sätt 441 sticksonderingar över mossen och man fick en god bild av mossens mäktighet. Förfarandet innebar också att man fick information om vilken volym som skulle stabiliseras för varje delyta och därmed också den mängd cement som skulle gå åt i respektive delyta. Medeldjupet på torven var 4,1 m och medelvolymen 88,5 m^3/yta. Vid normal framdrift utfördes 4 m i vägens längdriktning per arbetsdag, **Figur 3.16**. Varje installerad yta (4x5,4 m) tog två timmar att utföra.

Direkt efter att en yta var installerad påfördes en vävd geotextil med draghållfasthet > 70 kN/m vid brott-töjning < 15 %. Ovanpå duken placerades markpeglar samt slangar för kontroll och uppföljning av sättningar.

Figur 3.16 Förbelastning, steg 1, och maskin i arbete, Bräcke mosse, RV44 (Carlsten & Olsson, 2004).

Uppföljning
Den största delen av sättningarna skedde inom de första dygnen efter att första laststeget lagts på. **Figur 3.17** visar sättningsutvecklingen från att första laststeget lagts på till sista mätningen. Första dygnet sker 60-65 % av den totala sättningen och inom en vecka sker cirka 80 %.



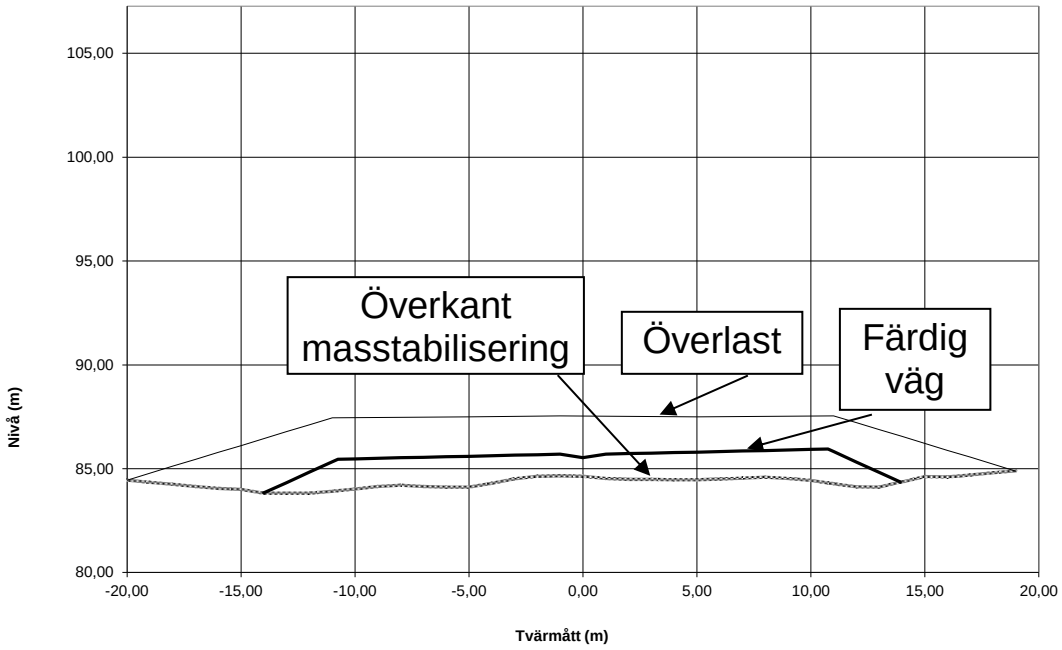
Figur 3.17 Sättningsutveckling, pegel 8/450, Bräcke mosse, RV 44 (Carlsten & Olsson, 2004).

Mätning av mossens pH utfördes efter påstötning från Länsstyrelsen som såg en fara i att omkringliggande mossens pH skulle höjas. Två mätpunkter installerades 2 respektive 5 m från kanten av stabiliseringen med provtagning cirka 1 m ner i mossen. Kontroll av pH utfördes innan, vid installation i direkt närhet till mätarna och efter att man passerat med installationen. pH har hela tiden legat mellan 4,3 och 4,6, det vill säga att cementen inte sprider sig utanför installerad volym.

Utvärdering

Sättningsuppföljningen visade att inträffad sättning var mindre än beräknad. Vid beräkning av sättningar i den masstabiliserade volymen måste hänsyn tas till att volymen ökar i samband med att cement blandas in till torven. I detta fall var inblandningsmängden 200 kg/m^3 och inblandningen resulterade i att volymen ökade med 15-20 %. I projekteringen hade hävningen bedömts bli maximalt cirka 0,3 m medan det vid utförandet visade sig att hävningen som mest blev cirka 1,0 m.

Den stora hävningen resulterade alltså i att sättningen blev mindre än beräknat och att nivån för överkant masstabilisering hamnade betydligt ytligare än vad som förutsatts vid projekteringen. Överkant på den masstabiliserade ytan låg endast cirka 1 m under projekterad väg i bland annat sektion 8/640, se **Figur 3.18**. För att klargöra om bärighetskraven enligt VÄG 94 (Vägverket, 1994) skulle uppfyllas, utfördes en provyta i sektion 8/640 med förstärkningslager och bärlager enligt gällande normalsektion. Ytan provades med fallvikt och plattbelastning och jämfördes med en referensyta som låg i en intilliggande bergsskärning.



Figur 3.18 Sektion 8/640, Bräcke mosse, RV 44. Läget för överlast, färdig väg och överkant masstabilisering vid tidpunkten för avlastning (Carlsten & Olsson, 2004).

Resultatet från provytan visade att den klena överbyggnaden på den stabiliserade torven klarade sig. Fallviktsutvärderingen visade att det till och med skulle vara möjligt att minska de bundna lagren ovan bärlagret. Plattbelastningen som utfördes hade E_{v2} på 137-160 MPa att jämföras med kravet på 130 MPa. Referensytornas E_{v2} låg på 167-190 MPa. E_{v2} är deformationsmodulen erhållen vid andra belastningsprovet enligt VVMB 606.

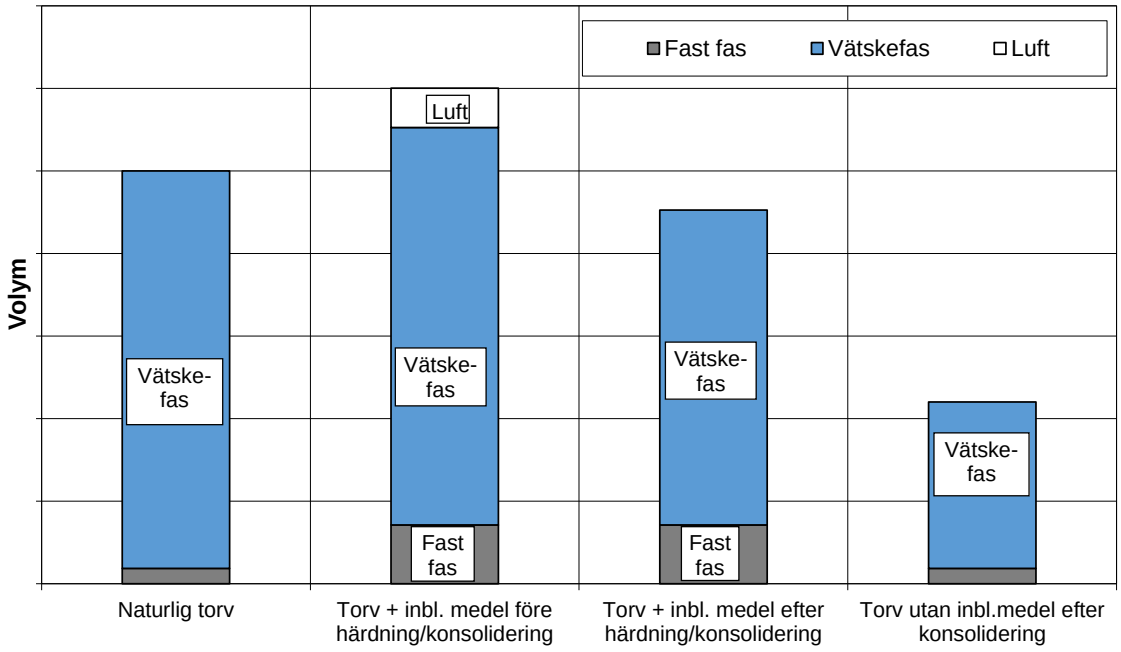
Förutsättningen för masstabiliseringen var att inga sättningar i underliggande lera skulle uppkomma. I bygghandlingen förutsattes att det efter avslutad förbelastning skulle läggas in lättklinker för att minimera lasten på den underliggande leran. Tjockleken hos lättklinkerfyllningen skulle huvudsakligen variera mellan 0,6 och 1,2 m. Eftersom nu sättningen i masstabiliseringen blev cirka 1 m mindre än den som förutsatts i bygghandlingen fanns inte plats för de förutsatta mängderna lättklinker.

Schakter togs upp och den masstabiliserade ytan frilades. Ytan var mycket ojämn med regelbundet återkommande toppar och dalar, se **Figur 3.19**. En möjlig orsak till ytans utseende är det sätt på vilket förbelastningen påfördes efter färdigställd masstabilisering. Stabiliseringens yta täcktes med en geotextil och därefter skulle förbelastningen läggas ut i ett jämnt lager. Massorna påfördes med hjullastare som orsakade en skjuvvåg framför sig när materialet lades ut. Eftersom större delen av härdningen och sättningen sker under det första dygnet hade materialet redan brunnit när man kom för att installera nästa yta ett dygn senare. Kontrollmätningar som gjorts på framschaktade ytor visar att det är cirka 4 m mellan ”pucklarna” det vill säga samma längd som en dagsetapp.

Figur 3.19 Framschaktad masstabilisering, Bräcke mosse, RV 44 (Carlsten & Olsson, 2004).

Diskussion

När bindemedlet blandas in i torven ökar volymen och mossens yta höjs. När inblandningar utförs på laboratoriet kan man undersöka/beräkna densiteten hos proverna innan belastningen påförs. I detta objekt gjordes inga sådana undersökningar. Vid andra objekt med masstabilisering där volymökningen bestämts har den varit 10-12 % när inblandningsmängden varit 200 kg/m^3. Det är rimligt att anta att man fått något liknande i detta fall. Nollavvägningen av peglar och slangar ger en uppfattning om mossens yta efter färdig stabilisering. Jämförs dessa nivåer med mossens ursprungsyta kommer man fram till att hävningen varit cirka 1,0 m, vilket då motsvarar en genomsnittlig volymökning på 20 %. Hävningen är alltså avsevärt större än den som motsvarar inblandning av bindemedel och antagligen kommer en del luft in i torven i samband med installation. I **Figur 3.20** illustreras hur torvens volym ökar då bindemedel tillsätts.



Figur 3.20 Illustration av volymförändringar vid masstabilisering av torv jämfört med enbart förbelastning utan bindemedel (Carlsten & Olsson, 2004).

Det rekommenderas att densiteten på prover stabiliserade i laboratoriet bestäms innan last påförs. Densiteten kan ge en uppfattning om vilken volymökning torven kommer att få vid masstabilisering. Utöver den volymökning bindemedlet orsakar beror inträffad hävning av vilken mängd luft som tillförs torven. Luftmängden som kommer in i torven kommer att variera med utrustning och utförande.

Rekommendationer

Förundersökningar
I planerings- och projekteringsskede måste man först göra sig en bild av de geologiska förhållandena. Tolkade profiler och sektioner görs upp för den aktuella sträckan. Egenskaper hos jorden bestäms i karakteristiska lager. Det gäller att framför allt ta reda på de jordlager som kommer att bli svåra att stabilisera.

Hållfasthets- och deformationsegenskaper i ostabiliserad jord bestäms och för karakteristiska lager bestäms i laboratorium stabiliseringseffekter (variera mängd och typ stabiliseringsmedel). Mät deformationerna i stabiliserad jord under härdning/konsolidering. Resultatet av mätningen kan användas för att prognostisera sättningar i fält. Genom att bestämma densiteten hos provkropparna innan belastning påförs kan hävningen vid laboratorieinblandning beräknas och ge underlag för bedömning av den initiella hävningen hos mossen i samband med att cement tillsätts.

Vid val mellan olika alternativ till förstärkningsåtgärder ska inte enbart kostnader jämföras utan även det praktiska genomförandet av respektive metod.

Projektering
Trafikverkets regelverk, exempelvis TK Geo 13 (Trafikverket, 2014a), ska tillämpas. Karakteristiska och dimensionerande hållfasthets- och deformationsegenskaper anges och en prognos för väntade sättningar och deras tidsförlopp presenteras. Observera att en hävning först inträffar då cement tillförs torven.

I beskrivningen anges också beräknade liggtider och eventuell överlast. Typ och mängd stabiliseringsmedel anges med tillhörande toleranskrav för inblandningsmängd. Där så erfordras anges typ av blandningsverktyg samt krav på stigning, rotationshastighet och liknande.

Förstärkningen presenteras på en förstärkningsritning och i handlingen kan rekommenderad arbetsordning ges liksom eventuella råd avseende ordningsföljd för pelar-/masstabilisering.

Av handlingarna ska också framgå krav på dokumentation från entreprenören (exempelvis digitaliserad redovisning av stigning, bindemedelsmängd och rotationshastighet). Ett förslag till kontrollprogram tas fram. Problem med hög grundvattennivå och dålig bärighet bör utredas och tydliggöras i förfrågningsunderlaget. Speciella krav anges för fyllnadsmaterial, geotextil ovanför masstabiliseringen samt exempelvis för upplastningssekvens.

Miljöpåverkan ska utredas.

Dimensioneringsförutsättningar och beräkningar sammanfattas i beräkningsbilaga.

Hänför gärna objektet till GK3 men ange också vad man speciellt ska beakta i detta sammanhang. Såväl entreprenör som beställare bör företrädas av geotekniker i denna typ av komplicerade arbeten. Ange förutsättningarna för utförande av arbetet. Hur löser man problem med avvattning? Kan man utföra förstärkningen i vägens längdled, så att maskinen kan gå fram på den förstärkta jorden?

Utförande
Utförandet måste planeras väl för att kunna få en bra produkt. I detta objekt fanns det bland annat en kraftledning som korsade området och denna försvårade arbetet. Alla sådana hinder måste identifieras i planeringen i projekteringen. Personalen som utför stabiliseringen måste vara erfaren och väl insatt i metoden.

Utförandet av förbelastningen har som tidigare nämnts stor betydelse för resultatet. Utläggningen måste göras med grävmaskin som lägger ut materialet för att förhindra utbildandet av en ”skjuvvåg” vid utläggandet. Stor vikt bör läggas på att få till bra övergångar mellan installationsytorna eftersom genomförandet av ytorna kommer att skilja minst ett dygn i längdsled (vid exemplet motorvägsbredd).

Entreprenören ska visa att den valda utrustningen verkligen kan åstadkomma den beställda produkten och detta görs lämpligen i provytor innan produktionen påbörjas. Valda bindemedel skall egenskapsdeklareras. Dimensioneringsförutsättningarna ska verifieras i byggskedet. Uppfylls inte ställda krav måste konstruktionen kontrollberäknas.

Första laststeget skall kunna bära maskinerna. Första laststeget utförs i två pallar; 0,6 m inom 6 timmar och resterande 0,4 m inom ett dygn. Lasten måste definieras som en fyllningshöjd eftersom stora sättningar inträffar redan vid första pålastningen. Sättningar ska följas noggrant under hela förbelastningstiden.

Kontroll och uppföljning
Pelartillverkning och masstabilisering ska dokumenteras. Dimensioneringsförutsättningar ska verifieras, det vill säga masstabiliseringens hållfasthet ska bestämmas. Sättningsuppföljning ska utföras och resultaten från denna utnyttjas för jämförelse mot ställda prognoser. I vissa fall kan det vara motiverat att kontrollera rörelser och eventuellt även portryck. När uppmätta rörelser ligger utanför de acceptabla eller när hållfasthetsvärdena är lägre än de som förutsatts ska åtgärder vidtas.

3.5.2 Smista allé, Huddinge

Detta projekt utfördes 2002 och är en lokalgata i Huddinge (Dahlström & Eriksson, 2005). Jordlagerföljden för projektet var 2,1 m torv med en naturlig vattenkvot på 730 till 1000 % följt av ett lager gyttja med en vattenkvot på cirka 300 % som underlagrades av en lera med en vattenkvot på cirka 70 % och en skjuvhållfasthet på mellan 6 och 12 kPa. Lerans mäktighet varierade mellan 9 och 12 m. Förstärkningen utfördes som en KC-pelarförstärkning i leran och en cellstabilisering av torv och gyttja. Cellstabiliseringen utfördes med ett djup som varierade mellan 3 och 4 m. Bindemedelsmängden var 225 kg/m^3 och bestod av cement och masugnsslagg. Den stabiliserade jorden dimensionerades för en bankhöjd mellan 0,8 och 1,9 m med en överlast som varierade mellan 1 och 2 m. Resultat från pelarsondering varierade mellan 50 och 250 kPa med ett medelvärde kring 175 kPa.

3.5.3 Moraberg, Gärtunavägen

Projektet utfördes 2003 och är en tillfartsväg till väg 225 (Dahlström & Eriksson, 2005). Jordlagerföljden för projektet var 2,4 till 2,6 m torv med en vattenkvot på 500 till 1000 %. Torven överlagrade en gyttja med en mäktighet på 0,3 till 0,5 m och en vattenkvot på cirka 150 %. Under gyttjan återfanns ett 12 m mäktigt lager av siltig lera med en vattenkvot på cirka 60 % och en skjuvhållfasthet som varierade mellan 10 och 20 kPa. Leran stabiliserades med KC-pelare ner till ett djup av 10 m under torven. Blockstabiliseringen varierade mellan 1 och 3 m och designades för en bankhöjd mellan 1,4 och 5 m. Bindemedelsmängden för blockstabiliseringen var 175 kg/m^3 och bestod av Cem I. Hållfastheten i den stabiliserade torven utvärderad med pelarsondering varierade mellan 20 och 350 kPa med ett medelvärde på 110 kPa.

För båda projekten, Smista allé och Moraberg, påfördes en 0,8 m förbelastning av den stabiliserade torven inom 24 timmar efter stabiliseringen för att erhålla en god homogenitet och hållfasthet hos den stabiliserade torven.

3.5.4 Väg 509 S Finnböle, Lomsmuren

Förstärkning med kc-pelare och masstabilisering (samt massutskiftning) användes 2004 vid byggnation av ny sträckning intill befintlig väg på väg 509 S Finnböle i Lomsmur (Vägverket, 2007). För att klara den ökande trafiken behövde väg 509 förstärkas och vid Lomsmur passeras en myr på en cirka 500 m lång sträcka. Vid Lomsmur hade befintlig väg haft sättnings- och bärighetsskador samt problem med översvämningar. Vidare fanns risk för skred vid ofördelaktigt lastfall i samband med byggande.

Vid Lomsmur utgörs undergrunden överst av 0-4 m torv som ligger på 0-2 m gyttja som underlagras av ett 0-1 m sandlager som överlagrar 0-6 m siltig lera. Torven är låg- till högförmultnad med en vattenkvot mellan 650-1000 % och en okorrigerad skjuvhållfasthet mellan 11-40 kPa.

År 2001 togs ett förslag fram att åtgärda vägen med lättviktsmaterial av skumbetong, vilket förkastades då anbuden var dyrare än kalkylerat. Inför byggnation 2004 pekades initialt ut följande möjliga förstärkningsmetoder: förstärka i befintligt läge, masstabilisering av 3,5-4 m torv, bankpålning, påldäck, urgrävning på olika djup, kc-pelare i kombination med masstabilisering av all torv, enbart förbelastning, nedpressning och vertikaldränering. Efter många och givande diskussioner beslöts att bygga en väg bredvid den befintliga samt att förstärka marken dels med kc-pelare och masstabilisering och dels genom massutskiftning. Kc-pelare och masstabilisering projekterades till de djupare delarna (> 3 m djup) och urgrävning där jordarternas tjocklek var < 3 m djup.

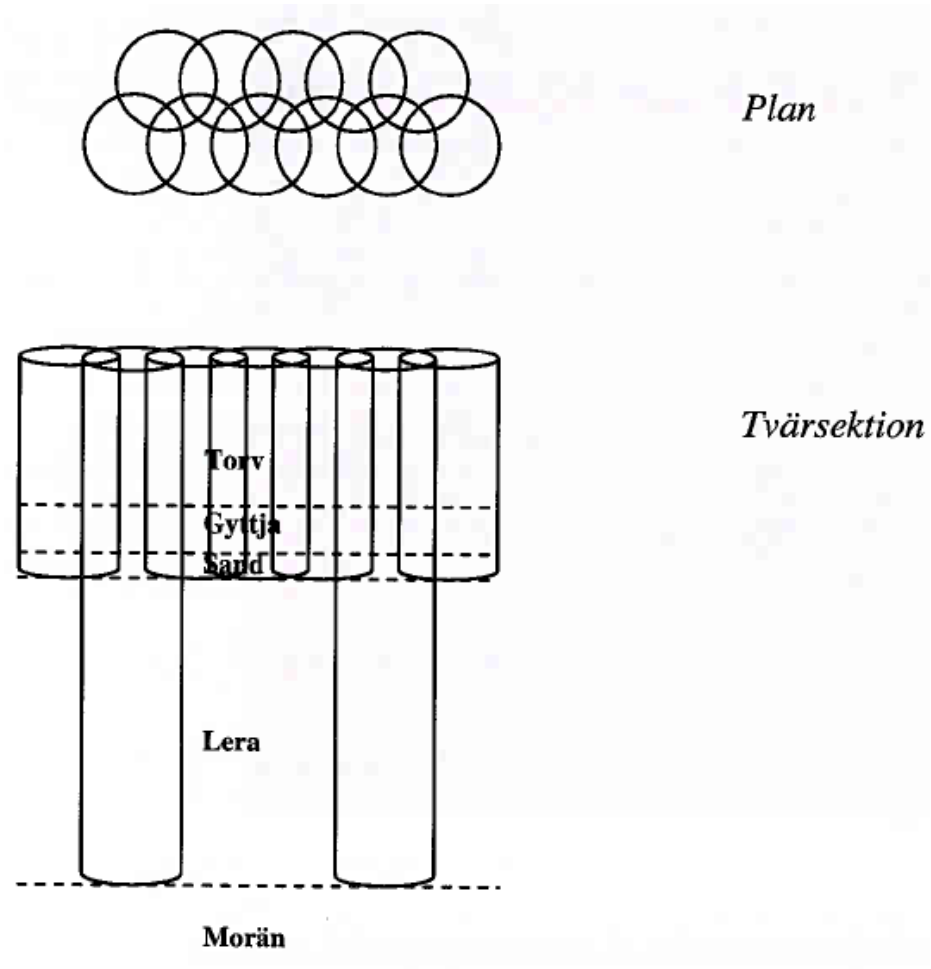
Efter valet av åtgärder utfördes provtagningar och provinblandningar av stabiliserad torv samt enaxliga tryckförsök i laboratoriet på inblandade och härdade prover. För att uppnå bättre homogenisering i torven i fält skulle verktyget för masstabilisering föras upp och ner för att göra den mer enhetlig före inblandningsmedlet fördes in. Kc-pelarna skulle sättas i underliggande leran och deras funktion var att begränsa sättningar. Masstabiliseringen skulle ”vila” på pelarna och den skulle utföras av stabilitets- och sättnings-

skäl. Stabiliseringen skulle bära upp vägen och resultera i relativt små långtidssättningar. För att uppnå detta skulle användas förbelastning med överlast för att ta ut sättningarna. Stockmattor användes för att kunna köra maskiner på myren.

