

Thesis 300

Utvärdering av vägkonstruktioner med stabilisering

En studie om stabiliserade vägkonstruktioners egenskaper, möjligheter och svagheter

Jens Morau Ekström

Ola Olsson

Trafik och Väg
Institutionen för