Baserat på provinblandningar och enaxliga tryckförsök var ursprungsförslaget för masstabiliseringen av torv att använda Merit 5000 och cement i proportionerna 50/50 viktsprocent, inblandningsmängd 200 kg/m3 och skjuvhållfastheten som skulle uppnås var minst 100 kPa. Denna blandning valdes dock inte slutligen, se nedan.

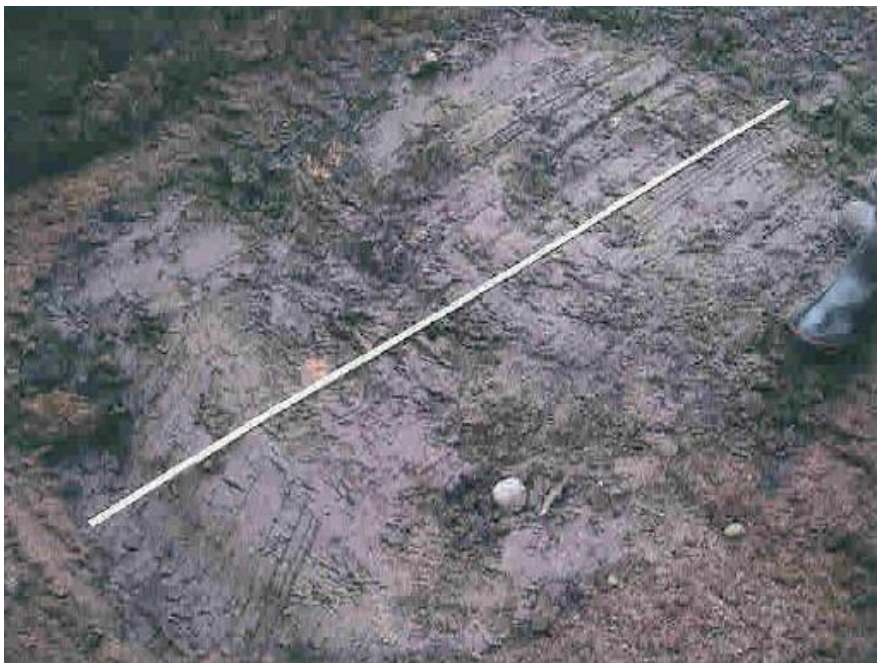
Slutligen valdes att genomföras en variant av masstabilisering som kallas cellstabilisering. Metoden innebär att använda överlappande cirkulära celler med diameter 800-1000 mm, i detta fall ner till underkant gyttja eller torv, se **Figur 3.21**. Ursprungliga förslaget var att ett antal av 1000 mm cellerna skulle förlängas och föras ner till fast botten, men istället sattes 600 mm diameters kc-pelare under cellerna. Cellstabiliseringen med olika inblandningar skulle provbelastas och testyta för cellerna grävas upp för att okulärt studera resultatet. Med cellstabilisering blir det bättre kontroll på mängden utmatad bindemedel och inblandningsarbetet, i jämförelse med masstabilisering. Efter lyckade försök i laboratoriet och i fält valdes att använda cement i cellerna med mängden 200 kg/m^3. Varje cell skulle homogeniseras innan inblandning av cement. Med en arbetsbädd med 0,5 m tjocklek ovanpå möjliggjordes en god stabilisering av torven ända upp till ytan, **Figur 3.22** och **Figur 3.23**. Inom fyra timmar efter utförd cellstabilisering, innan den härdat för mycket, skulle banklasten påföras. Fyllningen påfördes ovanpå ett geonät och en materialavskiljande geotextil. Slangar och peglar för sättningsuppföljning installerades. Överlasten skulle ligga på i minst tre månader och tas bort då uppföljningar visat på avtagande och utplanande sättningar. Sättningsuppföljningar visade på stora sättningar i början (första dagarna eller veckan) som sedan snabbt var avtagande, totalt innan avlastning 0,15-0,9 m för peglarna och upp till cirka 1,15 m för slangarna. Totala beräknade sättningar var cirka 1 m på djupaste området. Efter avlastning visade mätningar på områden med hävning och andra områden med mindre sättningar.

Tre år efter vägens färdigställande har inga sättningar kunnat observeras okulärt. Erfarenheter är att projektet blev lyckat beroende på att alla parter i projektet var engagerade och ville göra ett bra jobb (Vägverket, 2007). Andra erfarenheter var: bygg upp en organisation som jobbat bra ihop förut; ta lärdom av tidigare och liknande objekt; ha en öppen dialog och ”brainstorming” initialt och jobba aktivt för att hitta en optimal lösning på byggmetod; geotekniker ska vara på plats under kritiska moment i projektet; entreprenören ska ha en erkänd och engagerad geotekniker; använd GK3 som en nyttig extern kontroll; utveckla provning av cellstabilisering i torv; utför om möjligt fältförsök för att verifiera att föreslagen förstärkning fungerar; cellstabilisering med underliggande kc-pelarstabilisering är en användbar metod och det blir ett gott resultat om intresset och engagemanget finns, för det är inget rutinarbete (Vägverket, 2007).



Figur 3.21 Schematisk skiss på överlappande cellstabilisering (Vägverket, 2007).

Figur 3.22 Cellstabilisering och påförande av fyllning ovanpå geonät (Vägverket, 2007).



Figur 3.23 Framgrävda och överlappande 1000 mm diameters celler på en testyta med torv (Vägverket, 2007).

3.6 Pålning

Pålning är en metod att föra ner de uppkomna lasterna förbi torven till ett underliggande fastare lager. Pålning används mycket sällan för vägar över torvmark. Metoden i sig är dyrare än övriga förstärknings-metoder och i regel krävs att lasten fördelas ut på pålarna med hjälp av ett påldäck. Horisontaltrycket från torven mot pålarna är så lågt att pålgrupper ska dimensioneras på så sätt att gruppen i sig är stabil utan någon hjälp av sidostöd från torven.

3.6.1 Väg E18/E20

Påldäck användes år 1996 vid byggande av E18/E20 1,7 km SO om Urvalla. Här bestod undergrunden av cirka 2,5 m torv som underlagrades av lera och silt. Lerans skjuvhållfasthet varierade mellan 7 och 10 kPa. Påldäcket grundlades på spetsburna betongpålar med fast bergsko. Torv ger inte så mycket stöttning åt sidan (låg hållfasthet), tar dåligt upp sidokrafter (nästan som att sätta pålar i vatten). Vid pålning med pålkran måste lasterna från pålkranen beaktas i form av arbetsbäddar och eventuella stockmattor.

3.7 Massutskiftning

Massutskiftning genom urgrävning och återfyllning är en metod som används för att skifta ut otjänligt material. Det utskiftade materialet kan bestå av till exempel torv. Vidare finns även metoden att skifta ut massor genom undanpressning. Båda metoderna finns väl beskrivna i TK GEO 13 (Trafikverket, 2014a).

4. Erfarenheter – konstruktioner

4.1 Vägar

4.1.1 Inledning

Det finns ingen entydig definition för vad som är en ”lågtrafikerad” väg. I VTI Rapport 775 ”Lågtrafikerade vägar, en litteraturstudie utifrån nytta, standard, tillstånd, drift och underhåll, 2013” (VTI, 2013) ges definitionen ”med lågtrafikerade vägar avses vägar med en trafikmängd upp till 1000 fordon per dygn.” Med den definitionen är cirka 75 % av det statliga vägnätet lågtrafikerat. I andra sammanhang anses vägar med en trafikmängd upp till 4000 fordon per dygn vara lågtrafikerade.

TRVK Väg (TRV 2011:072 (Trafikverket, 2011a),) är ett trafikverksdokument som innehåller Trafikverkets tekniska krav vid dimensionering och konstruktiv utformning av vägöverbyggnad och avvattningssystem. TRVK Väg ska vid projektering användas tillsammans med TRVR Väg (TRV 2011:073 (Trafikverket, 2011b),) samt TR Geo (Trafikverket, 2014b). Krav på material utförande och kontroll återfinns i AMA Anläggning 13 (2014). Trafikverkets ändringar och tillägg till dessa krav återfinns i senaste utgåvan av TRVAMA Anläggning 13 (Trafikverket 2014c).

I detta avsnitt om vägar redovisas huvudsakligen resultat av EU-projektet Roadex avseende delen lågtrafikerade vägar på torv (Munro, 2005; MacCulloch, 2006; Munro & MacCulloch, 2006). Syftet med arbetet för detta område inom Roadex var att ta fram en ”state-of-the-art” avseende byggande och underhåll av lågtrafikerade vägar på torv i norra delen av Europa. Fokus i projektet var planering av förstärkningsåtgärder för vägar flytande på torv och arbetet mynnade ut i en manual, ”Hantering av torvrelaterade problem på lågtrafikerade vägar” (Munro & MacCulloch, 2006). I (Munro, 2005) finns ett antal redovisade vägobjekt från de olika deltagande länderna med kort beskrivning (på en sida) av använd byggmetod. Roadex utvecklade också utbildningsmaterial, exempelvis filmer (*e-learning*), se www.roadex.org. Andra erfarenheter än de från Roadex-projektet kompletterar texten i detta kapitel.

4.1.2 Rekommenderad praxis – projektering, åtgärder och uppföljning

Förstärkningsåtgärder

För förstärkning av lågtrafikerade vägar på torv rekommenderas en 5-stegsprocess (Munro & MacCulloch, 2006):

1. Identifiera underliggande problem genom lämpliga undersökningar.
2. Analysera informationen som samlats in från undersökningen.
3. Välj den mest lämpliga förstärkningsåtgärden.
4. Övervaka arbetet under byggandet.
5. Dokumentera och skapa en bas för erfarenhetsåterföring.

Detta arbetssätt kan användas vid reparation och underhåll av lågtrafikerade vägar på torv och på motsvarande sätt vid nybyggnation.

Tillräckliga resurser bör alltid avsättas för att söka orsakerna till problemen med skadade vägavsnitt. Kostnaden för undersökning, analys och urval kan vara 2-4 % av projektets totala kostnad, väl investerade medel för att hitta långsiktiga varaktiga lösningar. All data som samlas in är inte bara en investering för

design och reparation av vägen, utan också för prognostisering av framtida underhållsbehov för nedbrytning av den färdiga konstruktionen. Data från det enskilda projektet, väl dokumenterat och lättillgängligt i form av filer och kopplade till gps-data eller liknande, kan användas som erfarenheter i andra framtida projekt.

Åtgärder – rekommenderat minimum
För byggnation och underhåll av lågtrafikerade vägar på torv är följande ett rekommenderat minimum av åtgärder (Munro, 2005):

Fältundersökningar och laboratorieförsök:

- En arkivstudie av tidigare resultat, speciellt avseende liknande projekt i närområdet.
- Platsbesök och besiktning av aktuell sträcka för att få en klar bild av grundförhållandena i torvlandskapet.
- Sonderingar för att bestämma torvlagrets omfattning och förekomst av lager med andra material. Detta kan vid behov följas av insatser som provgropsgrävning, provtagning, georadar, etc.
- Klassificering av torven och bestämning av humifieringsgrad.
- Vattenkvotsbestämning.

Riskbedömningar:

- En enkel riskbedömning är värdefull i de flesta projekt.

Mätningar:

- Mät och dokumentera informationen. Viktigt dokumentera också för framtida arbeten!
- Mät med sättningspeglar och/eller horisontalslangar. Beroende på val av förstärkningsmetod kan även andra metoder för uppföljning vara aktuella.

4.1.3 Miljöhänsyn

Roadex anger i en rapport (E-learning; www.roadex.org) att miljöhänsyn för en väg i torvmark i mångt och mycket är likt vilket annat vägbygge som helst, dock med en del betydande tillägg. Det huvudsakliga problemet i alla frågor som rör torv är hantering och skydd av den lokala hydrologin, och speciellt vattnets rörelse i och över torven. Betydelsen och inverkan av torvmarksvatten under och efter konstruktion kan inte nog betonas. Misslyckande med att hantera detta kan leda till allvarliga problem.
De flesta Roadex-partners har en standardprocedur vid planering av en ny väg på torv. Den innehåller vanligtvis:

- En inledande studie för att identifiera betydande problem som måste hanteras med fokus på miljön – torvmarkens hydrologi, dess flora och fauna, närheten till vattendrag, dränering etc.
- En bedömning av den föreslagna vägens miljöpåverkan – hur konstruktionen av vägen kan påverka torvmarkens nuvarande tillstånd och lämpliga åtgärder i kort, medellångt och långt tidsperspektiv för att mildra eller reducera vägbyggets effekter, speciellt på existerande hydrologi, motverka förorening och plan för vägdränering.
- Mildring (riskreducering) – föreslagna åtgärder och metoder för att undvika, reducera och reparera de identifierade negativa effekterna, och förstärka de positiva.

Utöver bedömning av miljöpåverkan finns det nu också ett växande krav på geoteknisk riskhantering för vägprojekt som involverar torv för att ytterligare skydda den ömtåliga torvmarksmiljön.

Roadex rekommenderar att underhåll och förstärkning av befintliga vägar bör hanteras på samma sätt gällande miljöpåverkan som vid konstruktioner av nya vägar. Förekomsten av en existerande väg i landskapet bör dock göra bedömningen något enklare då den redan är en etablerad del av landskapet. Den existerande vägen kan också ge indikationer på hur nya vägarbeten kan påverka miljön.

Typiska utmaningar eller problem att ha i åtanke vid vägbyggen på torvmark tas upp nedan.

Avfall
Miljömyndigheter kräver vanligtvis att torvurgrävningar och störningar bör minimeras där det är möjligt för att undvika generering av överbliven jord och torv. Om mindre mängder torv genereras leder det generellt sett också till mindre hantering av avfall. Det bästa hanteringsalternativet för torvavfall är att motverka att det uppstår genom bra planering och undersökning av platsen. Ett mål bör vara att återanvända så mycket av torven som möjligt för vägens infrastruktur, till exempel landskapsarkitektur och liknande för att undvika att avfall uppstår.

Lagring
Lagring av torv på plats, och speciellt lagring av torvslam, bör betraktas som ett sista alternativ. Torv som grävts ur har låg bärighet och högt vatteninnehåll och kan vid lagring utgöra en betydande fara för människor och djur. Lagringsområden bör därför alltid spärras av med stängsel, och det kan också krävas godkännande och/eller licens från lokala miljömyndigheter.

Förorening
Om torv råkar hamna i vattenflöden eller vattendrag kan det ha förödande effekter. Stor försiktighet är därför viktig för att förhindra att torv spolas bort från vägbyggen eller lagringsområden så att spridning inte förorenar miljön.

4.1.4 Val av byggmetod

Vid byggande och underhåll av större nationella vägar på torv tillämpas allmänt en filosofi med låga risker och standardbyggmetoder, såsom urgrävning, återfyllning och i några färre fall med undanpressning. Mindre utvecklade och mer innovativa byggmetoder, som exempelvis jordförstärkning och användning av geonät, används generellt för lägre klasser av vägar. Metoder då torven lämnas kvar på plats och förstärks genom exempelvis förbelastning anses bara kunna nyttjas då tillräcklig tid finns tillgänglig. Det finns en potential att öka användandet av nya och innovativa byggmetoder för att oftare hitta platsspecifika kostnadseffektiva lösningar. Underhållsåtgärder utförs ofta med liten kännedom om grundförhållandena, med undantag av avlastningsmetoden.

Valet av byggmetod för en speciell vägsträcka avgörs i allmänhet genom en sammanvägning av följande kostnadspåverkande faktorer (Munro, 2005):

- Komplexiteten i grundläggningsarbetet.
- Mängden undersökningar i fält och laboratorium av aktuella jordförhållanden för respektive byggmetod.
- Tiden för utförande av respektive byggmetod.
- Typ av finansiering av projektet.
- Mängden trafikstörningar och ytterligare behov av kontroll av trafiken orsakad av respektive byggmetod.
- Det förväntade framtida underhållsansvaret.

Samtliga dessa överväganden avseende byggande och underhåll krävs för att kunna ta fram den mest kostnadseffektiva lösningen. Valet av metod beror på tillgänglighet på goda massor. Exempelvis var så fallet för Rv50 Mjölby-Motala (Johansson et al., 2012) där man hade varit tvungen att köpa in massor vid val av exempelvis urgrävning och därför i stället valde metoden förbelastning.

I ett examensarbete genomfördes en kostnadsjämförelse mellan tre olika jordförstärkningsmetoder för förstärkning av befintliga vägar på torvmark (Tornéus, 2004). De tre metoder som jämfördes var urgrävning och återfyllning, förbelastning och masstabilisering. Olika varianter studerades och den generella slutsatsen var att masstabilisering var dyrast. Kostnadsskillnaden var relativt liten mellan enkelsidig urgrävning och förbelastning med massor från väglinjen, men med ökande torvdjup blev förbelastning billigare. Vid torvdjup som inte överstiger 2,5 m ansågs urgrävning och återfyllning vara ett ekonomiskt och tekniskt bra sätt att förstärka vägar.

Entreprenadformen kan påverka möjligheter till utveckling och innovationer avseende byggmetoder. Vid exempelvis en totalentreprenad finns ofta relativt lång tid tillgänglig för byggande vilket exempelvis kan vara gynnsamt för förbelastning.

Mycket av det som föreslås för lågtrafikerade vägar är tillämpbart på högtrafikerade vägar. För högtrafikerade vägar är utskiftning den mest förekommande förstärkningsåtgärden men även andra förstärkningsmetoder förekommer. För högtrafikerade vägar är vägens framtida funktion en mycket viktig parameter vid val av förstärkningsmetod. Ytterligare en parameter som värderas högt är byggtiden hos den valda metoden. I Sverige har på senare år förbelastning tillämpats som förstärkningsmetod på en högtrafikerad väg, Rv 50 mellan Mjölby och Motala (Johansson et al., 2012).

4.2 Järnvägar

4.2.1 Inledning

I denna rapport har valts att fokusera på förstärkning av befintliga järnvägsbankar på torvmark och inte på nybyggnation av järnväg, eftersom det ansetts vara av större intresse. Nybyggnation av järnväg tas kortfattat upp i slutet av detta avsnitt (4.2) och i Avsnitt 5.3 med för- och nackdelar med olika byggmetoder.

4.2.2 Förstärkning av befintlig konstruktion

Delsträckor där förstärkning av befintliga järnvägsbankar på torvmark genomförts (genomförs) de senaste 15 åren i Sverige är exempelvis Håksberg-Frövi, Frövi-Ställdalen, Repbäcken-Vansbro, Roslagsbanan och Malmbanan, vilka presenteras i detta avsnitt. Tidigare har fokus legat mycket på att studera stabilitetsförhållanden vid ökning av axellaster (stax 25, stax 30) och på senare år har också bärförmåga prioriterats.

Väl genomtänkta projekterade bärighetsåtgärder i spår har varit och är sällsynta inom järnvägsområdet. Detta gäller allt från val av och genomförande av åtgärder till metodik för undersökningar, mätningar och bedömningar. Planer finns på att utföra ett uppföljningsprojekt/demonstrationsprojekt som kan fungera som erfarenhetsåterföring inför likartade projekt vid andra banor i Sverige. Nedan presenteras kortfattat pågående bärighetsprojekt ”Håksberg-Frövi”.

Håksberg-Frövi, bärighetsprojekt

Projektet beskrivs i AKJ (anläggningsspecifika krav järnväg). Syftet med projektet är att förbättra bärighet och spårläge och att kunna trafikera banan med en större andel tyngre tåg än idag. I början av 2000-talet genomfördes en utredning av geoteknisk totalstabilitet för de berörda bandelarna. Åtgärder vidtogs för att banan skulle uppfylla STAX25 avseende stabilitet.

I det nu påbörjade bärighetsprojektet ska banunderbyggnaden anpassas med lämpliga åtgärder för att uppfylla krav för linjeklass E4 (STAX 25, stvm 8). Som grund för detta görs en geoteknisk utredning som inledningsvis innebär att sammanställa alla befintliga uppgifter om spårets status som spårläge, uppfrysningar, bärighetsmätningar, georadartolkningar**,** avvattningssituation med mera samt jämföra dessa data med aktuell geologi och terrängförhållanden. Därtill inventeras och bedöms avvattningsfunktionen efter sträckan. Geometri för vattengångar – öppna diken, mätpunkter åtkomliga i dräneringar, trummors inlopp/utlopp, mäts in och jämförs med profilläge räls underkant. Bedömningar av avvattningsfunktion antecknas och förs vidare i arbetet. Bärighetsutredningen ger ett underlag för att fatta beslut om ombyggnad och reparation.

På bandel 391 mellan Frövi och Ställdalen består jordarna till stor del av sediment med låg bärighet som lera och silt och ibland överlagrade av torv.

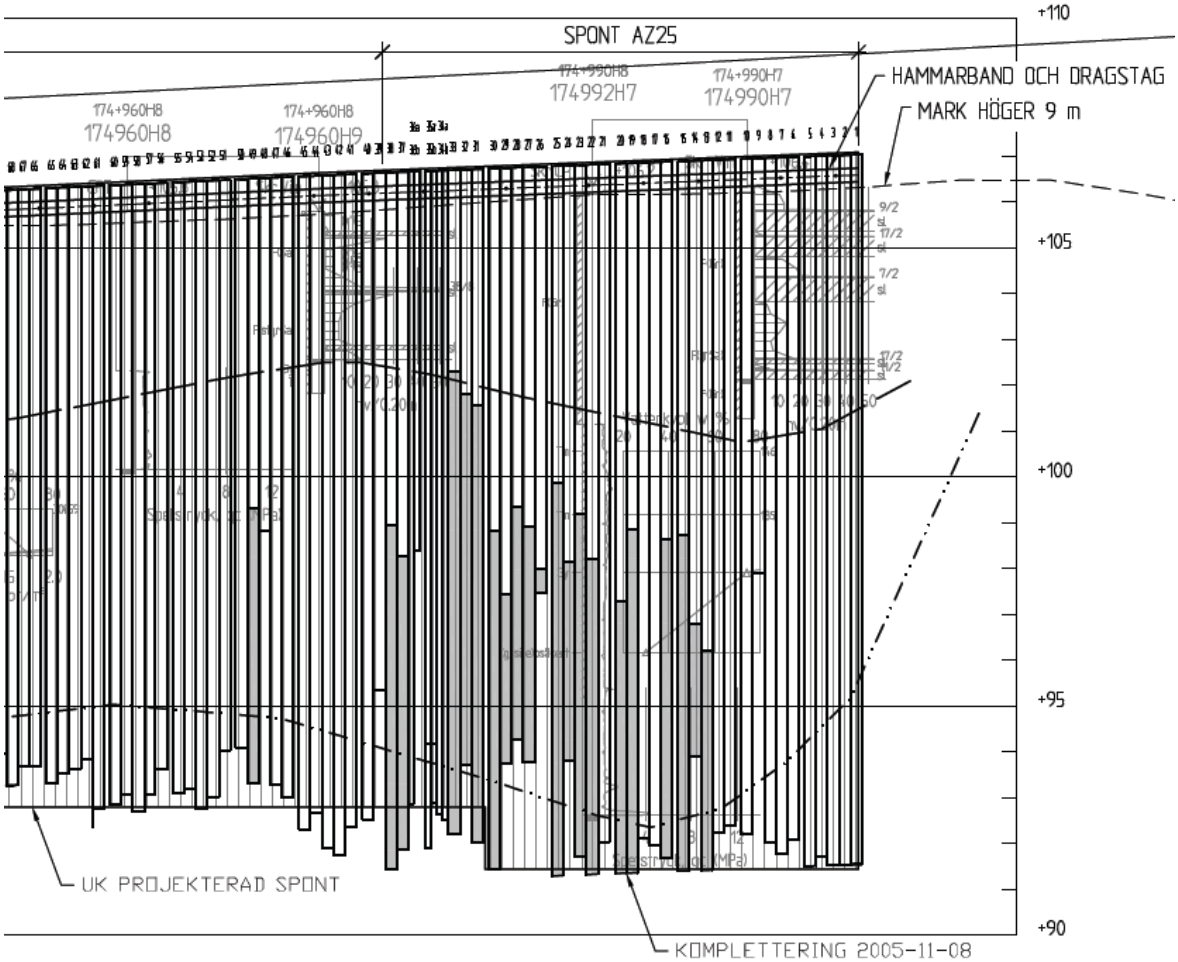
Projektet påbörjades 2015 och kommer att pågå till och med 2017. Under fem sommarveckor stängs järnvägssträckan av och åtgärder utförs för delsträckor som är cirka 10 till 15 km. Erfarenheterna från tidigare etapper utnyttjas vid projektering av de kommande.

Frövi-Ställdalen (bandel 391)

Vid förstärkning av delsträcka Frövi-Ställdalen under åren 2003-2004 har för områden med torv använts åtgärderna tryckbankar, stödbensurgrävning, massutskiftning och spont. (Relationshandling, Geotekniska förhållanden samt förstärknings- och Dräneringsåtgärder; Banverket, 2004). Tryckbankar med höjden varierande mellan 0,2-2,3 m och bredden mellan 5-20 m utlades på icke vävd geotextil bruksklass 3. Liggtiden för tryckbankar var minst 3 månader och med maximalt 0,7 m fyllnadstjocklek. Längs en sträcka utfördes stödbensurgrävning sommaren 2003 och utskiftning av torv under banken våren 2004. Det krävdes försiktig utläggning för tryckbankar på torvjord för att begränsa risken för markgenombrott. Om markgenombrott lokalt uppstod vid utläggning, skulle området förstärkas med vävd geotextil och fyllas upp successivt efter samråd med beställaren. Ett skred skedde vid utläggning av tryckbank och där ersattes denna med stålspont. Den urgrävning av torv som utfördes var av bärighetsskäl, beroende på torv/lera/silt för högt upp i bankroppen (Håkansson, 2016).

Avesta-Storvik, bandel vid Vitmossen

Vid förstärkningsarbetet av delsträcka Avesta-Storvik vid Vitmossen användes stålsponter med dragstag (Banverket, 2005a), **Figur 4.1**. Horisontella rör borrades genom banken och där sattes stag från spont på ena sidan banken till spont på andra sidan banken. Detta utfördes som en ny åtgärd efter det att försök med utläggning med tryckbankar gett upphov till skred i samband med utläggning. Veterligen har den genomförda förstärkningsåtgärden med stålspont på båda sidor om banken sammanbundna av dragstag fungerat bra.



Figur 4.1 Spont vid delsträcka Avesta-Storvik vid Vitmossen (Banverket, 2005a).

Jorden i området består av upp till 4.5 m torv på cirka 2 m gyttja och därefter lera. Torven har vattenkvoter mellan 800-1300 % och beskrivs allmänt som låghumifierad. Karakteristisk skjuvhållfasthet mätt med vingborr varierar i allmänhet mellan 5-15 kPa. Befintlig bank har förstärkts med tryckbankar vid minst 2 tillfällen. Det senaste tillfället var 1993 då tryckbankar cirka 30-35 m breda och 1-2 m tjocka utfördes av sand/grusig sand. Dessa har haft stora sättningar och sjunkit under grundvattenytan varvid två ”sjöar” bildats parallellt spåret, **Figur 4.2**. Stabilitetsberäkningar av säkerhetsfaktor mot brott genomfördes med såväl klassiska metoder (PostoGRAF) som med numeriska metoder (Plaxis). En alternativ konstruktion med träpålar studerades, men det beräknade böjmomentet som träpålarna måste klara av överskred momentkapaciteten stort, varför alternativet inte rekommenderades. Spontplankor och stag dimensionerades för att klara avrostning med 2 mm på ytor som exponeras mot jord. Detta beräknades ge en livslängd av cirka 100 år om den del av sponten som exponeras i ”skvalpzonen” (det vill säga inom området för grundvattenytan) skyddas. Ett kontrollprogram upprättades för mätning av sättningar och andra rörelser i järnvägsbanken.

Figur 4.2 Delsträcka Avesta-Storvik vid Vitmossen, där tidigare byggda tryckbankar har sjunkit under grundvattenytan och bildat ”sjöar” (här till vänster om banken; bilden tagen före förstärkning med stålspont). (Foto: Banverket, 2005a)

Repbäcken-Vansbro

För att anpassa Västerdalsbanan, sträckan Repbäcken - Vansbro, för timmertransporter med axellast 25 ton, men med låg metervikt, genomfördes en stabilitetsutredning (Banverket, 2005b) och baserat på denna utredning utfördes geotekniska förstärkningsåtgärder. Spårläget var generellt dåligt på sträckan och några större åtgärder hade inte utförts sedan banans byggande. Förstärkningsåtgärderna utformades för att minimera påverkan på befintligt spår och undvika tjocka och breda tryckbankar. Sträckorna där banken underlagras av torv är relativt många.

Under 1990-talet utfördes omfattande geotekniska stabilitetsförstärkningsåtgärder för befintlig järnväg, i samband med uppgradering för högre hastigheter och högre axellaster. Vid torvmossar utfördes normalt tryckbanksförstärkning. Ofta orsakade de nya tryckbankarna sättningar i befintligt spår, med efterföljande spårunderhåll. Vid en del förstärkningsprojekt utfördes därför träspont mot det befintliga spåret för att minimera påverkan, se **Figur 4.3**. Träsponten förutsattes vid dimensioneringen att inte ha någon stabilitetsmässig funktion, utan utfördes endast för att skydda befintligt spår.

Figur 4.3 Träspont Korsträsk (Korsträsk, 1997).

Med hänsyn till att den 12 mil långa järnvägssträckan är lågtrafikerad och består av 16 % torvmossar valdes av ekonomiska skäl att basera behovet av förstärkningsåtgärder på stabilitetsberäkningar för trafiklastklass 25/6,4 (STAX (ton) / stvm (ton/m)) vilket motsvarar en ytlast inklusive dynamiskt tillskott på 34 kPa. Detta motsvarade största metervikten för gällande linjeklass för banan, vilken översteg största metervikt för planerade timmertransporter. Dimensionering av förstärkningsåtgärder utfördes med trafiklastklass 25/8 (STAX (ton) / stvm (ton/m)) vilket motsvarar en ytlast inklusive dynamiskt tillskott på 44 kPa.

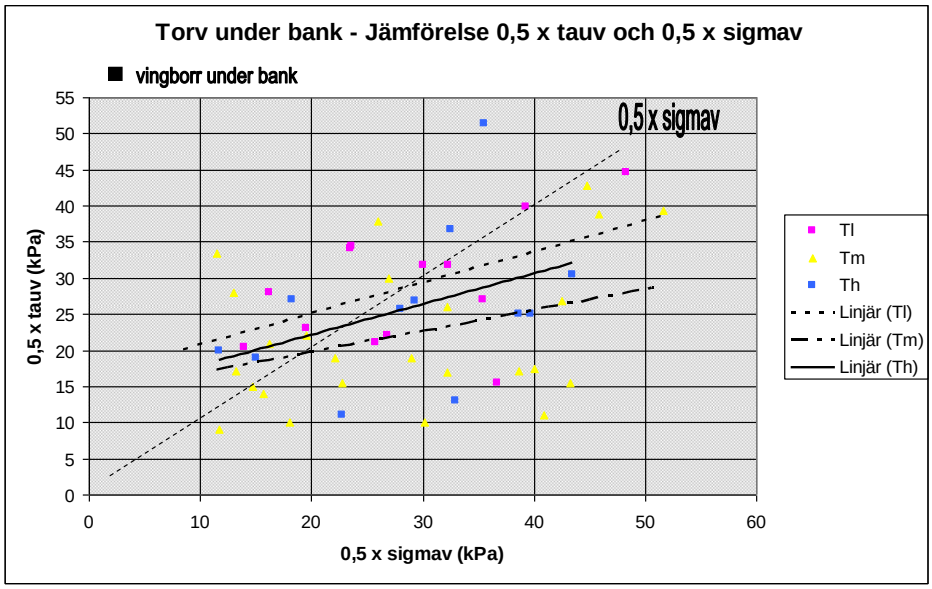
Som underlag för parameterbestämning till stabilitetsberäkningarna användes i huvudsak vingförsök utförda under befintliga järnvägsbankar och i naturlig torv utanför bankarna. Reducerat skjuvhållfasthetsvärde (karakteristisk skjuvhållfasthet) bestämdes enligt praxis, det vill säga odränerad skjuvhållfasthet är 0,5 x odränerad skjuvhållfasthet bestämd med vingförsök. I ett par sektioner utfördes även ostörd provtagning under befintlig bank med torvprovtagare och skjuvförsök på laboratorium.

Vid utvärdering av skjuvhållfasthet gjordes jämförelser mellan utförda fältprovningar och de tumregler som fanns angivna i Banverkets stabilitetshandbok BVH 585.10 (Banverket, 2002):

- Amaryans samband mellan skjuvhållfasthet och vattenkvot för lågförmultnad, mellanförmultnad och högförmultnad torv.
- Samband mellan skjuvhållfasthet och totalspänning under banken, det vill säga odränerad skjuvhållfasthet är 0,5 x totalspänning.

Slutsatsen vad gäller jämförelser mellan vingförsök och Amaryans samband var att: ”Det kan konstateras att för aktuellt objekt uppvisar sambandet mellan skjuvhållfasthet bestämd genom vingförsök och enligt Amaryans empiriska relation mycket liten korrelation och stor spridning.”

Jämförelser mellan skjuvhållfasthet utvärderad från vingförsök och skjuvhållfasthet bestämd enligt samband med totalspänning visas i **Figur 4.4**. Slutsatsen för sträckan Repbäcken – Vansbro var att det var liten korrelation och stor spridning för aktuellt objekt och att skjuvhållfasthet bestämd enligt 0,5 x σ_v i många fall ger en överskattning av torvens skjuvhållfasthet under befintliga bankar.

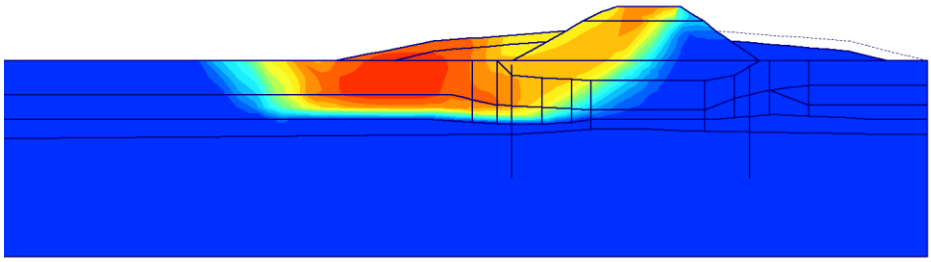


Figur 4.4 Jämförelse mellan skjuvhållfasthet bestämd genom vingförsök och skjuvhållfasthet utvärderad genom samband med totalspänning (Banverket, 2005b).

Grundvattenobservationer i grundvattenrör gjordes i ytterst liten omfattning i projektet. Det observerades dock att för vissa torvmossar låg grundvattentrycket i underliggande jord på i princip samma nivå som i torvlagret och vid andra torvmossar låg grundvattentrycket i underliggande jord i underkant på torvlagret det vill säga det finns två grundvattenytor under banken. Någon karakterisering eller utvärdering gjordes inte men det bedömdes att bildningssättet (igenväxningstorvmarker, översilningstorvmarker, källtorvmarker och mossar) kan vara viktigt att utreda vid stabilitetsundersökningar för bankar på torv.

I ett par sektioner gjordes skjuvförsök på torvprover under befintlig bank samt portrycksmätningar. I aktuell sektion ligger portrycket i torvlagret på samma nivå som grundvattentrycket i underliggande jord. Det konstaterades att för aktuell sektion visade sambandet 0,5 x effektivspänning hyfsad överensstämmelse med skjuvförsök och vingförsök, där grundvattentrycket är lika i torvlagret och underliggande jord, vilket sannolikt motsvarar torvbildning typ igenväxningstorvmark.

En analys gjordes av beräkningsprinciper och indata till beräkningarna. Beräkningsmässigt betraktades torv normalt som en kohesionsjord i järnvägsprojekten, med skjuvhållfasthetsvärden baserade på vingförsök. Vid kontroll av stabiliteten för befintliga järnvägsbankar på torv utförs normalt stabilitetsberäkningar med cirkulärcylindrisk glidyta. Tryckbankar ger teoretiskt erforderlig stabilitet med avseende på cirkulärcylindriskt brott. Vid de analyser som gjordes i projektet bedömdes att det är högst sannolikt att det utbildas en plan glidyta vid torvjordens underkant, speciellt om torvlagret underlagras av ett löst gyttjelager. Vid Plaxisberäkningar kunde ofta en plan glidyta påvisas. Dessa glidytor gav större tryckbankar än vid dimensionering med cirkulärcylindrisk glidyta för de sektioner som studerades. Exempel på plan glidyta vid tryckbanksförstärkning, se **Figur 4.5**.

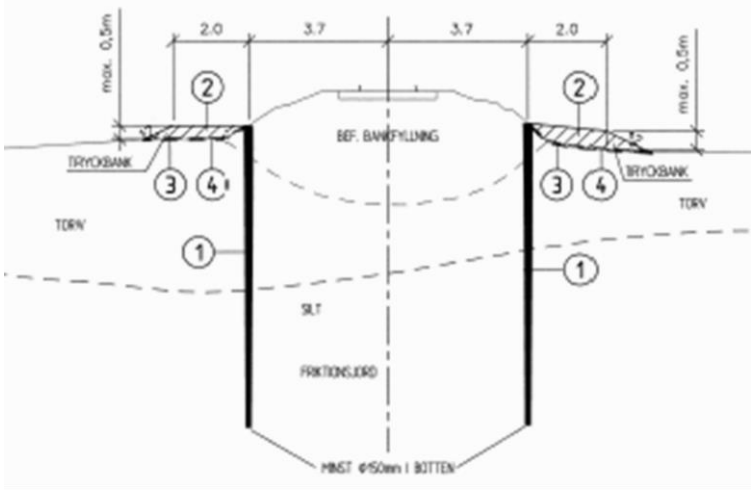


Figur 4.5 Plaxisberäkning km 64+240 Repbäcken - Vansbro (Banverket, 2005b).

Detta innebär att säkerhetsfaktorn, vid utläggning av tryckbank, är beroende av skjuvhållfastheten i torvlagrets underkant, där hållfastheten normalt varierade mellan 1 och 10 kPa. Ofta erfordras breda och tjocka tryckbankar, då tryckbankarna beräknas med effektiv tunghet under vatten (efter sättning). För att erhålla en ”robust” förstärkning bedömdes att tryckbanken bör göras så tjock att hela torvlagret under tryckbanken ”pressas ihop” det vill säga så att skjuvhållfastheten ökar även i torven närmast underliggande jord. Erfarenheten från befintliga bankar på sträckan Repbäcken – Vansbro är att det erfordras avsevärda tryckbankstjocklekar för uppnå en kompressionseffekt i hela torvlagret.

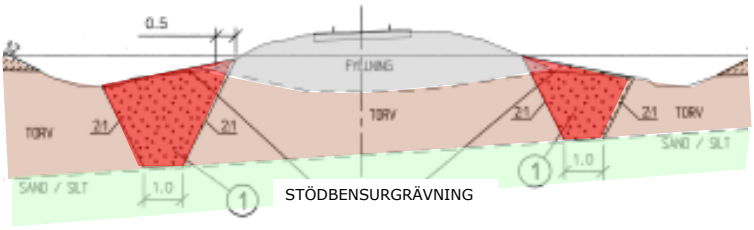
Som förstärkningsåtgärder på sträckorna med bankar på torv valdes därför metoder som skär av den farligaste glidytan. Metoderna valdes även för att minimera sättningspåverkan på befintligt spår.

För de flesta torvmossar på sträckan underlagrades torven av pålnings- och spontningsbar sand och silt. Som primära förstärkningsåtgärder valdes konsolstålspont och träpåleväggar som installerades med tillräcklig längd i underliggande sediment, för att erhålla erforderlig inspänning. Konsolspont och träpålevägg utfördes med stödbank på geotextil och geonät, som även kunde fungera som arbetsväg efter spåret, om arbeten inte utfördes under vinterperioden med tjäle. Träpålevägg eller konsolstålspont tillämpades vid torvdjup större än cirka 2,5 - 3 m. Torven under befintliga järnvägsbankar är ihoppressad varför det förutsattes att valvverkan uppkommer mellan pålarna och att pålarna därmed kan placeras med ett visst c/c-avstånd, det vill säga som en glesspont. Den del av pålen som ligger över vattenytan kommer med tiden att ruttna. Den översta delen av pålen beaktades därför inte vid dimensioneringen. Tryckbanken beaktades inte vid dimensioneringen, utan fungerar som en ”extra säkerhet” om vissa pålar inte erhåller erforderligt nedslagningsdjup. Om förstärkningseffekten behöver ökas i framtiden (vid höjning av tåglast och dylikt) kan tryckbankens tjocklek, när detta blir aktuellt, ökas. Åtgärderna dimensionerades med Plaxis, med avseende på brott vid utböjning av pålväggen eller sponten, med en säkerhetsfaktor på 1,5. Träpålevägg visas i **Figur 4.6**



Figur 4.6 Principskiss och foto med träpålevägg (Ramböll Sverige AB, 2010).

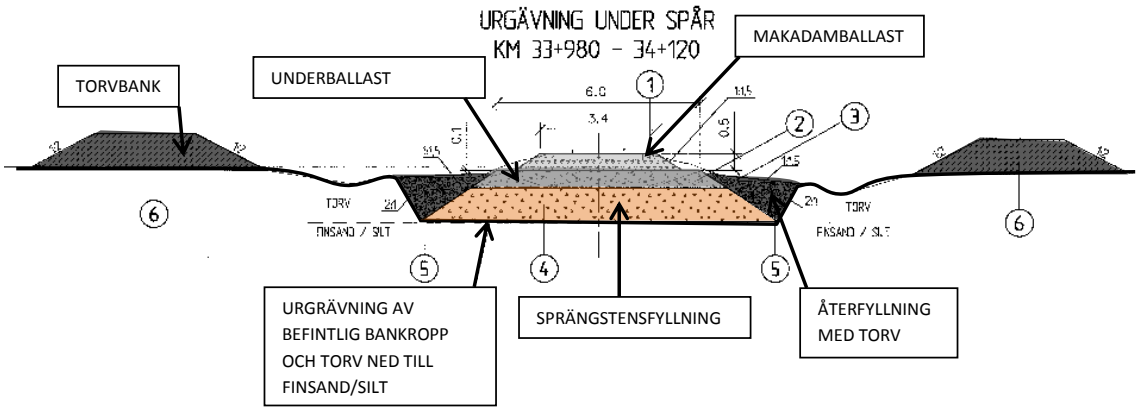
Vid rimligt urgrävningsdjup kan dubbelsidig eller enkelsidig stödbensurgrävning i bankfot utföras. Fyllningen ”skär av” glidytan och ger en ökad hållfasthet efter glidytan samt ett mothåll genom fyllningens tunghet. I projektet tillämpades metoden vid torvmossar med djup på maximalt cirka 2,5 till 3 m med hänsyn till stabiliteten mot befintlig bank under urgrävningsskedet. Som fyllningsmaterial användes i detta projekt sprängstensfyllning (0-500 mm vid lastbilstransport eller 0-250 mm vid järnvägstransport (QBX-vagn). Temporära schaktslänter utfördes med släntlutning 2:1 och urgrävning utfördes i schaktetapper på 3–5 m längd under tågfri tid där schakten måste vara igenfylld vid tågpassage. Stödbensurgrävning visas i **Figur 4.7**.



Figur 4.7 Principskiss och foto av stödbensurgrävning (Ramböll Sverige AB, 2010).

Den sträcka mellan Repbäcken - Vansbro som hade sämst spårläge visade sig vara en låg bank med en tunn bankropp på ett tunt torvlager. För detta fall erhölls grunda glidytor med låg säkerhet, vilket i princip motsvarade bärighetsbrott på grund av tunn bankropp. Därför valdes att utföra urgrävning av torv under befintligt spår på denna sträcka. Arbetena utfördes under en kort period med avstängt spår.

Ingen torv i projektet, vare sig vid urgrävning under spår eller vid stödbensurgrävning, kördes på tipp, utan utlades som ”kullar” efter spåret. Urgrävning visas i **Figur 4.8**.



Figur 4.8 Principskiss urgrävning (Banverket, 2005b).

Som komplement till stabilitetsutredningen utfördes även spårstyvhetsmätningar med rullande spårstyvhetsmätvagn för att jämföra styvheten vid bankar med tunn överbyggnad och tjocka bankar som trängt ned djupt i torvlagren. Det kunde konstateras att med hänsyn till spårrörelser vid tågpassage är det ogynnsammaste fallet bankar med tunn bankropp, oavsett torvdjup.

Roslagsbanan

Vid utbyggnad av dubbelspår på Roslagsbanan under 2014 förstärktes en del av banan, mellan Lindholmen och Frösunda, genom masstabilisering (Nordisk Infrastruktur, 2014). Det hade noterats tidigare att på denna del av banan gungade markområdet vid tågpassage. Den lågförmultnade torvens fibrer ansågs fungera som en geotextil som höll ihop jorden och kunde bära upp banken och också bidragit till att relativt begränsade sättningar utvecklats under längre tid. Urgrävning var inte ett alternativ av stabilitetsskäl och påldäck skulle bli väldigt dyrt. Några år tidigare (se nedan) hade masstabilisering testas på en annan del av Roslagsbanan med liknande jordförhållanden och med gott resultat, varför metoden valdes också här.

Redan under 2007-2008 förstärktes Roslagsbanan, Österskärslinjen, på cirka en kilometers sträcka med masstabilisering (Nilsson & Johansson, 2009). På ett område vilade bankroppen på en till fyra meter torv och gyttja på ett halvmeter lager av siltig sand som i sin tur ovanlagrade en mycket lös lera. Stabiliseringen genomfördes utan användande av överlast och med begränsad liggtid för bankroppen och sättningarna var acceptabla. Effekten av stabilisering bedömdes öka betydligt om jorden först luckras upp med grävmaskin och lerjord förs upp till ytan. Vatten bedömdes ge ett bättre blandningsarbete och en mer homogen massa. Kontroll av kvalitet hos masstabiliseringen förordades att göras genom provgrop med okulär besiktning. Andra byggmetoder som diskuterades initialt var successiv urschaktning och återfyllning, masstabilisering i kombination med kalkcementpelare samt påldäck. Faktorer som kostnad, tid, produktion och kvalitet diskuterades och slutligen bedömdes masstabilisering under bankroppen som det mest realistiska alternativet.

Malmbanan

Inför ökningen av axellast från 25 till 30 ton på Malmbanan utfördes omfattande studier av torvs egenskaper som underlag för beräkningsmodeller till stabilitetsberäkningar, sammanställt med tillhörande bilagor i rapporten ”30 TON på Malmbanan, Rapport 3:6, Infrastruktur, FoU Beräkningsmodell för grundläggning på torv” (Banverket, 1996c). I rapporten har sammanställts resultat och slutsatser av utförda fältförsök, laboratorieförsök, litteraturstudier, numeriska beräkningar, fältmätningar och stabilitetsberäkningar. Malmbanan som byggdes för över 100 år sedan har huvudsakligen byggts på olika typer av rustbäddar (granrisbädd, stockbädd) över torvområden. I Rapport 3:4 (Banverket, 1996a) har den geotekniska inventeringen sammanställts.

Resultaten i rapporten visar att en odränerad hållfasthetsökning skett i torv under bank som fått konsolidera under många år, medan den dränerade hållfastheten inte är högre än den på sidan om banken. För bestämning av odränerad skjuvhållfasthet är det viktigt att ta ”ostörda” prover även under järnvägsbanken eftersom de ger en högre odränerad skjuvhållfasthet än prover tagna på sidan om banken på motsvarande nivå och konsoliderade till in-situspänningar. Dynamiska moduler för torv studerades i projektet.

Höga portryck uppmättes vid såväl tågpassage av ett lastat malmtåg som vid statisk last från tåg. De uppmätta skjuvspänningsnivåerna tyder på ytterst små skjuvdeformationer vid tågpassage. Mätningar visade att deformationer återgår en kort tid efter tåget passerat och att större delen av den totala deformationen vid tågpassage sker i torven. Deformationerna vid tågpassage är elastiska eller övervägande elastiska. En bedömning var att den ändrade belastningen av tåget (tågens längd framförallt och till viss del cykliska lasten) kommer att leda till sättningar, men begränsade sådana, och orsaka ett ökat spårjusteringsbehov med cirka 50 % de första fem åren och därefter med cirka 20-30 % ”30 TON på Malmbanan, Rapport 3:7, Infrastruktur, Geotekniska åtgärder” (Banverket, 1996d). Försök med statisk belastning av tåg i cirka 1 timme tyder på att sammanpressning av torv skulle kunna fortsätta även under en längre tids belastning. Tryckbankar har medfört sättningar av jorden under dem, och även tillskottslaster till järn-

vägsbanken vilket resulterat i pågående sättningar. Långtidsmätningar visade på pågående rörelser av banken i vertikal- och horisontalled. Mätvärden på portryck och deformationer vid tågpassage tyder på att lasten huvudsakligen verkar vertikalt med en liten spridning i sidled.

Beskrivning av skjuvhållfasthet ansattes för dränerad respektive odränerad analys. Stabilitetsberäkningar för bank på torv visade för låga säkerhetsfaktorer i flera tvärsektioner, speciellt där förhållandena var ogynnsamma, det vill säga bankslänten var brant och tryckbankar saknades (Banverket, 1996b). I beräkningsmodellen ansattes odränerad skjuvhållfasthet olika i aktiv, direkt och passiv skjuvzon. Odränerad analys rekommenderas att utföras vid stabilitetsberäkning avseende passage av tåg, och bestämning av odränerad skjuvhållfasthet görs lämpligen genom direkta odränerade skjuvförsök. De numeriska beräkningarna visade god överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta sättningar men en sämre överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta horisontalförskjutningar.

I rapporten (Banverket, 1996d) finns sammanställt föreslagna geotekniska åtgärder och dess omfattning och kostnader och förväntade underhållsbehov (spårjusteringar). De förstärkningsmetoder som föreslogs som aktuella för banvall på torv var, beroende på upprättad prioritet 1 eller 2, tryckbankar utanför träspont, blockstabilisering för torvdjup på 2-4 m, urgrävning, kalk-cementpelare och eventuell trumförlängning. Arbetet med förstärkning föreslogs utföras vintertid. För prioritet 3 föreslogs att ett separat kontrollprogram upprättas för dokumentation av sättningsförlopp samt erforderliga spårjusteringar, detta gällande även andra möjliga orsaker till sättningar än sättningar i torv. Tryckbankar föreslogs utföras med tät träspont i befintlig bankslänt slagen ner till fast botten, där tanken var att med träsponten reducera lastökningen och därmed sättningar, orsakad av tryckbank, under befintlig banvall. Vid urgrävning skulle torv ersättas med friktionsmaterial och det skulle krävas andra förstärkningsåtgärder som exempelvis spont för att kunna utföra arbetet. Masstabilisering skulle innebära förstärkning vid sidan om och delvis under banvallen och omfatta en fullständig omrörning av torven.

Veterligen var det endast byggmetoden tryckbankar som slutligen användes vid förstärkning för 30 ton axellast. Likaså är det endast tryckbankar som använts vid nyligen genomförda upprustning till 32,5 ton axellast på södra omloppet (Gällivare - Luleå) av Malmbanan.

I Noppa & Sjöberg (2002) finns ett föreslaget kontrollprogram från 2002 och framåt avseende spårriktningar och spårjusteringar för att studera om dessa ökar över partier med torvområden. Någon dokumenterad uppföljning efter 2002 av detta har dock inte gått att finna. Förändringar av omfattningen av spårriktningar rapporterad i Noppa & Sjöberg (2002) under åren 1999-2001 på de bandelar där det hade börjat trafikeras med 30 tons axellaster, är svåra att direkt koppla till enskilda ändrade förhållanden över torvområden som exempelvis ökad axellast eller anlagda tryckbankar, även om så skulle kunna vara fallet.

4.2.3 Nybyggnation

Vid nybyggnation av järnvägar är normalfallet att torven grävs bort och ersätts med friktionsmaterial. För nybyggnation gäller TK Geo (Trafikverket, 2014a) tillsammans med BVS 1585.005 ”Typsektioner för banan” (Trafikverket, 2012). För områden där det finns torvmossar har huvudmetoden varit urgrävning. I områden med jordlagerföljder med torv på gyttja på gyttjig lera på lera har det i Sverige under 90-talet testats med masstabilisering och kc-pelarförstärkning. Bankpålning med jordarmerad fyllning över plattorna har utförts på 90-talet.

För exempelvis Norrbotniabanan (eventuell framtida järnväg) har översiktligt bedömts, där järnvägen byggs genom myrmarker, att urgrävning av torven eller nedpressning av bergmaterial i torven är tänkbara åtgärder. Om torvlagren är mycket mäktiga kan bankpålning bli aktuellt. Om bankhöjden kan hållas tillräckligt låg kan träpålning vara ett alternativ.
Det finns möjligen en potential att använda förbelastning av torv för nybyggnation av järnväg men då måste ett annat upplägg göras än för väg. Det måste bland annat ställas krav på att torven under bankarna

ska pressas ihop så att man får en fastställd minimihållfasthet med hänsyn till stabilitet och höghastighetsproblematik, men också så att erforderlig styvhet med hänsyn till banunderhåll (spårlägesfel) erhålls. Partiell urgrävning och stora överlaster skulle kunna vara en kombinerad byggmetod. För låga bankar bör man vid förbelastning skapa en tjockare bank under markytan än vad som normalt gjorts historiskt. Detta kan göras med betydligt högre överlast än vad som normalt görs, alternativt tillämpas partiell urgrävning istället, det vill säga man gräver ut någon extra meter eller en och en halv under terrassytan som sedan kombineras med överlast. Då skulle en väl packad torv kunna åstadkommas med relativt goda tekniska egenskaper.

4.3 Bankar – allmänt

4.3.1 Internationellt

Det finns en del rapporterade forskningsprojekt från andra länder med studier av kort- och långtidsuppföljningar av bankar på (oförstärkt/förstärkt) torvmark, där som regel uppmätta deformationer jämförs med beräknade, exempelvis Länsivaara & Forsman, 2001; Hayashi & Nishimoto, 2008; Dykstra et al., 2009; Tashiro et al., 2015, och Zwanenburg & Jardine, 2015. Det har dock varit svårigheter att få fram dokumenterade internationella exempel på byggmetoder för vägar och järnvägar på torvmark. Drygt 20-talet personer i sex olika länder har kontaktats för att hitta exempel, utöver sökningar i databaser och på olika websidor.

Internationellt har särskilt följande metoder identifierats där en del forskning och utveckling utförts de senaste cirka 15 åren: förbelastning (med överlast) och med vertikaldräner i jordprofiler där också annan jord än torv finns (exempelvis Hayashi et al., 2011; Tashiro et al., 2013; Nguyen et al., 2015), förstärkning med geonät (exempelvis Rowe & Li, 2002; Öiseth & Sleipnes, 2008; Taechakumthorn & Rowe, 2013) samt stabilisering (exempelvis Lahtinen et al., 2000; Jelisic & Leppänen, 2003; Forsman et al. 2009; Lahtinen & Niutanen, 2009; Forsman et al., 2012). I Sverige sällan eller aldrig använda byggmetoder som stenpelare, betongpelare och vakuumkonsolidering har identifierats i internationella litteraturstudien (exempelvis Ibrahim et al., 2014).

På exempelvis Irland är det nästan uteslutande någon av de tre byggmetoderna massutskiftning, förbelastning med överlast och vertikaldräner eller lastanpassning med lättviktsmaterial som använts de senaste 10 åren (Long, 2015). Massutskiftning har nyligen blivit en mindre attraktiv byggmetod beroende på omgivningspåverkan och höga kostnader för deponering. Förbelastning har använts framgångsrikt i många fall men används ändå relativt lite beroende på att den är tidskrävande. Oftast kombineras förbelastning med vertikaldräner för att påskynda sättningarna. Såväl rustbäddar av exempelvis träpålar som geonät används för att förstärka ”flytande” vägar på torvmark. Stabilisering med bindemedel är relativt lite använt på Irland beroende på att det krävs relativt stora mängder bindemedel för att uppnå en stabiliserande effekt, vilket anses bero på låg lerhalt. Några intressanta fältförsök har utförts med vakuumkonsolidering av torv. Vibro-stenpelare och vibro-betongpelare har använts för att förstärka torvmark. Många olika byggmetoder har använts för att bygga över torvmark på Irland och det finns sannolikt ingen universalmetod som allmänt kan/bör användas. Slutliga valet av byggmetod beror bland annat på tekniska möjligheter, kostnader, tillgänglig tid, miljöhänsyn, erfarenheter hos entreprenörer med mera (Long, 2015). Irländsk torv med sin karakteristiska mycket höga vattenkvot och nästan enbart organiskt material har inneburit att byggmetoder använda i andra länder inte alltid är lämpliga för irländska förhållanden.

I EU-projektet Roadex studerades lågtrafikerade vägar på torv (Munro, 2005; MacCulloch, 2006; Munro & MacCulloch, 2006). Syftet med arbetet var att ta fram en ”state-of-the-art” avseende byggande och underhåll av lågtrafikerade vägar på torv i norra delen av Europa. I (Munro, 2005) finns ett antal redovisade vägobjekt från de olika deltagande länderna med kort beskrivning (på en sida) av använd byggmetod.

I No-Recess (New Options for Rapid and Easy Construction of Embankments on Soft Soils) forskningsprojektet i Holland var målet att undersöka alternativ för grundläggning av järnvägsbankar på lösa jordar, som skulle kunna vara ett kostnadseffektivt alternativ till så kallade slab track (van Duijvenbode et al., 1999; Batista et al., 2008). Detta med fokus på höghastighetståg. Fem bankar med olika byggmetoder byggdes och instrumenterades i Hoeksche Waard och dessa var: i) Vertikaldräner; ii) kalkcementpelare (svenskt bidrag i samarbete mellan Stabilator och SGI); iii) stabiliserade jordväggar; iv) sandpelare inkapslade i geotextil; v) masstabiliserad bank på träpålar. I provområdet utgjordes jordprofilen uppifrån och ner av 3 m lera, 2 m torv, 3 m lera och 1,5 m torv. Det som eftersträvades för att uppfylla kraven för höghastighetståg (i Holland) var: i) kort byggtid; ii) små långtidssättningar; iii) minimera överskottsmassor av jord; iv) tillräckligt styvt beteende för konstruktionen vid dynamisk belastning från höghastighetståg; v) minimal påverkan vid breddning av befintliga järnvägar (eller vägar). Trots alla försök med olika stabiliseringsåtgärder valdes pålad slabtrack som lösning för aktuell järnvägsbana.

I Norge baseras sättningsberäkningar av vägar på torv, Geoteknikk i vegbygging Håndbok V220 (Statens vegvesen, 2014), på arbetet utfört i Sverige av Carlsten (1989). Statens vegvesen har tagit fram rapporten ”Når vegen berører myra, God forvaltning av myr i vegplanlegging, bygging og drift” (Statens vegvesen, 2015) i vilken huvudsakligen tas upp hydrologiska och växtekologiska aspekter och hantering av överskottsmassor vid planering, byggande och underhåll på torvmark.

I Finland har masstabilisering av torv studerats och utförts sedan 1990-talet, exempelvis Forsman & Slunga (1996), Lojander et al. (1996), Länsivaara & Forsman (2001), Koivisto et al. (2004), Puumalainen et al. (2004), Forsman et al. (2008), Forsman et al. (2009), Lahtinen & Niutanen (2009), Forsman et al. (2012). Detta arbete har bland annat omfattat provbankar för masstabilisering av högtrafikerade vägar, försöksbankar för forskningsändamål, utveckling av försöksutrustning och provning av nya bindemedel. Arbeten kopplade till Eurosoilstab-projektet är exempelvis Ilander et al. (1999a), Ilander et al. (1999b) och Lahtinen et al. (2000) och förstärkning av vägobjekt kopplade till Roadex-projektet rapporterade i Munro (2005).

Länsivaara & Forsman (2001) gjorde en bakåträkning med FEM av en försöksbank i Kivikko, från EuroSoilStab-projektet, som förstärkts med masstabilisering och pelarstabilisering. Relativt god överensstämmelse mellan observerat och beräknat beteende under bankmitt. Jelisic & Leppänen (2003) skriver om svenska och finska pilotprojekt med masstabilisering av organiska jordar som torv, för vägar och järnvägar. Metoden anges som lovande och vidare utvecklingsbehov av effektivare bindemedel och inblandningsverktyg pekas ut. I Finland finns goda erfarenheter av att i torv kombinera masstabilisering med ett lager av sand som blandas in vid stabiliseringsarbetet i fält. Detta har utförts i Lielahti utanför Tammerfors under 2001-2002, vilket gav bättre resultat i jämförelse med traditionell masstabilisering (Palolahti, 2016). Georadar har använts i många projekt i Finland för att studera torvens utbredning.

Masstabilisering av torv studerades under 90-talet och början av 2000-talet inom projekten ”EuroSoilStab” och ”Svensk djupstabilisering” och tekniker för stabilisering i fält och provning i laboratoriet utvecklades. En doktorsavhandling ”Mass stabilization – stability and settlement in Mass Stabilized Peat” presenterades av Jelisic (2004), en annan om stabilisering av bland annat torv av Åhnberg (2006) och en licentiatuppsats om olika faktorers inverkan på stabiliseringseffekten av torv av Pousette (2001).

Uotila (2014) har studerat beteendet för befintlig järnvägsbank på torvmark i Finland. På en sträcka är laterala deformationer ett problem och där har masstabilisering genomförts. Vid studie av återgående deformationer vid tågpassage pekar resultaten på att vid lägre hastigheter blir det större kvarstående deformationer.

I Jenner (2006) beskrivs genomförd grundläggning av en järnvägsbank i Sverige med en kombination av pålning med utökat (än normalt) avstånd mellan pålplattor och två lager höghållfast geonät, skapande en ”lastöverföringsplattform”. Detta som ett alternativ till traditionell bankpålning med tätare avstånd mellan pålplattor.

Vid förstärkning av en obelagd väg i Finland i Hämenlinna på 10 m tjock torvmark provades tre förstärkningsåtgärder, geonät med krossat bergmaterial, geocell och lättviktsmaterial samt dubbelt geonät och lättviktsmaterial (Forsman et al., 1998). Tre år efter byggnationen konsterades att vägytan var tillfredställande avseende differentialsättningar i alla tre förstärkningsområden.

I Öiseth, E & Sleipnes, A (2008) beskrivs ett fall i Norge med temporär väg, anläggningsväg, där armering har använts. Anläggningsvägen har fungerat tillfredställande under hela byggperioden. Huvudsyftet var att uppnå tillräcklig bärförmåga utan att ta bort torvlagret för att kunna trafikera med 20 tons axellast. Armering och relativt tunn överbyggnad direkt på torv var en ekonomiskt mycket fördelaktig metod. Armeringsduk mellan torv och fyllning och armeringsnät placerat 0,3 m upp i fyllningen. Armeringsduk fungerade som förväntat men inte armeringsnät med avseende på sättningar. Stora sättningar uppstod mellan armeringsnät och armeringsduk orsakad av extrema hjullaster beroende på att fyllningen inte var tillräckligt packad före trafikering. Vid momentana sättningar vid byggnation, viktigt att fyllningen inte blir för tjock så att bärförmågan för torven överskrids. Fyllningen blev tjockare än planerat, speciellt där torven hade hög vattenkvot.

Hendry (2011) studerade det geomekaniska beteendet för järnvägar grundlagda på torvmark. Vertikala förskjutningar och portrycksgenerering vid tågpassage ökar i storlek beroende på en visco-elastisk respons och inte beroende på generering av cyklisk portrycksökning eller en dynamisk respons. Beteendet hos torven var huvudsakligen elastisk och odränerad och visade återgående deformationer.

Tashiro et al. (2015) skriver om storskaliga deformationer för hög provbank på torvmark. Provbank med 15 m fyllning på 50 m tjockt jordlager, till stora delar bestående av torv, resulterade i 11 m sättningar efter 3 år och då var bankhöjden 7 m (ovanför markytan). Det uppstod inget skred (ingen fullständigt glidyta till brott genom bank och undergrund) trots stora deformationer för marken på sidan om banken, upplyftning av markytan med som mest ca1 m och horisontella förskjutningar på max cirka 2 m. Förskjutningar av markytan noterades upp till 100 m från tån på banken. Stora och fördröjda sättningar inträffade efter tre år i torvlagret som är djupare än 30 m. Resulterar i att sättningar på markytan inte klingat ut efter tre år. Torvlagret på djupet större än 30 m har ett artesiskt porvattentryck runt 100 kPa (även efter bankkonstruktion) och extremt låga förkonsolideringstryck. En liten ökning i effektivspänningar resulterade i stora deformationer. Den allmänna uppfattningen om effekter av vertikaldränering för att reducera långtidssättningar är oklar, men artikelförfattarna lyfter fram att de reduceras i deras fältfall. När stabiliteten är låg används ofta vertikaldräner under bankar på torv i Japan. Sträckor med dräner hade 4-5 m större sättningar än den oförstärkta sträckan. Vakuumkonsolidering användes för att reducera deformationer i jorden intill banken. Använd programkod/beräkningsmodell kan återskapa de stora deformationerna i jorden på sidan om banken under byggandet och observerade porvattentryck under byggandet och två år därefter. Simuleringar visar att en ökning av permeabiliteten genom dräner, en minskning av pålastningshastigheten vid byggande och en lättare konstruktion är effektiva åtgärder för att öka stabiliteten under byggande och för att reducera långtidssättningar vid byggande på mycket lös torvmark.

Taechakumthorn & Rowe (2013) har studerat förstärkning av bankar med geonät på lösa avlagringar, bl.a. torv. Vid byggande av bankar med normala belastningshastigheter på torv är portrycksökningar mindre än de som motsvarar odränerade förhållanden, men de kan ändå påverka beteendet hos banken varför de bör hållas begränsade. Geonät kan vara användbara vid byggande av höga bankar på torv, särskilt då förbelastning med överlast tillämpas för att väsentligt reducera långtidssättningar (Taechakumthorn & Rowe, 2013). Med nyttjande av geonät får dock inte då heller porövertrycket bli för högt vid byggnation. Storlek på tillåten maximal portrycksökning (Bmax) som en kontrollparameter vid byggnation på torvmark ges i artikeln, med hänvisning till lyckade exempel på byggnation av bankar. En snabbare konsolidering, genom nyttjande av exempelvis vertikaldräner, påskyndar hållfasthetstillväxt och styvhetsökning, och detta i kombination med geonät kan vara en lämplig lösning (Taechakumthorn & Rowe, 2013). Kombinationen geonät och pvds (prefabricerade vertikaldräner) har visat sig vara extremt effektiv för att reducera deformationer efter byggnationen inklusive långtidsdeformationer utöver att öka stabiliteten för banken, samtidigt som byggfasen kan skyndas på om endast en av metoderna användes. FEM-beräkningar visar

på fördelen av att använda geonät även vid stora sättningar, då plastiska zoner med stora deformationer reduceras. Viktigt att tillåten töjning i geonät beaktas och inte överskrids, detta för att undvika för stora deformationer och bruka våld på bruksgränstillstånd för viktiga konstruktioner. Kombinationen av geonät, även då töjningarna i geonätet hålls inom angivna gränser, och viskositet hos jorden kan leda till deformationer för stora för att vara acceptabla för konstruktioner som motorvägar och järnvägar. Viktigt att beakta viskositet hos både jord och geonät, vilket inkluderats vid dimensionering föreslagen av (Rowe & Taechakumthorn, 2011).

Ett dimensioneringssätt för kombinationen geonät och dräner, inklusive ett långtidsbeteende, hänvisas till i artikeln (Li & Rowe, 2001). För att försäkra sig om att tillräcklig stabilitet råder under byggfasen är det viktigt att mäta och följa utvecklingen av töjningar i geonätet, porövertryck, sättningar och horisontaldeformationer för att bekräfta att observationer stämmer med antaganden vid dimensionering.

5. Analys och diskussion

5.1 Torvs egenskaper, parametrar och beräkningsmodeller som underlag till byggmetoder

5.1.1 Inledning

I Avsnitt 5.1 analyseras och diskuteras egenskaper, parametrar och beräkningsmodeller som underlag till byggmetoder. Avsnittet innehåller inte alla geomekaniska aspekter utan huvudskaligen de bitar som har kommit fram i samband med inventeringen av väg- och järnvägsobjekt.

5.1.2 Klassificering

Vi har ett klassificeringssystem enligt von Post (von Post&Granlund, 1926) för torv i Sverige sammanställt i (Carlsten, 1988a), men det används inte av alla i Sverige. Det svenska klassificeringssystemet används veterligen exempelvis på Irland. Som underlag för möjligheter till förbättrade byggmetoder på torvmark behövs sannolikt ett bättre system tas fram för karakterisering och klassificering av torv (Mesri, 2015). I Sverige finns ett relativt bra system, som dock skulle kunna vidareutvecklas och förfinas. En utveckling i klassificering av torv skulle kunna vara att tydligare beskriva såväl den ”homogena” delen i torv som fibrerna. Det finns behov av ett internationellt enhetligt system för klassificering, något som redan Landva et al. (1983) påpekade.

Hur kommer kunskaper i kvartärgeologi och bildningssätt hos torvmarker in i projektering av vägar och järnvägar på torvmark? Sverige och Finland har liknande förhållanden. Hur dra nytta av sådana kunskaper bättre?

5.1.3 Deformationsmönster och brottmekanismer

Ökade trafiklaster på väg och järnväg och ökade tåghastigheter innebär ökade krav på befintliga bankar. I de fall de befintliga bankarna finns inom områden med torvmark tillkommer ytterligare komplexitet jämfört med oorganiska jordar, beroende på de bristande kunskaperna om torvjordars respons vid belastning. En stor del av det sekundära vägnätet går över torvmark och vägarna är då ofta utförda som flytande konstruktioner direkt på torven. För att klargöra hur ansträngd torven är under befintliga bankar och för att dimensionera förstärkningsåtgärder för dessa bankar krävs att brottmekanismen i torv utreds.

För att kunna utveckla relevanta materialmodeller måste torvjordars materialegenskaper i form av samband mellan spänningar och töjningar (last och deformationer) identifieras. Torvjordar har ett brett spann av mekaniskt beteende mellan lågförmultnade och högförmultnade jordar, där det organiska materialets strukturella uppbyggnad med olika slags fibrer har stor betydelse för beteendet. Man kan anta att fibrerna i lågförmultnad torv reducerar skjuvdeformationer och att huvudsakligen vertikala deformationer uppstår under bankar. Med ökad förmultningsgrad är hypotesen att deformationsmönstret alltmer går från huvudsakligen vertikala deformationer för lågförmultnad torv till att en ökande andel horisontella deformationer utvecklas. Sambandet mellan torvtyp (förmultningsgrad huvudsakligen) och typ av deformationsmönster och brottmekanism under bankar behöver utredas.

Grundläggande kunskap om deformationsmekanismer inklusive brottmekanismer i torv saknas fortfarande, vilket Carlsten & Lindahl (2000) tidigare konstaterat. Hur sker deformationerna vertikalt och horisontellt på olika djup under belastningen och för olika torvtyper? I Holland har flertalet belastningsförsök i fält till brott utförts på torvmark (exempelvis Zwanenburg & Jardine, 2015; Zwanenburg et al., 2012), men det har varit svårt att dra allmänna slutsatser om deformationsmekanismerna. Brottmekanismen i

torv påverkas i hög grad av fibrernas möjlighet att hålla ihop torven (Carlsten & Lindahl, 2000). Fibrerna i torven verkar kunna förhindra eller kraftigt reducera skjuvdeformationerna. Kompressionen vertikalt är mycket större direkt under en bank än vid torvlagrets nedre del. Den stora kompressionen tvingar samman fibrerna och orsakar enligt Landva (1980) en hög fiberstyrka på samma sätt som i ett hoptvinnat rep (Carlsten & Lindahl, 2000). Den skenbara kohesionen är av den anledningen sannolikt betydligt större än den som bestämts vid ringskjuvförsök (Carlsten & Lindahl, 2000). Troligen beror sättningar i torv både av effektivspänningsändringar och av fibrernas möjlighet att hålla ihop torven. Notera att (initial) huvudsaklig riktning hos fibrer i torv kan vara vertikal (exempelvis ibland för obelastad torv) likväl som horisontell (exempelvis ibland för belastad torv) eller något däremellan och att kunskapen är begränsad kring detta.

Landva (1980) beskriver i sin doktorsavhandling jämförande försök utförda i en åttkantig låda med plexiglasväggar. Rörelsemönstret i en lågförmultnad torv kunde studeras för olika lastfall. Ett lastfall beskrev vad som kan liknas vid ett ödometerförsök där lasten låg över hela torvytan. Andra lastfall skulle simulera en vägbank då enbart en tredjedel av torvytan belastades och ett tredje försök innebar att man simulerade en tryckbank. I Landva´s studier blir repeffekten tydlig och deformationerna närmast under lasten är mycket stora medan den avtar mot torvprovets underkant. I ”vägbanksförsöket” sker inget brott under den belastade ytan utan brottet sker vid sidan av lasten där torven på grund av fibrerverkan dras in mot lasten och ett dragbrott inträffar vid sidan av lasten där effektivspänningen är noll. En intressant iakttagelse är också att det vid tryckbanksförsöket visade sig att sättningen under ”vägbanken” blev mindre för samma vägbankslast med tryckbank än motsvarande försök utan tryckbank. Det kan förklaras av att även torven närmast under tryckbanken komprimeras kraftigt och fördelar ut lasten på en större yta. Motsvarande försök på en lera skulle visa på att sättningarna under vägbanken snarare ökar på grund av lastpridningseffekt från tryckbank in under vägbanken.

Det förefaller finnas olika erfarenheter av hur torv deformeras i större skala vid belastning och detta är ett område där mer kunskap behövs. Här har väl kontrollerade och utförda modellförsök i större skala i laboratorium en viktig roll att fylla. Resultaten av dessa försök bör senare verifieras med uppföljningar i full skala i fält.

Torv uppvisar anisotropa egenskaper och beteenden, och i synnerhet torv med fibrer (exempelvis Hendry et al., 2014). Med anisotropa egenskaper menas olika egenskaper i olika riktningar, det vanligaste är att jämföra vertikala med horisontella egenskaper. Beroende på typ av belastning, exempelvis om aktiv skjuvning, passiv skjuvning eller direkt skjuvning, fås olika spännings-töjningssamband och olika hållfastheter (friktionsvinkel, odränerad skjuvhållfasthet). Det är därför viktigt att experimentella försök efterliknar aktuella belastningsförhållanden i fält så väl som möjligt för att nyttjande av resultat och utvärdering av parametrar ska vara meningsfullt. Här finns en utvecklingspotential avseende förbättrad provning under såväl odränerade som dränerade förhållanden (och delvis dränerade).

En studie av försök i ödometerutrustning, standardcell och rowe cell, för att studera torvs endimensionella egenskaper för olika typer av belastningar, visar att torv och organiska leror har många gemensamma beteenden avseende tidsfördröjda deformationer (Madaschi & Gajo, 2015). O'Kelly & Pichan (2013) studerade koppling mellan förmultningsgrad och kompressibilitet och konstaterade att pågående nedbrytning av torv kan ge ett significant bidrag till långtidsdeformationer.

5.1.4 Bestämning av friktionsvinkel och odränerad skjuvhållfasthet

Hur en friktionsvinkel som är relevant för torv, speciellt fiberrik torv, bör bestämmas har diskuterats flitigt i forskarvärlden de senaste åren, O´Kelly (2015). Kopplingen mellan brott vid laboratorieförsök och vid fältförsök är inte klarlagd. Sannolikt behövs ett nytt teoretiskt ramverk tas fram för att förklara och förutsäga hållfasthet hos torv (och kompressionsegenskaper) tillsammans med utvecklingen av ny försöksutrustning för bestämning av bland annat friktionsvinkel (O´Kelly, 2015). I Holland pågår en del

forskning kring torv och där har man med uppskalade direkta skjuvförsök (Den Haan & Grognet, 2014) fått värden på friktionsvinklar på cirka 30° vid större töjningar, vilka är cirka 10 % större än från försök utförda i den mindre och standardiserade apparaten för skjuvförsök, att jämföra med friktionsvinklar typiskt på cirka 40-60° från aktiva triaxialförsök (exempelvis O´Kelly, 2015; Den Haan & Feddema, 2013; Mesri & Ajlouni, 2007; Long, 2005). Det är också av vikt att starta skjuvningsfasen i triaxialförsöken vid in-situspänningar och i nuläget är kunskapen om horisontalspänningar (eller vilojordtryckskoefficienten K_0) i torv begränsad. Ofta krävs stora töjningar, större än 15 % skjuvtöjningar, för att mobilisera maximal skjuvspänning. Enligt svensk standard definieras brott vid 0,15 radianer skjuvdeformation om inget toppvärde erhållits före dess. Direkta skjuvförsök är det försök som mest efterliknar en fältsituation, men endast då för specialfallet en plan (horisontell) glidyta där fiberorienteringen är huvudsakligen i planets (horisontellt) riktning. För bestämning av skjuvhållfasthet vid större töjningar då effekten av fibrer är eliminerad eller kraftigt reducerad kan ringskjuvapparat användas.

Vid odränerade triaxialförsök uppstår som regel vertikala sprickor vid brott och försöken kan inte utvärderas på normalt sätt. I dränerade försök erhålls inte brott.

I många fall kan det råda dränerade eller delvis dränerade förhållanden vid provning i fält av torv (vid högre permeabilitet) då det antas att odränerade förhållanden råder och en odränerad skjuvhållfasthet antas bestämmas, exempelvis genom vingförsök, vilket blir helt felaktigt. Detta kan vara en delförklaring till ofta relativt stor spridning i resultat hos olika metoder i fält för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet.

Vingförsöket har varit ifrågasatt länge och är fortfarande starkt ifrågasatt internationellt och i Sverige (Mesri & Aljouni, 2007; Long & Boylan, 2012). Traditionellt bestäms odränerad skjuvhållfasthet i torv med vingförsöket och med en antagen korrektionsfaktor på 0,5 (BVS 1585:002; Banverket, 1999). Detta är också internationell praxis och trots många försök har inget bättre tagits fram. Vid neddrivning av CPT sker inte brott i torv som i lera, det vill säga fel antaganden görs, vilket innebär att utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet inte är lämplig.

Direkta skjuvförsök har använts i Sverige för att bestämma odränerad skjuvhållfasthet hos torv och ett empiriskt underlag har tagits fram (Carlsten, 1997; Carlsten & Lindahl, 2000). Direkta skjuvförsök är det försök som av många forskare betraktas som mest relevant för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet i torv, men även för det försöket ska stor försiktighet råda vid nyttjande av utvärderad odränerad skjuvhållfasthet. Ju mer fibrer och desto mer fibrerna har en orientering som inte är horisontell desto mindre relevanta blir resultaten. Vidare fås normalt en ökad skjuvspänning med ökad skjuvtöjning, och långt över 0,15 radianers skjuvtöjning, och utvärderad skjuvhållfasthet beror på vald brottöjning och dess relevans kan ifrågasättas för stora töjningar.

Det finns exempel från Holland där den odränerade skjuvhållfastheten i torv varierar mellan 4-20 kPa beroende på vilket laboratorie- eller fältförsök som har utförts och hur tolkning av brott gjorts (Zwanenburg & Jardine, 2015). Det finns andra resultat som visar att odränerad skjuvhållfasthet utvärderad från direkta skjuvförsök ger relevanta värden när brott vid beräkningar motsvarat brott vid fullskaleförsök (Zwanenburg et al., 2012). De flesta metoder i fält kan dock användas för att studera och visa på att en ökning av odränerad skjuvhållfasthet har skett, exempelvis vid förbelastning, och visar ofta ungefär samma variation med djupet. Men stor försiktighet bör råda vid utvärdering och nyttjande av absoluta värden på odränerad skjuvhållfasthet från fältmetoder.

Skjuvhållfasthet i torv ökar med ökande effektivspänning (till följd av konsolidering) och också på grund av krypning i torven (vilket resulterar i att torven hamnar i en tätare lagring och fibrernas möjlighet att hålla ihop torven ökar), Carlsten & Lindahl (2000). Portalet är ett mått på hur tätt fibrerna är lagrade och portalet minskar med konsolideringen samtidigt som hållfastheten ökar.

Erfarenhetsvärden av förhållandet (kvoten) mellan odränerad skjuvhållfasthet och effektivspänning baserat på direkta skjuvförsök och förkonsolideringstryck är cirka 0,40-0,45 i Sverige (vilket bland annat nyttjats i vägprojektet RV50, Johansson et al., 2012), och då baserat på direkta skjuvförsök). Liknande värden på kvoten har presenterats internationellt (Mesri & Ajlouni, 2007; Boylan & Long, 2014). Eftersom torven normalt är normalkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad ligger förkonsolideringstrycket i de flesta fall under 5 kPa (Carlsten, 1988a). Torvens hållfasthetsökning vid belastning blir normalt högst närmast bankens underkant, medan den blir lägre på större djup (i analogi med uppfattningen om största deformationer överst och små deformationer nederst i torvlager).

5.1.5 Stabilitetsanalyser av bankar

Analys av stabilitetsproblem för järnvägsbankar och andra bankar på torv är ett svårt problem (Carlsten & Lindahl, 2000). Beroende på brist på kunskap om brottmekanismer och typ av glidyta blir modelleringen av problemen svår om vi använder enklare beräkningsmodeller och för mer avancerade (FEM) beräkningsmodeller behöver brottmekanismer kunna verifieras. Vidare behövs kunskap avseende bestämning av parametrar för torv till mer avancerade materialmodeller som finns i FE-program.

Stabilitetsberäkningar av järnvägsbankar idag i Sverige (enligt BVS 1585:002, Banverket, 1999), bygger på värden på odränerad skjuvhållfasthet bestämd från direkta skjuvförsök i laboratoriet eller vingförsök i fält. Det finns etablerat empiriska samband mellan odränerad skjuvhållfasthet från vingförsök och förmultningsgrad. Med den osäkerhet som råder kring relevans av värden från vingförsök blir också beräkningsresultaten, det vill säga beräknade säkerhetsfaktorer också osäkra. De hållfasthetsvärden som antas för torven vid stabilitetsberäkningar är ofta avgörande för om förstärkning av en bank behövs eller inte.

Traditionella cirkulärcylindriska glidyteberäkningar i enbart torv är sannolikt inte relevanta. Erfarenheter är att vid skred sker ingen lyftning av en glidkropp eftersom bankmassorna tar den ”lättaste vägen”, vilket som regel tycks vara i torvlagrets underkant. Detta resulterar ibland i att sidourgrävningar väljs istället för tryckbankar.

Osäkerheter i befintliga beräkningsmodeller och tillhörande val av parametervärden innebär osäkerheter vid bedömningar av konsekvenser vid exempelvis höjning av axellaster på befintlig järnväg. Här är praktiska erfarenheter från tidigare objekt särskilt viktiga att nyttja och sannolikt sker en överdimensionerad förstärkning i många fall för att vara på säkra sidan.

5.1.6 Sättningar av bankar

Finns exempel på vägar då oväntat stora sättningar fortsatt att utvecklas även efter avlastning har utförts vid byggmetoden förbelastning med överlast på torvmark (Ånäs, 2015). Orsakerna kring detta bör utredas för att minska problemen med detta i framtiden. Vad utgörs av konsolideringssättningar respektive krypsättningar vid sättningar av bankar på torvmark? Hur mycket av lasten vid förbelastning ska plockas bort för att undvika eller minimera krypsättningar? En tumregel i organiska jordar är att det ska ske en avlastning som ger minst 20 % minskning i effektivspänning i underliggande jord. Kopplat till detta finns frågan hur stor överlast som ska appliceras och när ska den plockas bort, vilket borde undersökas vidare. Verifiering att effektivspänningar ökat och därmed hållfasthetsökning skett vid förbelastning, kan vara att studera portrycksändringar kombinerat med rörelsemätningar (deformationer), men resultaten är inte alltid entydiga.

Varför är portrycksavklingningen inte alltid så snabb som förväntat och ibland relativt långsam/liten jämfört med uppmätta deformationer (ex RV 50, Johansson et al., 2012)? Bidrar gasbildning ibland? Påverkar krypning portrycksutvecklingen, så att krypning skapar portrycksökning (liknande exempelvis som tankarna är kring sulfidjordar i Sverige och Finland) eller är det så att utrustningen för att mäta portryck inte fungerar?

Allmänna erfarenheter är att äldre höga järnvägsbankar (cirka 2-3 m) uppvisar relativt små eller inga pågående sättningar och en styvhet som är relativt hög (exempelvis Dehlbom, 2016). Detta beror sannolikt på att fyllningen under årens lopp trängt ned i torven ungefär motsvarande bankhöjden. Därmed erhålls dels en stor tyngd som har pressat ihop torven, vilket gett den ökad hållfasthet och styvhet. En stor ”fyllningsmassa” har skapats som är svårt att ”få i rörelse” vid tågpassage. Däremot kan låga bankar vara bristfälliga med avseende på styvhet och spårlägesfel. Orsaken till detta är troligtvis att fyllningen inte trängt ned i torven och den totala banktjockleken är för tunn. Det är samma sak med låga bankar som flyter på gamla rustbäddar.

5.1.7 Skred av bankar

”Torv är en snäll jordart bara man behandlar den väl”. Hur ofta har skred av bankar på torv inträffat i Sverige i samband med byggande och drift av infrastruktur? Det finns veterligen ingen statistik på detta men den allmänna uppfattningen bland svenska geotekniker tycks vara att det är sällsynt att det sker. Dock inträffade några skred i samband med byggandet av RV50 (Johansson, 2015), vilket sannolikt berodde på för stor lastpåläggning, man upptäckte inte de initiala sättningarna utan la på för stora massor. Det är därför bland annat viktigt att hålla koll på lagertjocklek (fyllningstjocklek) eftersom ofta stora initiala sättningar sker vid byggande (Johansson et al., 2012). Det finns också exempel på skred vid uppbyggnad av tryckbankar vid förstärkning av järnvägar, orsakad av för stor lastpåläggning och ofta i för snabb takt utan att sättningar har fått utvecklas mellan pålastningsstegen. Exempel finns där problem uppstått i byggskedet när vägen går i djup skärning i torvmark. Torven kom inglidande från sidan vilket sannolikt berodde på en glidning i underliggande vattenmättad silt och lera. Med användning av geotextil plus geonät eller en vävd geotextil med armeringsegenskaper vid utläggning av fyllning på torv håller fyllningen ihop. Det är som regel utförandefasen som är utmaningen att klara inte den slutliga konstruktionens tillstånd, avseende brott eller oväntat stora skjuvdeformationer. Boylan et al. (2008) föreslår en preliminär metodik för bedömning av stabilitet hos slänter med torv och pekar ut potentiella faktorer för att undvika att brott inträffar.

5.1.8 Deformationer eller brott i bankar

I Holland exempelvis har i stor utsträckning fokus varit på stabilitetsproblem i deras forskning kring torvmark kopplat mycket till vallar (dykes). De tittar mycket på bestämning av odränerad skjuvhållfasthet med olika metoder. I Sverige förefaller i första hand stora deformationer (och inte brott orsakande kollaps av bank) vara problemet vid byggande på torvmark. Fördelning av stora deformationer i vertikalled och horisontalled är till stora delar okänd. Det kanske är (stora) deformationer (och inte primärt brott) fortsatt FoU om torv i Sverige bör ska fokuseras på? Kanske i första hand effektiva hållfasthetsparametrar (effektiva friktionsvinkeln) och inte totala hållfasthetsparametrar (odränerad skjuvhållfasthet) som är viktigare att studera och få mer precision i? Om friktionsvinkeln överhuvudtaget ska användas som begrepp för torv med fibrer? Hur ska stabilitet beräknas på ett relevant sätt? Viktigt studera hur torv beter sig i olika spännings-töjningssituationer orsakad av bankar genom stora modellförsök i laboratoriet och fullskaleförsök i fält (och att utveckla materialmodeller som kan beskriva beteendet). Vid flera och stora belastningsförsök i Holland (med containrar) till brott har olika brottmönster identifierats och det har varit svårt att förklara observerade beteenden (Karstunen, 2015).

5.1.9 Undersökningsmetodik, mätningar och beräkningsmodeller

I många fall med byggande av vägbankar kan befintliga (enklare) metoder och modeller användas för undersökning och prognostisering av beteende (sättningar primärt), såsom gjordes exempelvis med RV50 (Johansson et al., 2012). Resultaten i det vägprojektet blev tillräckligt bra. Men för fall med nybyggnation av järnvägar och större högtrafikerade vägar och förstärkning av befintliga järnvägar finns behov av förbättrad undersökningsmetodik och lämpligare beräkningsmodeller. Detta för att bättre fånga torvs meka-

niska beteende, vilket inte görs i de enkla modellerna, och få bättre precision i prognostisering av bland annat sättningar och stabilitetsförhållanden.

Det är bra och viktigt med nya materialmodeller och det behövs en validering av modellerna mot högkvalitativa experimentella resultat, samt tas fram parametrar genom provning på ett relevant sätt till modellerna, vilket är en utmaning framöver.

Nuvarande undersökningsmetodik i Sverige omfattar sonderingar (exempelvis CPTu) och georadar för att undersöka torvlagers utbredning inklusive eventuell bank ovanför. Med CPTu kan egenskaper hos jordmaterial i andra lager utväderas, men inte torvjordens. ”Ostörd” provtagning av torv utförs i Sverige med torvprovtagare 100 mm diameter typ SGI och störd provtagning med exempelvis Hillerprovtagare.

Long & Boylan (2012) granskar fältmetoder för undersökning av torvs egenskaper och pekar ut några nya utvecklingar inom området. Resultaten av fältmetoder kan påverkas av delvis dränerade förhållanden och ge upphov till missvisande resultat, exempelvis vid utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet. Det är en fördel att använda flera mätmetoder för att bedöma rådande dräneringsförhållanden. Portrycksmätningar med CPTu och piezoball verkar lovande för att uppskatta förmultningsgrad i en jordprofil och möjligen för uppskattning av skjuvhållfasthet. Vingförsök ger som regel resultat som är missvisande. Standardiserade geotekniska fältförsök som provats i torv är som regel användbara först då de korrelerats mot lokal empiri. Geofysiska metoder, speciellt georadar, är användbara för att snabbt och ekonomiskt identifiera mäktigheter av torv.

5.1.10 Materialmodeller

Det finns behov av nya materialmodeller för att på ett relevant sätt beskriva torvs mekaniska egenskaper (spännings-töjningsegenskaper). Nya modeller är under utveckling på NTNU (Norge) och Deltares (Holland), där också inverkan av fibrer ska tas med i modellerna. Relevans av existerande avancerade konstitutiva modeller (som inte innehåller specifik modellering av fibrer) för att beskriva torvs beteende bör också undersökas.

5.2 Byggande och underhåll

5.2.1 Planering och uppföljning av byggmetoder

Det finns ett behov hos Trafikverket av en bättre planering av och en bättre uppföljning av resultaten av genomförda förstärkningsåtgärder av bankar på torvmark (och överhuvudtaget ett behov oavsett marktyp och byggmetod), speciellt för vägar, skapa en erfarenhetsbank. För järnvägar fungerar detta bättre och på ett mera strukturerat sätt. Vad är resultaten 1, 3, 5 och 10 år efter genomförda åtgärder? Vilka kontrollåtgärder och vilka kriterier ska användas för att bedöma tekniska funktionaliteten? Livslängdskostnader och miljöbelastning (LCA) bör också komma in i analysen av resultaten av en viss byggmetod. I de flesta fall baseras bedömningen av förstärkningsåtgärdens effekt på kortsiktiga och rent subjektiva bedömningar av konstruktionens egenskaper och funktionalitet. Det saknas långtidsuppföljning av projekt vad gäller sättningar, skador och underhållsåtgärder som exempelvis beläggningsbyten. Vid den nationella inventeringen i denna studie har försök gjorts att hitta information om långtidsuppföljningar av byggda/förstärkta vägar, vilket varit få exempel av.

5.2.2 Funktionalitet hos befintliga vägar och järnvägar

Det finns ett stort behov av att bättre kunna beskriva funktionalitet hos befintliga järnvägar. Nya krav avseende teknisk beskrivning är under utveckling hos Trafikverket, bland annat avseende redovisning av entreprenörers arbete och lösningar. Vad ska kontrolleras, när och hur åtgärda vid behov?

Viktigt med bra och samlad grafisk presentation av data med hjälp av moderna hjälpmedel (program), exempelvis ha med resultat av georadar. Detta exempelvis för att bedöma behov av åtgärder för befintliga järnvägar över torvmark som exempelvis järnvägsprojekt Hallsberg-Motala.

5.2.3 Långtidsegenskaper

Befintliga vägar och järnvägar som legat på torvmark, i vissa fall över hundra år, visar i allmänhet att långtidsegenskaperna avseende sättningar och stabilitet kan vara goda. Å andra sidan, längs många sträckor, till exempel Malmbanan söder om Gällivare, förekommer än idag rörelser i torven vilket innebär ett bristfälligt spårläge och behov av årliga underhållsåtgärder. Den allmänna erfarenheten är att hos befintliga bankar är tekniska egenskaper relativt bra för tjocka bankar och relativt dåliga för tunna bankar.

5.2.4 Miljöaspekter

En urgrävning av mosse är inte lämpligt ur miljösynpunkt eftersom den ”levande” mossen tar upp koldioxid. När torven grävs upp och läggs på deponi avger den i stället koldioxid till atmosfären.

I Storbritannien är det inte längre tillåtet att gräva ur torv. I Sverige har tidigare i allmänhet tillämpats att lägga torven bredvid då byggmetod urgrävning använts. Vid dränering av mossar finns risk för grundvattenytesänkningar och tillhörande oxidation av jorden ovanför grundvattenytan. Sannolikt kommer det inom en snar framtid att eftersträvas, av miljöskäl, att inte gräva ur torv. Det skapar utmaningar att hitta byggmetoder vid nybyggnation av vägar och förstärkning av befintliga vägar och järnvägar. Är det möjligt att också välja att inte gräva ur vid nybyggnation av järnvägar? Förbelastning som metod vid nybyggnation av högtrafikerade vägar?

5.3 För- och nackdelar med olika byggmetoder

I detta avsnitt sammanfattas i tabellform för- och nackdelar med olika byggmetoder på torvmark. *Notera att rekommendationerna i tabellerna är generellt rådgivande och att bedömningar av deras relevans för tillämpning i enskilda objekt alltid ska göras*. I tabellerna, **Tabell 5.1** till **Tabell 5.13**, beskrivs:

- Fördelar med metoden.
- Nackdelar med metoden.
- Risker: Att speciellt tänka på.
- Konstruktion, användbarhet: bedömning av lämplighet, 5 plus är max(imal) lämplighet och 0 plus är min(imal), för aktuell byggmetod för lågtrafikerade vägar, högtrafikerade vägar, järnvägar och indelat i nybyggnation respektive förstärkning av befintlig konstruktion.

Informationen i tabellerna är till delar hämtad från Munro (2005) och kompletterad med erfarenheter i denna studie. Det bör också noteras att ekonomiska aspekter och miljöaspekter är viktiga faktorer som vägs in vid slutliga valet av byggmetod (se Kapitel 4).

Tabell 5.1 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden förbelastning med överlast (stegvis pålastning).

Förbelastning – Med överlast (stegvis pålastning)	
Fördelar	Urgrävning och deponering undviks. Bärförmågan hos torven förbättras. Bankar kan byggas utan skjuvbrott i torven. Primär konsolidering och krypdeformationer tas ut till största delen.
Nackdelar	Tillräcklig tid måste finnas för att genomföra metoden. Sättningar och hållfasthetsökningar måste hinna utbildas. Fyllnadsmassor kan behövas i tidigt skede och behöva hanteras två gånger. Kan kräva omfattande fältundersökningar och laboratorieförsök före arbetet utförs (vilket kan vara en fördel också!) och mätsystem för att verifiera att önskade sättningar utvecklas.
Risker	Omgivningspåverkan i form av till exempel hävning av mossen på sidan av vägen. Bärförmåga under byggnation, alltför snabb upplastning vilket medför brott i jorden och dåligt slutresultat. Oerfaren entreprenör.
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: +++ Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: ++++ Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: ++ Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: ++ Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): ++ Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0
Övrigt	Om man tillämpar förbelastning bör kravet vara att i förväg bestämda parametrar (exempelvis hållfasthet, sättningsmoduler och styvhet), kopplade till funktionella krav, ska uppnås i torven under banken efter att åtgärden utförts.

Tabell 5.2 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden förbelastning med vertikaldräner (stegvis pålastning).

Förbelastning – Med vertikaldräner (stegvis pålastning)	
Fördelar	Reducering av tid för primär konsolidering och krypdeformationer.
Nackdelar	Påskyndande av primär konsolidering och krypdeformationer leder till stora sättningar under byggskedet. Dränernas funktion påverkas av stora deformationer.
Risker	Ändrar existerande dräneringsvägar. Belastning av torvområden. Bärförmåga under byggnation.
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: 0 Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: + Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0
Övrigt	Vertikaldräner används normalt inte i torv, men kan användas då också dränering i underlag-rande lera ska påskyndas.

Tabell 5.3 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden lastanpassning med tryckbankar (stegvis pålastning).

Lastanpassning – Tryckbankar (stegvis pålastning)	
Fördelar	Förbättrar stabiliteten (eventuellt marginellt). Låga krav på fyllnadsmassor. Kan utföras med pågående trafik. Ett sätt att disponera överskottsmassor.
Nackdelar	Kräver fyllnadsmassor och större markområden i anspråk (väg- och järnvägsområde). Ökar vikten av banken. Sättningar av banken kan öka till följd av lasttillskott. För befintliga bankar kan tryckbankarna orsaka sättningar i den befintliga banken.
Risker	Omgivningspåverkan i form av till exempel hävning av mossen på sidan av tryckbank. Bärförmåga under byggnation, alltför snabb upplastning kan medföra brott i jorden och dåligt slutresultat. Oerfaren entreprenör
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: + Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: +++ Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: + Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: + Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: + Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): ++ Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0 Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: +++
Övrigt	Flacka ut slänter innebär samma effekter som vid etablering av tryckbankar. Tryckbankar för befintliga bankar beräknade med befintlig beräkningspraxis ger ofta tveksamma förstärkningskonstruktioner.

Tabell 5.4 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden lastanpassning genom profiländring (sänka profilen).

Lastanpassning – Profiländring (sänka profilen)	
Fördelar	Minskar behov av fyllnadsmassor. Minskar belastningen på torven. Reducerar behovet av mark.
Nackdelar	Kräver modifiering av tidigare profil. Kan vara problematiskt då det finns broar och omgivande vattennivåer att ta hänsyn till. Bärförmåga hos banken kan bli problematisk. Svårighet att utföra med pågående trafik. Går inte att utföra på för låga bankar.
Risker	Bärighetsproblem (så kallad gungfly).
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: *beaktas i projekteringen* Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: + Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: *beaktas i projekteringen* Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: *beaktas i projekteringen* Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0 Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: 0
Övrigt	

Tabell 5.5 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden lastanpassning med lättviktsmaterial.

Lastanpassning – Lättviktsmaterial	
Fördelar	Normalt behöver inte underliggande torv förstärkas. En lättare bank innebär mindre förväntade framtida sättningar.
Nackdelar	Kostnader för tillverkning och transport av lättviktsmaterial. Dimensionering och utläggning av material kan innebära speciella insatser. Viktigt beakta inverkan av omgivande grundvatten. Bärförmåga hos lättviktsmaterialet kan vara begränsad.
Risker	Svårighet att placera lättviktsmaterial under grundvattenytan. Bärförmåga, krävs lastfördelande lager ovanpå.
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: 0 Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: + Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: (+) Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: + Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0 Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: 0
Övrigt	En variant är urgrävning av tyngre material och ersättning med lättviktsmaterial och på så sätt att tillräcklig avlastning uppnås så att tidskrävande överlast inte behövs. Lastanpassning är huvudsakligen lämpligt för lågtrafikerade vägar och mera tveksamt för högtrafikerade vägar. För en befintlig bank som exempelvis ska höjas och befintlig banktjocklek under mark är relativt stor (det vill säga så att man inte får bärighetsproblem) är det en bra metod. För nybyggnad är det inte en metod att rekommendera.

Tabell 5.6 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden armering med geotextilier och nätarmering.

Armering – Geotextilier och nätarmering	
Fördelar	Begränsad omgivningspåverkan. Enkel att installera. Förstärkning för basen på banken ur kortare och medellångt perspektiv. Ökar stabiliteten. Kan reducera differentialsättningar och skjuvspänningar. Minskar behov av fyllnadsmaterial. Ingen urgrävning, deponering och anspråk av mark för förvaring av massor. Geoarmering minskar risken avsevärt för bärighetsbrott under byggskedet.
Nackdelar	Sättningar reduceras inte. Geotextil/nätarmering kan skadas av maskiner vid byggande. Krypning kan påverka funktionaliteten hos geotextilier i ett långtidsperspektiv. Användning av nätarmering kan kräva fyllnadsmaterial av högre kvalitet för att uppnå samverkan. Svårt att utföra med pågående trafik.
Risker	Bärighetsproblem (gungfly).
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: 0 Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: +++ Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: (+) Högtrafikerad väg nybyggnad: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: + Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0 Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: 0
Övrigt	

Tabell 5.7 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden armering med rustbädd av timmer.

Armering – Rustbädd av timmer	
Fördelar	Begränsad omgivningspåverkan. Enkel att installera. Förstärkning för basen på banken ur kortare och medellångt perspektiv. Ökar stabiliteten. Kan reducera differentialsättningar och skjuvspänningar. Minskar behov av fyllnadsmaterial. Ingen urgrävning, deponering och anspråk av mark för förvaring av massor.
Nackdelar	Sättningar reduceras inte. Kan skadas av maskiner vid byggande. Kräver en del mantimmar för att sätta ihop timmer till en rustbädd. Ska placeras under grundvattenytan (beständighet).
Risker	Bärighetsproblem (gungfly).
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: 0 Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: + Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0 Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: 0
Övrigt	Använt och används bland annat i Storbritannien. Möjligen användbart på gc-vägar i Sverige.

Tabell 5.8 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden betongplatta/betongflotte med skumbetong.

Betongplatta/betongflotte – Skumbetong en modern variant	
Fördelar	Normalt behöver inte underliggande torv förstärkas. En lättare bank innebär mindre förväntade framtida sättningar. Ger en styv konstruktion under lång tid. Ökar stabiliteten. Reducerar differentialsättningar och skjuvspänningar. Minimerar behov av fyllnadsmaterial. Ingen urgrävning, deponering och behov av mark för förvaring av massor.
Nackdelar	Sättningar reduceras inte. Härdningstid för betong. Kräver en del mantimmar för att montera träpålarna till en flotte.
Risker	Bärförmåga, krävs lastfördelande lager ovanpå.
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: 0 Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: + Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: (+) Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: + Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0 Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: 0
Övrigt	

Tabell 5.9 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden djupstabilisering genom masstabilisering.

Djupstabilisering - Masstabilisering	
Fördelar	Ingen urgrävning, deponering och behov av mark för förvaring av massor. Reducerar sättningar och ökar bärförmågan i torv. Mindre krav på fyllnadsmassor jämfört med andra förbelastnings-tekniker. Kan vara lämpligt för vägar med höga krav avseende differentialsättningar och bärför-måga och när det är lös lera under torv.
Nackdelar	Tiden för förbelastning kan vara längre än vad som är tillgänglig för byggnation. Massor för överlast kan behöva tillföras tidigare och också tas om hand två gånger. Ett system behövs för mätningar av konsolideringar och sättningar för att säkra att erforderliga sättningar uppnås. Ofta kostsamt.
Risker	Stabiliseringsarbetet. Omgivningspåverkan. Belastning av torvområden. Bärförmåga.
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: ++ Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: + Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: + Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): ++ Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0 Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: ++
Övrigt	

Tabell 5.10 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden pålning med betongpålar.

Pålning – Betongpålar	
Fördelar	Ingen urgrävning, deponering och behov av mark för förvaring av massor. Begränsad omgiv-ningspåverkan. Minimala sättningar. Ingen extra tid för överlaster.
Nackdelar	Antas ingen samverkan med omgivande torv. Behövs normalt en kontinuerlig betongplatta eller geonät för lastöverföring. Kostsamt, typ bro/påldäck.
Risker	Pålningsarbeten. Vibrationer. Annan omgivningspåverkan. Detaljerad dimensionering.
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: (+) Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: + Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: + Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0 Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: 0
Övrigt	Används vid extrema krav på små eller inga sättningar, ex i anslutning till bro, vid höga bankar på torv eller för järnvägbankar för höghastighetståg.

Tabell 5.11 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden massutskiftning genom urgrävning och återfyllning.

Massutskiftning – Urgrävning och återfyllning	
Fördelar	Beprövad teknik. Bra bärförmåga. Begränsade sättningar under livslängd. Sparar tid eftersom förbelastning undviks. Kan använda jord- och bergmassor i linjen.
Nackdelar	Stora överskottsmassor skapas. Ytor krävs för omhändertagande av massor. Utmaningar att gräva och återfylla under grundvattenytan, och vad som är fast botten (silt). Kräver normalt hög kvalitet på återfyllnadsmaterial. Djupa urgrävningar kan resultera i omgivningspåverkan (grundvatten, intilliggande konstruktioner). Eventuell underliggande finkornig jord kan ge upphov till långtidssättningar.
Risker	Omgivningspåverkan. Eventuell kvarvarande torv. Fast botten (silt). Påverkan på befintlig konstruktion (sättningar, tillfälligt försämrad stabilitet).
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: +++++ Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: +++++ Högtrafikerad väg nybyggnad: +++++ Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: +++++ Järnväg nybyggnad: +++++ Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): +++++ Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: (+)
Övrigt	

Tabell 5.12 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden massutskiftning genom stödbensurgrävning.

Massutskiftning – Stödbensurgrävning	
Fördelar	Ökar stabiliteten, men inte bärförmågan och reducerar sättningar delvis. Möjlig metod i järnväg men inte den bästa. En lämplig metod för befintliga järnvägar och vägar om man vill förbättra stabiliteten och tjockleken hos torvlagret är liten. Stödbensurgrävning kombineras med en liten tryckbank.
Nackdelar	Utmaningar att gräva och återfylla under grundvattenytan, och vad som är fast botten (silt). Kräver normalt hög kvalitet på återfyllnadsmaterial. Djupa urgrävningar kan resultera i omgivningspåverkan (grundvatten, intilliggande konstruktioner). Mindre lämpligt för vägar eftersom avvattning fungerar sämre. Tveksam i de flesta fall.
Risker	Omgivningspåverkan. Eventuell kvarvarande torv. Fast botten (silt). Påverkan på befintlig konstruktion (sättningar, tillfälligt försämrad stabilitet).
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: 0 Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: (+) Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): ++ Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0 Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: ++
Övrigt	Partiell urgrävning i kombination med överlast är en metod som har potential att kunna användas (mer). Urgrävning till fast botten (med begränsad bredd, ”ett lås”) kan fungera som stabilitetshöjande åtgärd vid befintliga slänter med otillfredsställande stabilitet.

Tabell 5.13 För- och nackdelar på torvmark med byggmetoden massutskiftning genom undanpressning.

Massutskiftning – Undanpressning	
Fördelar	Beprövad teknik. Förväntad bra bärförmåga. Torv pressad åt sidorna av banken kan öka bankens stabilitet. Lämplig för höga bankar.
Nackdelar	Passar bättre för högförmultnad torv, dy och gyttja. Fiberrik torv kan vara svår att pressa undan och normalt grävs den bort innan nedpressning. Kräver stora mängder fyllnadsmassor. Kräver längre byggtid för att få undanträngning och överlast att verka effektivt. Kräver normalt hög kvalitet på fyllningsmaterial, stora block. Blir torvfickor kvar uppstår konsolidering och ojämna sättningar, visserligen begränsade. Nedpressad torv kan ge upphov till hävning på omgivningen. Breda bankar kan kräva enorma mängder fyllningsmassor. Kan påverka befintliga rör och trummor.
Risker	Urgrävning i torvområde. Omgivningspåverkan. Effekt inte helt förutsägbar, eventuell kvarvarande torv.
Konstruktion, användbarhet	Lågtrafikerad väg nybyggnad: + Lågtrafikerad väg (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Lågtrafikerad väg (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg nybyggnad: + Högtrafikerad väg ombyggnad (flytande) ombyggnad/breddning: 0 Högtrafikerad väg ombyggnad (urgrävd) ombyggnad/breddning: 0 Järnväg nybyggnad: 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (flytande): 0 Järnväg anläggning av dubbelspår intill (urgrävning): 0 Järnväg stabilitetshöjande åtgärd: 0
Övrigt	En nedpressning är svår att prognosticera det vill säga man vet ofta inte hur banken och eventuell underliggande torv har förflyttats och deformerats efter att åtgärden genomförts.

5.4 Byggmetoder vägar – rekommendationer

Från Roadex-projektet (Munro, 2005), har för lågtrafikerade vägar på torv rekommendationer getts för byggmetoder. I nedan punktlista har dessa rekommendationer kompletterats med en bedömning av om metoden i Sverige huvudsakligen är tillämpbar för lågtrafikerade vägar eller högtrafikerade vägar eller både och (anges inom parentes):

• *Urgrävning* och *återfyllning* betraktas som den mest tillförlitliga metoden som är tillgänglig idag, speciellt för större vägar (Högtrafikerade vägar).

• *Undanpressning* och *partiell urgrävning* används fortfarande men minskar alltmer i takt med att andra nya metoder blir ekonomiskt fördelaktigare (Högtrafikerade vägar).

• Metoder som går ut på att låta torven vara *kvar på plats* används då:
- *Urgrävning* och *återfyllning* blir för dyra och *undanpressning* inte anses genomförbar (Lågtrafikerade vägar).
- *Förbelastning* är en accepterad byggmetod för förstärkning av bärförmågan och utförs normalt med *stegvis belastning*. Tillämpas som regel i kombination med *överlast* och anses vara den enklaste och mest kostnadseffektiva metoden för att påskynda sättningarna. Förbelastning kombinerad med överlast och stegvis pålastning kräver längre byggtid än övriga metoder vilket gör att den ofta väljs bort för större vägar (Lågtrafikerade och Högtrafikerade vägar).

• *Vertikaldränering* används i allmänhet inte för torv om inte jordlagerföljden innehåller lager med lägre permeabilitet (Högtrafikerade vägar).

• Stabilitet hos bankar på torvmark kan (sannolikt) förbättras genom att etablera *tryckbankar* eller genom att göra *slänter flackare* (Lågtrafikerade och högtrafikerade vägar).

• *Pålning* anses generellt som för dyr och används bara då sättningskraven är höga exempelvis i anslutning till broar (Högtrafikerade vägar).

• *Armering* (vävda geotextiler, geonät, stålarmering med mera) av olika slag används alltmer, speciellt vid underhåll och förstärkning av befintliga vägar (Lågtrafikerade vägar).

• *Avlastning* med exempelvis *lättviktsmaterial* används frekvent som byggmetod på torv, i syfte att minska problem med stabilitet hos bank och dämpa sättningar. Metoden nyttjas bäst då den kombineras med *överlast* eller i samband med *avlastning* (Lågtrafikerade vägar, ev. högtrafikerade vägar).

6. Slutsatser och rekommendationer

6.1 Slutsatser och rekommendationer

Byggmetoder

Det finns byggmetoder som används och fungerar väl för såväl nybyggnation som förstärkning av vägar och järnvägar på torvmark. De beräkningsmetoder och -modeller som används för att dimensionera åtgärder i torvmark bygger huvudsakligen på sådana som utvecklats för finkornig mineraljord. Det finns således ett behov av att utveckla relevanta metoder för bestämning av materialparametrar och relevanta beräkningsmodeller för torv. Baserat på tidigare erfarenheter av byggande fungerar i allmänhet de använda byggmetoderna bra, men sannolikt sker i vissa fall antingen en kostsam överdimensionering eller skapas onödigt stora underhållsåtgärder under många efterföljande år. Med nya kunskaper avseende egenskaper, metoder och modeller för torv finns stora möjligheter att kunna effektivisera valet av byggmetod och tillhörande dimensionering.

Baserat på dokumenterad information och i synnerhet intervjuer med geotekniker i Sverige har ofta uttryckts att en byggmetod har ”fungerat bra” för ett visst väg- eller järnvägsobjekt. Detta konstaterande är dock som regel inte baserat på långtidsmätningar av teknisk funktionalitet, inte heller statistik för underhållsåtgärder före och efter en förstärkningsåtgärd, utan i bästa fall på en okulär besiktning några år efter färdigställande. Detta innebär att det är som regel är svårt att verifiera att en byggmetod tekniskt har fungerat tillfredställande.

Många olika byggmetoder har använts de senaste cirka 15 åren, med bedömda goda resultat, för förstärkning och nybyggnation av vägar på torvmark i Sverige och valet av metod baseras bland annat på traditioner och tidigare erfarenheter inom aktuell region. Metoder som använts för vägar är huvudsakligen förbelastning (med överlast), lastanpassning (lättviktsmaterial, profiländring, tryckbankar), armering (vävd geotextil, geonät), stabilisering (masstabilisering) och massutskiftning (urgrävning och återfyllning, partiell urgrävning, undanpressning).

Valet av byggmetod för förstärkning av befintliga järnvägar i Sverige begränsas oftast av att trafiken ska vara igång på banan och åtgärden ska då utföras på tågfria tider (nätter och helger). Metodvalet innebär då ofta att åtgärden utförs bredvid banan snarare än i banan. Huvudsakligen har befintliga banor förstärkts med tryckbankar, men även massutskiftning (fullständig urgrävning) och stödbensurgrävning förekommer. Även andra metoder som pålning, spont och masstabilisering har använts. Vid nybyggnation av järnvägar är normal praxis att torven grävs bort och ersätts med friktionsmaterial.

Förbelastning med överlast är den byggmetod i Sverige som har den mest utvecklade och relevanta metodiken för undersökningar och dimensionering avseende torvmark och vars funktionalitet för vägar verifierats relativt väl.

Det finns några föredömliga redovisningar av nationella objekt och tillhörande erfarenheter, exempelvis Riksväg 50 Mjölby-Motala, Riksväg 44 Uddevalla-Trollhättan, Väg 296 Kårböle-Z länsgräns och Väg 73 Dalarövägen.

I Kapitel 3 ges exempel på goda erfarenheter av byggmetoder för nationella vägobjekt. I Avsnitt 5.3 finns sammanställt i tabeller för- och nackdelar med olika byggmetoder för vägar och järnvägar på torvmark. Rekommendationer för byggmetoder för vägar på torvmark ges i Avsnitt 5.4.

Pågående projekt med bärighetsåtgärder för bandelen Håksberg-Frövi respektive utbyggnad av dubbelspår mellan Hallsberg och Degerön kommer att ge erfarenheter avseende byggande på torvmark. För

dessa två järnvägsprojekt finns planer på att utföra ett uppföljningsprojekt/demonstrationsprojekt som kan fungera som erfarenhetsåterföring inför likartade projekt vid andra banor i Sverige.

Inom EU-projektet Roadex under 2000-talet togs fram ett omfattande material avseende byggande och underhåll av lågtrafikerade vägar på torv, vilket bland annat mynnade ut i en manual och ett antal redovisade vägobjekt från de olika deltagande länderna med kort beskrivning av använd byggmetod. Vidare ges i ROADEX bland annat ett rekommenderat minimum av åtgärder för undersökningar (fältundersökningar och laboratorieförsök, riskbedömningar och mätningar).

Relativt många dokumenterade nationella (svenska) infrastrukturobjekt har kunnat identifieras. Det har varit svårt att hitta motsvarande dokumenterade internationella objekt, trots sökning i databaser, på internet och via personliga förfrågningar till över 20-talet kontakter i sju länder. Ett viktigt undantag är EU-projektet Roadex där ett omfattande arbete har utförts avseende byggmetoder för lågtrafikerade vägar på torv. Däremot finns en del internationellt arbete utfört och rapporterat de senaste 15 åren inom forskningen innehållande delar av det som omfattas av ”erfarenheter från byggmetoder på torvmark” (se Kapitel 4 och 5 i denna rapport).

Erfarenhetsåterkoppling

Det är viktigt att dra nytta av de erfarenheter som redan finns vid genomförande av nya infrastrukturprojekt på torvmark, exempelvis genom att i tidigt skede ta del av kunskap från erfarna geotekniker som varit med i tidigare motsvarande projekt.

Osäkerheter i befintliga beräkningsmodeller för stabilitet och tillhörande val av parametervärden innebär osäkerheter vid bedömningar av konsekvenser vid exempelvis höjning av axellaster på befintlig järnväg. Här är praktiska erfarenheter från tidigare projekt särskilt viktiga att nyttja och sannolikt sker en överdimensionerad förstärkning i många fall för att vara på säkra sidan.

För bedömning av stabilitet och bärförmåga för en järnvägsbank före och eventuellt efter förstärkning av underliggande torvmark krävs en erfaren geotekniker som också har stor erfarenhet av järnvägskonstruktioner. Befintliga modeller för att räkna på stabilitet och bärförmåga ger en grov skattning av förhållandena, varför erfarenhet av bankars funktionalitet i praktiken är mycket viktig.

Långtidsuppföljningar

Det saknas generellt långtidsuppföljningar av projekt vad gäller sättningar, skador och underhållsåtgärder som exempelvis beläggningsbyten och spårjusteringar. Vid den nationella inventeringen har försök gjorts att hitta information om långtidsuppföljningar av byggda/uppgraderade vägar och järnvägar, vilket varit få exempel på. Det är något bättre uppföljning på järnvägssidan. Det behövs bättre planering och uppföljning av resultaten av nybyggnation och underhåll av vägar och järnvägar på torvmark (och annan mark) för att faktiskt verifiera satta funktionskrav och för erfarenhetsåterföring. Mer planerade mätningar och mer användbar information som dokumenteras.

Skadeorsaker

Tillräckliga resurser bör alltid avsättas för att söka orsakerna till problemen med skadade vägavsnitt. Kostnaden för undersökning, analys och urval kan normalt vara 2-4 % av projektets totala kostnad, väl investerade medel för att hitta långsiktiga varaktiga lösningar. All data som samlas in är inte bara en investering för design och reparation av vägen, utan också för prognostisering av framtida underhållsbehov för nedbrytning av den färdiga konstruktionen.

Skred

De skred av bankar och tryckbankar som inträffat på torv har i Sverige inträffat nästan uteslutande i samband med byggande och då som regel orsakade av felaktig pålastning, det vill säga för stor last har lagts på utan att portrycksutjämning och sättningar hunnit ske. Det är därför bland annat viktigt att hålla koll på lagertjocklek (fyllningstjocklek) eftersom ofta stora initiala sättningar sker vid byggande. Det är som regel utförandefasen som är utmaningen att klara inte den slutliga konstruktionens tillstånd, avseende brott eller oväntat stora skjuvdeformationer.

Stabilitetsanalyser

För att optimera dimensioneringen av en bank med avseende på stabilitetsförhållanden är det av yttersta vikt att relevanta värden på hållfasthetsparametrar och att relevant brottmekanism tillämpas vid stabilitetsberäkningar. Med ökad tillförlitlighet till beräknad stabilitet kan det i förekommande fall undvikas att långa sträckor förstärks ”i onödan” eller motsatsen att förstärkning i erforderlig omfattning inte genomförs vid en överskattning av stabiliteten. Tillförlitligare bestämning av hållfasthetsparametrar och relevanta modeller för stabilitetsberäkningar behöver utvecklas.

Analys av stabilitetsproblem för järnvägsbankar och andra bankar på torv är ett svårt problem. Beroende på brist på kunskap om brottmekanismer och typ av glidyta blir modelleringen av problemen svår oavsett om vi använder enklare eller mer avancerade (FEM) beräkningsmodeller. Vidare behövs kunskap avseende bestämning av parametrar för torv till mer avancerade materialmodeller som finns i FE-program.

Stabilitetsberäkningar av bankar idag i Sverige, bygger på värden på odränerad skjuvhållfasthet bestämd från direkta skjuvförsök i laboratoriet eller vingförsök i fält. Det finns etablerat empiriska samband mellan odränerad skjuvhållfasthet från vingförsök och förmultningsgrad. Med den osäkerhet som råder kring relevans av värden från vingförsök blir också beräkningsresultaten, det vill säga beräknade säkerhetsfaktorer också osäkra.

Långtidsegenskaper

Befintliga vägar och järnvägar som legat på torvmark, i vissa fall över hundra år, visar i allmänhet att långtidsegenskaperna avseende sättningar och stabilitet kan vara goda. Å andra sidan, längs en del järnvägssträckor förekommer än idag rörelser i torven vilket innebär ett bristfälligt spårläge och behov av årliga underhållsåtgärder.

Sättningsprognostisering

Med den modell vi har i Sverige, som bygger på lerors beteende, förutsägs totala sättningar relativt väl avseende storleksordning och tidsförlopp vid förbelastning av bankar, vilket i allmänhet är tillräckligt bra för praktisk tillämpning. Men kompressionen varierar på ett annat sätt än för lera under en bank, vilket innebär att modellen inte beskriver den fysikaliska verkligheten för torv. Hela deformationsförloppet, vertikalt som horisontellt behöver utredas, vilket lämpligen görs genom modellförsök i laboratorium och fullskaleförsök i fält. Relevansen hos existerande undersökningsmetodik och konsoliderings- och sättningsanalyser behöver analyseras och utvärderas. Det är viktigt att koppla detta till uttestning av materialmodeller och att egenskaper som töjningsberoende deformationer och ändringar i permeabilitet beaktas.

Fält- och laboratoriemetoder

Torv uppvisar anisotropa egenskaper och beteenden, och i synnerhet torv med fibrer. Beroende på typ av belastning, exempelvis aktiv skjuvning, passiv skjuvning eller direkt skjuvning, fås olika spänningstöjningssamband och olika hållfastheter (friktionsvinkel, odränerad skjuvhållfasthet). Det är därför viktigt

att experimentella försök efterliknar aktuella belastningsförhållanden i fält så väl som möjligt för att nyttjande av resultat och utvärdering av parametrar ska vara meningsfullt. Här finns en utvecklingspotential avseende förbättrad provning under såväl odränerade som dränerade förhållanden.

Bestämning av friktionsvinkel och odränerad skjuvhållfasthet

Hur en friktionsvinkel som är relevant för torv, speciellt fiberrik torv, bör bestämmas har diskuterats flitigt i forskarvärlden de senaste åren. Frågan har ställts om friktionsvinkel alls ska användas som begrepp för att beskriva hållfasthet? Kopplingen mellan brott vid laboratorieförsök och vid fältförsök är inte klarlagd. Sannolikt behövs ett nytt teoretiskt ramverk tas fram för att förklara och förutsäga hållfasthet hos torv tillsammans med utvecklingen av ny försöksutrustning för bestämning av bland annat friktionsvinkel.

Ofta krävs stora töjningar, betydligt större än 15 % skjuvtöjningar, för att mobilisera maximal skjuvspänning vid dränerade försök. Direkta skjuvförsök är det försök som mest efterliknar en fältsituation, men endast då för specialfallet en plan (horisontell) glidyta och dessutom för fallet att fiberorienteringen är huvudsakligen i planets (horisontellt) riktning, vilket är svårt att veta. För bestämning av skjuvhållfasthet vid större töjningar då effekten av fibrer är eliminerad eller kraftigt reducerad kan ringskjuvapparat användas.

Vid odränerade triaxialförsök uppstår som regel vertikala sprickor vid brott och dessa kan inte utvärderas på normalt sätt och i dränerade triaxialförsök erhålls inte brott.

Vingförsöket har varit ifrågasatt länge och är fortfarande starkt ifrågasatt internationellt och i Sverige som försöksmetod i torv. Traditionellt bestäms odränerad skjuvhållfasthet i torv med vingförsöket och med en antagen korrektionsfaktor på 0,5. Detta är också internationell praxis och trots många försök har inget bättre tagits fram. Vid neddrivning av CPT sker inte brott i torv som i lera, det vill säga fel antaganden görs, vilket innebär att utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet inte är lämpligt.

Direkta skjuvförsök har använts i Sverige för att bestämma odränerad skjuvhållfasthet hos torv och ett empiriskt underlag har tagits fram hos SGI. Direkta skjuvförsök är det försök som betraktas som mest relevant för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet i torv, men även för det försöket ska stor försiktighet gälla vid nyttjande av utvärderad odränerad skjuvhållfasthet. Ju mer fibrer och desto mer fibrerna har en orientering som inte är horisontell desto mindre relevanta blir resultaten. Vidare fås normalt en ökad skjuvspänning med ökad skjuvtöjning, och långt över 0,15 radianers skjuvtöjning, och utvärderad skjuvhållfasthet beror på vald brottöjning och dess relevans kan ifrågasättas för stora töjningar.

Metoder i fält kan användas för att studera och visa på att en ökning av odränerad skjuvhållfasthet har skett, exempelvis vid förbelastning, och visar ofta ungefär samma variation med djupet. Men stor försiktighet bör råda vid utvärdering och nyttjande av absoluta värden på odränerad skjuvhållfasthet från fältmetoder.

Erfarenhetsvärden av förhållandet (kvoten) mellan odränerad skjuvhållfasthet baserat på direkta skjuvförsök och förkonsolideringstryck är cirka 0,40-0,45 i Sverige. Liknande värden på kvoten har presenterats internationellt. Eftersom torven normalt är normalkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad ligger förkonsolideringstrycket i de flesta fall under 5 kPa.

I många fall kan det råda dränerade eller delvis dränerade förhållanden vid provning i fält av torv då det antas att odränerade förhållanden råder och en odränerad skjuvhållfasthet antas bestämmas, exempelvis genom vingförsök, vilket blir helt felaktigt. Detta kan vara en delförklaring till ofta relativt stor spridning i resultat hos olika metoder i fält för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet.

Klassificering

I Sverige finns ett relativt bra system för klassificering av torv, vilket skulle kunna vidareutvecklas och förfinas. En utveckling i klassificering av torv skulle kunna vara att tydligare beskriva såväl den ”homogena” delen i torv som fibrerna samt att ännu mer koppla egenskaper till förmultningsgrad.

Deformationsmekanismer

För att kunna klargöra hur ansträngd (deformerad) torven är under befintliga bankar och för att kunna dimensionera förstärkningsåtgärder på ett relevant sätt för dessa bankar krävs att deformations- och brottmekanismer i torv klargörs genom forsknings- och utvecklingsinsatser.

Teoretiska modeller

Ett helt nytt teoretiskt ramverk skulle behöva tas fram för att på ett bättre sätt beskriva torvs mekaniska egenskaper. Detta beroende på att befintliga teorier som tillämpas för torv är utvecklade för finkorniga jordar som saknar fibrer.

Det behöver utvecklas nya teoretiska materialmodeller specifikt för att beskriva torvs mekaniska egenskaper där även fibrer kan tas med. Förslag till nya materialmodeller för torv arbetas det med på NTNU och Deltares. Relevansen hos existerande avancerade konstitutiva modeller (som inte innehåller specifik modellering av fibrer) för att beskriva torvs beteende bör också undersökas.

Miljöhänsyn

I Storbritannien är det i princip inte längre tillåtet att gräva ur torv. I Sverige har tidigare i allmänhet tillämpats att lägga torven bredvid konstruktionen som byggs då byggmetod urgrävning använts. Möjligen kommer det senare i Sverige att eftersträvas, av miljö- och klimatskäl, att inte gräva ur torv.

Det huvudsakliga problemet i alla frågor som rör torv är hantering och skydd av den lokala hydrologin, och speciellt vattnets rörelse i och över torven. Betydelsen och inverkan av torvmarksvatten under och efter konstruktion kan inte nog betonas. Misslyckande med att hantera detta kan leda till allvarliga problem. Utöver bedömning av miljöpåverkan finns det nu också ett växande krav på geoteknisk riskhantering för vägprojekt som involverar torv för att ytterligare skydda den ömtåliga torvmarksmiljön.

6.2 Fortsatt forskning och utveckling

De beräkningsmetoder och -modeller som används för att dimensionera åtgärder i torvmark bygger huvudsakligen på sådana som utvecklats för finkornig mineraljord, det vill säga jord som saknar fibrer. Det finns således ett behov av att utveckla relevanta metoder för bestämning av materialparametrar och relevanta beräkningsmodeller inklusive materialmodeller för torv.

Möjligen kommer det senare i Sverige att eftersträvas, av miljö- och klimatskäl, att begränsa urgrävning av torv. Det bidrar i så fall till utmaningar att hitta effektiva byggmetoder vid nybyggnation av vägar och förstärkning av befintliga vägar och järnvägar. Är det möjligt att också välja att inte gräva ur torv vid nybyggnation av järnvägar?

Förbelastning av torv för nybyggnation av järnväg kan vara intressant att studera, med bättre forsknings- och uppföljningsunderlag, genom förslagsvis modellförsök, laboratorieförsök, provbank och långtidsuppföljning av bankar.

Hur inverkar olika typer av jordprofiler i torvmark på geotekniken och i slutänden val av byggmetod och byggmetodens funktionalitet (långtidsuppföljning)?

För att öka stabiliteten vid uppgradering till högre laster på järnvägsbankar används tryckbankar. Inverkan på stabiliteten av tryckbankar på torvmark är till stora delar okänd, och därmed behovet av tryckbankar oklart. Hur fungerar lastöverföring och blir tillhörande deformationer på ett annat sätt i fiberrik torv kontra lerjord? Experimentella försök behöver utföras och teoretiska materialmodeller utvecklas.

Deformationsmönster hos torv vid belastning i fält och i laboratorium behöver utredas. För att kunna klargöra hur ansträngd (deformerad) torven är under befintliga bankar och för att kunna dimensionera förstärkningsåtgärder på ett relevant sätt för dessa bankar krävs att deformations- och brottmekanismer i torv klargörs. Hela deformationsförloppet, vertikalt som horisontellt behöver utredas genom modellförsök (laboratorieförsök i större skala för att ta hänsyn till inverkan av fibrer) i första hand och fullskaleförsök i fält i andra hand. Hur sker deformationerna vertikalt och horisontellt på olika djup under belastningen och för olika torvtyper? Kompressionen av torv varierar på ett annat sätt än för lera under en bank, vilket gör att modeller för leror inte beskriver den fysikaliska verkligheten för torv. Sambandet mellan torvtyp (förmultningsgrad huvudsakligen) och typ av deformationsmönster och brottmekanism under bankar behöver utredas. Teoretiska materialmodeller uttestas mot experimentella resultat.

Det är viktigt att dels studera deformationer i 1D (konsolidering och krypning) och dels i 2D (tillämpning bankar, förstärkning, exempelvis behov av tryckbankar?). Hur är deformationer lokaliserade? Deformations- och brottmekanismen under bankar behöver utredas. Sannolikt genom modellskaleförsök i laboratorium i första hand.

I Sverige förefaller i första hand stora deformationer (och inte brott motsvarande kollaps av bank) vara problemet vid byggande på torvmark, bortsett från själva byggskedet. Fördelning av stora deformationer i vertikalled och horisontalled är till stora delar okänd. Det kanske är stora deformationer och inte primärt brott fortsatt FoU om torv i Sverige bör fokuseras på? Är hållfasthet i torv ett praktiskt problem eller inte vid byggande och uppgradering av väg- och järnvägsbankar?

Finns exempel på vägar då oväntat stora sättningar fortsatt att utvecklas även efter att avlastning har utförts vid byggmetoden förbelastning med överlast på torvmark. Orsakerna kring detta bör utredas för att minska problemen i framtiden. Vad utgörs av konsolideringssättningar respektive krypsättningar vid sättningar av bankar på torvmark? Hur mycket av lasten vid förbelastning ska tas bort för att undvika eller minimera krypsättningar? En tumregel i organiska jordar är att det ska ske en avlastning som ger minst 20 % minskning i effektivspänning i underliggande jord. Kopplat till detta finns frågan hur stor överlast som ska appliceras och när ska den tas bort, vilket borde undersökas vidare. Verifiering att effektivspänningar ökat och därmed hållfasthetsökning skett vid förbelastning, kan vara att studera portrycksändringar kombinerat med rörelsemätningar (deformationer), men resultaten är inte alltid entydiga. Här bör också analyseras metoder i laboratoriet och fält för att bestämma kompressibilitet.

Varför är portrycksavklingningen inte alltid så snabb som förväntat och ibland relativt långsam/liten jämfört med uppmätta deformationer? Bidrar gasbildning ibland? Påverkar krypning portrycksutvecklingen, så att krypning skapar portrycksökning?

Det är viktigt att experimentella försök efterliknar aktuella belastningsförhållanden i fält så väl som möjligt för att nyttjande av resultat och utvärdering av parametrar ska vara meningsfull. Här finns en utvecklingspotential avseende förbättrad provning under såväl odränerade som dränerade (och delvis dränerade) förhållanden.

Det saknas metoder för att på ett relevant och tillförlitligt sätt bestämma hållfasthet i torv. Hur definiera hållfasthet och hur bestämma hållfasthet? Använda konventionella hållfasthetsparametrar, odränerad skjuvhållfasthet och friktionsvinkel, och/eller utveckla nya hållfasthetsparametrar? Sannolikt behövs ett

nytt teoretiskt ramverk tas fram för att förklara och förutsäga hållfasthet hos torv tillsammans med utvecklingen av ny försöksutrustning för bestämning av bland annat friktionsvinkel (eller annan hållfasthetsparameter).

Provtagning av torv är en utmaning. Är variation i egenskaper till delar beroende av provtagningsteknik? Stora prover behöver tas när fibrer finns, vilket försvårar provtagning. Kan det vara ett alternativ att provta frusna prover?

Det är en utmaning att kunna modellera torv. Exempelvis ta hand om på ett relevant sätt anisotropi, orientering av fibrer (ändras under belastning?), friktionsvinkel, sannolikhetsanalyser, K_0, med mera. K_0 är viktig vid last-deformationsanalyser och det är svårt att bestämma K_0 i torv (och jord överhuvudtaget), och antagen K_0 påverkar resultaten mycket. Borde försöka hitta en metod att relevant kunna bestämma K_0.

Analys av stabilitetsproblem för järnvägsbankar och andra bankar på torv är ett svårt problem. Beroende på brist på kunskap om brottmekanismer och typ av glidyta blir modelleringen av problemen svår oavsett om vi använder enklare eller mer avancerade (FEM) beräkningsmodeller. Vidare behövs kunskap avseende bestämning av parametrar för torv till mer avancerade materialmodeller som finns i FEM-program. Tillförlitligare bestämning av hållfasthetsparametrar och relevanta modeller för stabilitetsberäkningar behöver utvecklas.

Ett helt nytt teoretiskt ramverk skulle idealt behöva tas fram för att på ett bättre sätt beskriva torvs mekaniska egenskaper. Detta beroende på att befintliga teorier som tillämpas för torv är utvecklade för finkorniga jordar som saknar fibrer.

Det behöver utvecklas nya teoretiska materialmodeller specifikt för att beskriva torvs mekaniska egenskaper där även fibrer kan tas med. Förslag till nya materialmodeller för torv arbetas med det med på NTNU och Deltares. Relevansen hos existerande avancerade konstitutiva modeller (som inte innehåller specifik modellering av fibrer) för att beskriva torvs beteende bör också undersökas.

Referenser

AMA Anläggning 13 (2014). AMA Anläggning 13, Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten. Svensk Byggtjänst, Stockholm.

Axelsson, K (1996). 30 ton på Malmbanan, Litteraturstudie: Dynamiska moduler i torv. Tekniska högskolan i Luleå, Avd för Geoteknik, Luleå.

Banverket (1996a). 30 ton på Malmbanan, Rapport 3:4, Infrastruktur, Geoteknisk inventering. Banverket / J&W.

Banverket (1996b). 30 ton på Malmbanan, Rapport 3:5, Stabilitetsutredning. Banverket.

Banverket (1996c). 30 ton på Malmbanan, Rapport 3:6, Infrastruktur, FoU Beräkningsmodell för grundläggning på torv. Banverket / Tekniska högskolan i Luleå / SGI.

Banverket (1996d). 30 ton på Malmbanan, Rapport 3:7, Infrastruktur, Geotekniska åtgärder, Banverket.
Banverket (1999). Stabilitet för befintliga järnvägar, BVS 1585:002, Borlänge.

Banverket (2002). Stabilitetsanalyser, Föreskrift. BVH 585.10, Banverket, Borlänge.

Banverket (2004). PM Geoteknik, Relationshandling Geotekniska förhållanden samt förstärknings- och dräneringsåtgärder, Relationshandling, bandelsnummer: 391, Frövi – Ställdalen, km 402+375 – 461+750, Dokument nr RMG170NR005.

Banverket (2005a). Teknisk beskrivning geoteknik, Fors-Storvik: Förstärkningsåtgärder, bandel 312 Fors-Morshyttan, km 174+780-175+100, Förstärkningsåtgärder Vitmossen, Dokument nr RMG046NR001.

Banverket (2005b). Teknisk PM Geoteknik, Bandelsnummer: bdl 376, Delsträcka: Repbäcken – Vansbro, ca km 29,6 (Repbäcken) – ca km 70,4 / ca km 260,4, (Björbo) – ca km 297,9 (Vansbro), Dokument nr: RMG153/138NR003.

Batista, IS, Coutinho, RQ & Whittle, AJ (2008). A case study on the performance of embankments on treated soft ground. The first pan American geosynthetics conference and exhibition, 2-5 March, Cancoun, proceedings pp 1313-1322.

Boylan, N, Jennings, P & Long, M (2008). Peat slope failure in Ireland. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, vol 41, no 1, pp 93-108.

Boylan, N & Long, M (2014). Evaluation of peat strength for stability assessments. Institution of Civil Engineers. Geotechnical Engineering. Proceedings, vol 167, no 5, pp 421-430.

Carlsten, P (1985). Förbelastning av torvmosse i samband med byggnation av Dalarövägen, Stockholm. Statens geotekniska institut, SGI, Varia 151, Linköping.

Carlsten, P (1988a). Torv - geotekniska egenskaper och byggmetoder. Statens geotekniska institut, SGI. Information 6, Linköping.

Carlsten, P (1988b). Användning av förbelastning vid vägbyggnad på torv. Nordiske geoteknikermöte, NGM-88, 10, Oslo, Maj 1988, pp 272-276.

Carlsten, P (1989). Vägbyggnad på torv, Handbok. Vägverket, Publ. 1989:53, Borlänge.

Carlsten, P (1993). Peat – geotechnical properties and up-to-date methods of design and construction, State-of-the-art-report. Statens geotekniska institut, SGI, Varia 215, Linköping.

Carlsten, P (1996). 30 ton på Malmbanan, Torv under järnvägsbankar – Hållfasthetsegenskaper och undersökningsmetodik. Banverket.

Carlsten, P (1997). Hållfasthet i torv, Skjuvförsök på torvprover. Statens geotekniska institut, SGI. Varia 462, Linköping.

Carlsten, P & Johansson, L (1996). 30 tons axellast på malmbanan, Beräkning av vertikal- och horisontalförskjutningar i sektion 1280+360 med FLAC. Banverket, Borlänge.

Carlsten, P & Lindahl, A (1999). Torvs geotekniska egenskaper. Sammanställning av erfarenheter från laboratorieförsök på torv. Statens geotekniska institut, SGI, Linköping.

Carlsten, P & Lindahl, A (2000). Befintliga bankar och konstruktioner vid ökad tåglast och högre tåghastighet, Etapp 1, Del 2 Torv under järnvägsbankar. Banverket.

Carlsten, P & Olsson, M (2004). Masstabilisering av torv på riksväg 44. NGM 2004, Nordiskt geoteknikermöte, 14, Ystad, Maj, 2004. Proceedings, vol. 1.

Dahlström, M & Eriksson, H (2005). Mass stabilisation in Smista Allé (2002) and Moraberg (2003) by the cell and block stabilisation methods. International conference on deep mixing. Best practice and recent advances, Stockholm, Maj, 2005. Proceedings, vol. 1.2, pp 425-429.

Dehlbom, B (2016). Personlig kommunikation.

Den Haan, E & Feddema, A (2013). Deformation and strength of embankments on soft Dutch soil, Institution of Civil Engineers. Geotechnical Engineering. Proceedings, vol 166, no 3, pp 239-252.

Den Haan, EJ, & Grognet, M (2014) Large direct simple shear device for the testing of peat at low stresses. Geotechnique Letters, vol 4, no 4, pp 283-288.

Dykstra, CJ, Mathijssen, FAJM & Molenkamp, F (2009). Dykstra Settlement predictions of embankments on organic soils in engineering practice. International workshop on geotechnics of soft soils, 2: Focus on ground improvement, Glasgow, 3-5 September, 2008, pp 13-21.

Forsman, J, Hakari, M, Jyrävä, H, Ritsberg, K & Skepast, P (2009). Mass stabilization of E263 highway section Kose - Mäo in Estonia. XXVII International Baltic Road Conference, 24-26 August, Riga.

Forsman, J, Korhonen, O, Havukainen, J & Kreft-Burman, K (2012). Mass stabilization in construction of soft subsoils and in environmental geotechnics at City of Helsinki. Baltic Sea Geotechnical Conference, 12th, Rostock, 31 May – 2 June, 2012.

Forsman, J, Koivisto, K & Leppänen, M (2008). Case stories, Industrial and commercial areas – Deep stabilisation of the yards of IKEA in Vantaa, Finland. International mass stabilisation conference 2008, Lahti, October 8-10.

Forsman J & Slunga, E (1996). Anchor capacity of synthetic georeinforcement between sand and peat layers, Nordiska Geoteknikermötet, 12, NGM-96: Interplay between geotechnics and environment, Reykjavik, June 1996. Proceedings, vol. 1, pp 99-104.

Forsman, J, Slunga, E & Lahtinen, P (1998). Geogrid and Geocell Reinforced Secondary Road Over Deep Peat Deposit. Sixth International Conference on Geosynthetics, 25-29 March 1998, Atlanta, Georgia, USA.

Gunnarsson, A (2015). Personlig kommunikation.

Hartlén, J & Wolski, W (1996). Embankments on Organic Soils. Embankments on organic soils. Eds: Hartlén, J & Wolski, W, Developments in geotechnical engineering, 80 (Elsevier), Amsterdam.

Hayashi, H & Nishimoto, S (2008). FE analysis of the long-term settlement and maintenance of a road on peaty ground. International conference on Advances in Transportation Geotechnics, Nottingham, UK, 25-27 August, Proceedings pp 383-388.

Hayashi, H, Nishimoto, S & Takhashi, M (2011). Field performance of PVD combined with reinforced embankment on peaty ground. Soils and Foundations, vol 51, no 1, pp 191-201.

Hendry, M (2011). The geomechanical behaviour of peat foundations below rail-track structures. Doctoral thesis, University of Saskatchewan, Department of Civil Engineering, Saskatoon, Canada.

Hendry, MT, Barbour, SL & Martin, CD (2014). Evaluating the effect of fiber reinforcement on the anisotropic undrained stiffness and strength of peat. ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol 140, no 9, 11 pp.

Holm, G, Bengtsson, PE, Carlsten, P, Johansson, LO & Larsson, R (2002). Befintliga bankar vid ökad tåglast och högre tåghastighet, Statusbestämning av befintliga bankar, Förbättrings- och förstärkningsåtgärder under driftsförhållanden, 'State of the art'. Statens geotekniska institut, SGI, Varia 520, Linköping.

Håkansson, S (2016). Personlig kommunikation.

Ibrahim, A, Huat, BBK, Asadi, A & Nahazanan, H (2014). Foundation and embankment construction in peat: An overview. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, EJGE, vol 19, Bundle Z2, pp 10079-10094.

Ilander, A, Forsman, J & Lahtinen, P (1999b). Combined mass- and column stabilization in Kivikko test embankment - Designing by traditional and FE-methods. International conference on dry mix methods for deep soil stabilization, Stockholm, Oct. 1999. Proceedings, pp 185-191.

Ilander, A, Halkola, H, Lahtinen, P & Kettunen, A (1999a). EuroSoilStab - Kivikko test embankment - Construction and research, International conference on dry mix methods for deep soil stabilization, Stockholm, Oct. 1999. Proceedings, pp 347-354.

Jenner, C (2006). The construction and performance of a railway embankment constructed over a load transfer platform at Skästre Ljusdal. Grundläggningsdagen 2006: Grund prix, Stockholm, 9 mars, pp 83-91.

Johansson, B (2015). Personlig kommunikation.

Johansson, B, Carlsten, P & Kennedy, H (2012). Förbelastning av torv, kalkgyttja och bleke, Rv 50 Mjölby-Motala. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF. Projekt 12399 / NCC Construction Sverige AB. Rapport, Göteborg.

Jelisic, N (2004). Mass stabilization – stability and settlement in mass stabilized peat. Doctoral thesis, Lund University, LUTVDG/TVGT-1010, Lund.

Jelisic, N & Leppänen, M (2003). Mass stabilization of organic soils and soft clay. American Society of Civil Engineers. Geotechnical Special Publication 120, pp 552-561.

Karstunen, M (2015). Personlig kommunikation.

Koivisto, K, Forsman, J & Leppänen, M (2004). Column and mass stabilisation of the yards of IKEA in Vantaa, Finland. NGM 2004. Nordic Geotechnical Meeting, 14, Ystad, May, 2004. Proceedings, vol. 1, 2004, pp D77-D88.

Korsträsk (1997). Dokumentation Träspont Korsträsk.

Landva, AO (1980). Geotechnical behaviour and testing in peat. Doctoral thesis, Laval universite, Quebec.

Landva, AO, Korpijaakko, EO & Pheeney, PE (1983). Geotechnical classification of peats and organic soils. ASTM Special Technical Publication 820, Toronto, s 37-51.

Lahtinen, P, Jyrävä, H & Kuusipuro, K (2000). Deep stabilisation of organic soft soils. International conference on ground improvement geosystems - grouting, soil improvement and geosystems including reinforcement, 4th GIGS, Helsinki, June 2000, Proceedings, pp 89-98.

Lahtinen, P & Niutanen, V (2009). Development of in-situ mass stabilization technique in Finland. International symposium on deep mixing and admixture stabilization, DM09, Proceedings, Okinawa, May 19-21.

Li, AL & Rowe, RK (2001). Combined effects of reinforcement and prefabricated vertical drains on embankment performance. Canadian Geotechnical Journal, vol 38, no 6, pp 1266-1282.

Lojander, M, Takala, J & Forsman, J (1996). Mechanical properties of Leteensuo peat. Nordiska Geoteknikermötet, 12, NGM-96: Interplay between geotechnics and environment, Reykjavik, June 1996. Proceedings, vol. 1 , pp 123-128.

Long, M (2005). Review of peat strength, peat characterisation and constitutive modelling of peat with reference to landslides. Studia Geotechnica et Mechanica, vol 27, no 3-4, pp 67-90.

Long, M (2015). Personlig kommunikation.

Long, M & Boylan, N (2012). In situ testing of peat - a review and update on recent developments. Geotechnical Engineering. Journal of the Southeast Asian Geotechnical Society, vol 43, no 4, pp 41-55.

Länsivaara, T & Forsman, J (2001). Back analysis of Kivikko test embankment. International conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 15: The first international conference of the Third Millenium, Istanbul, August 2001, Proceedings, vol. 1, pp 441-444.

Madaschi, A & Gajo, A (2015). One-dimensional response of peaty soils subjected to a wide range of oedometric conditions. Géotechnique, vol 65, no 4, pp 274-286.

Magnusson, NH, Lundqvist, G & Regnéll, G (1963). Sveriges geologi. Svenska bokförlaget, Norstedts.
MacCulloch, F (2006) Guidelines for the risk management of peat slips on the construction of low volume / low cost roads over peat. Roadex II project, Forestry Civil Engineering, Scotland.

Mesri, G (2015). Personlig kommunikation.

Mesri, G & Ajlouni, M (2007). Engineering properties of fibrous peats. ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol 133, no 7, pp 850-866.

Munro (2005). Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat, Including case histories from roads projects within the ROADEX Partner Districts. Roadex II project, The Highland Council, Inverness.

Munro, R & MacCulloch, F (2006). Hantering av torvrelaterade problem på lågtrafikerade vägar, raktiskt sammandrag. (Översatt till svenska) Roadex III project, Vägverket Region Norr, Luleå.

Nguyen, HS, Tashiro, M, Inagaki, M, Yamada, S & Noda, T (2015). Simulation and evaluation of improvement effects by vertical drains/vacuum consolidation on peat ground under embankment loading based on a macro-element method with water absorption and discharge functions. Soils and Foundations , vol 55, no 5, pp 1044-1057.

Nilsson, G & Johansson, M (2009). Masstabilisering under befintlig järnväg. Bygg & Teknik, no 1, pp 37-42.

Noppa, J & Sjöberg, J (2002). Kontrollprogram prioritet 3 för 30 ton på Malmbanan. Luleå tekniska universitet, Geoteknik, Examensarbete 2002:101.

Nordisk Infrastruktur (2014). Grundläggningsteknik som tar ny mark. Nordisk infrastruktur, no 5, pp 37-45.

O'Kelly, BC (2015). Effective stress strength testing of peat. Environmental Geotechnics, vol 2, no 1, pp 34-44.

O'Kelly, BC & Pichan, SP (2013). Effects of decomposition on the compressibility of fibrous peat - A review. Geomechanics and Geoengineering, vol 8, no 4, pp 286-296.

Palolahti, A (2016). Personlig kommunikation med Minna Karstunen.

Pousette, K (2001). Stabilisering av torv, Olika faktorers inverkan på stabiliseringseffekten. Luleå tekniska universitet. Geoteknik. Licentiatuppsats 2001:06.

Puumalainen, N, Halkola, H, Rantala, K, Forsman, J & Hautalahti, P (2004). Mass stabilisation and combined mass and column stabilisation in Kivikko area, Helsinki. NGM 2004, Nordic Geotechnical Meeting, 14, Ystad, May, Proceedings, vol. 1, pp D119-D128.

Ramböll Sverige AB (2010). Tillståndsbedömning av befintliga geokonstruktioner för järnväg. State of the Art, Falun.

Rowe, RK & Li, AL (2002). Geosynthetic-reinforced embankments over soft foundations. International conference on geosynthetics, 7: State of the art. Recent developments, Nice, 22-27 September, 2002. Proceedings, vol. 1, pp 5-34.

Rowe, RK & Taechakumthorn, C (2011). Design of reinforced embankments on soft clay deposits considering the viscosity of both foundation and reinforcement. Geotextiles and Geomembranes, vol 29, no 5, pp 448-461.

SGI (1992). ”Väg E65, Malmö-Ystad, delen vid Börringe kloster, bygghandling, byggnadsteknisk beskrivning” Upprättad av SGI, daterad 1992-05-15.

Statens vegvesen (2014). Geoteknikk i vegbygging. Håndbok V220, Vegdirektoratet, Statens vegvesen.

Statens vegvesen (2015). Når vegen berører myra, God forvaltning av myr i vegplanlegging, bygging og drift. Rapport 423, Vegdirektoratet, Statens vegvesen.

Sweco VBB (2003). Väg 245 Fredriksberg - Sunnansjö, Dokumentation av sträckor förstärkta med geonät, (FA3-sträckor), Delrapport, Vägverket Region Mitt, uppdragsnummer 2411300000, SWECO VBB AB, Falun.

Taechakumthorn, C & Rowe, RK (2013). Reinforced embankments on soft deposits: behaviour, analysis and design. Geotechnical Engineering. Journal of the Southeast Asian Geotechnical Society, vol 44, no 4, pp 69-76.

Tashiro, M, Inagaki, M, & Asaoka, A (2013). Prediction of and countermeasures for embankment-related settlement in ultra-soft ground containing peat. International conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 18, Paris, September 2-5, 2013, Proceedings, vol. 4, pp 2981-2984.

Tashiro, M, Nguyen, SH, Inagaki, M, Yamada, S & Noda, T (2015). Simulation of large-scale deformation of ultra-soft peaty ground under test embankment loading and investigation of effective countermeasures against residual settlement and failure. Soils and Foundations , vol 55, no 2, pp 343-358.

Thomasson, C (1991). Lättfyllning med skumbetong. Vägverket. BD-rapport 91103-22, Borlänge.

Tornéus, L (2004). Val av jordförstärkningsmetoder och geotekniska undersökningar vid förstärkning av befintliga vägar på torvmark. Examensarbete 2004:146, Luleå tekniska universitet, Avd för Geoteknik, Luleå.

Trafikverket (2011). Väg 2206 Barkerud-St Rålen, nätförstärkning av grusväg. Trafikverket, 2011-12-22.

Trafikverket (2011a). TRVK Väg, Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion. TRV 2011:072, TDOK 2011:264, Trafikverket, Borlänge.

Trafikverket (2011b). TRVR Väg, Trafikverkets tekniska råd Vägkonstruktion. TRV 2011:073, TDOK 2011:267, Trafikverket, Borlänge.

Trafikverket (2012). Typsektioner för banan. BVS 1585.005. 2012, Borlänge.

Trafikverket (2014a). Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner TK Geo 13. Trafikverket, TDOK 2013:0667, Borlänge.

Trafikverket (2014b). Trafikverkets tekniska råd för geokonstruktioner, TR Geo 13. Trafikverket, TDOK 2013:0668, Borlänge.

Trafikverket (2014c). TRVAMA Anläggning 13. Trafikverkets ändringar och tillägg till AMA Anläggning 13, TDOK 2014:0245, Trafikverket, Borlänge.

Uotila, A (2014). Maanvaraisen ratapenkereen toimivuus turvepohjamaalla. (The performance of ground-supported railway embankment on peat subsoil). Master of Science Thesis, Tampereen University of Technology.

van Duijvenbode, JD, Woldringh, RF & Venmans, AMM (1999). No-Recess test site Hoeksche Waard (Netherlands). Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure, Barends et al. (eds), Balkema, Rotterdam.

von Post & Granlund, E (1926). Södra Sveriges torvtillgångar I. Sveriges geologiska undersökning, Serie C, Stockholm.

VTI (2013). Lågtrafikerade vägar, en litteraturstudie utifrån nytta, standard, tillstånd, drift och underhåll. Väg- och transportforskningsinstitutet, VTI, Rapport 775, Linköping.

Vägverket (1988). Bark och flis som lättfyllning i vägbankar, Handbok. Publikation 1986:77, Vägverket.

Vägverket (1994). VÄG 94, Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner. Publikation 1994:21-30, Vägverket, Borlänge.

Vägverket (2007). Väg 509 S Finnböle, Lomsmuren, Gävleborgs län, Objektnummer 157350, Erfarenhetsrapport om geotekniska åtgärder. Vägverket, Region Mitt, Vägbyggnadsavdelningen, Härnösand.

Zwanenburg, C & Jardine, RJ (2015). Laboratory, in situ and full-scale load tests to assess flood embankment stability on peat. Géotecnique, vol 65, no 4, pp 309-326.

Zwanenburg, C, den Haan, EJ, Kruse, GAM & Koelewijn, AR (2012). Failure of a trial embankment on peat in Booneschans, the Netherlands. Géotechnique, vol 62, no 6, pp 479-490.

Åhnberg, H (2006). Strength of stabilised soils, A laboratory study on clays and organic soils stabilised with different types of binder. Doctoral thesis, Lund University, LUTVDG/TVSM-06/1020, Lund.

Ånäs, (1999). Väg 296 Kårböle – Z Länsgräns, Delen väg 84 – Länsgränsen, Sektion 0/120 – 0/360, Teknisk rapport om förbelastning av torv, Ett praktikfall. Vägverket, Region Mitt, Avdelning Teknik.

Ånäs, M (2015). Personlig kommunikation.

Öiseth, E & Sleipnes, A (2008). Anleggveg på myr - erfaringer og dimensjonering. Nordisk geoteknikermöte, NGM, 15, Sandefjord, Norge, 3-6 september, pp 555-562.

Internetadresser
www.roadex.org

Statens geotekniska institut

Postadress: 581 93 Linköping
Tel: 013-20 18 00
E-post: sgi@swedgeo.se

www.swedgeo.se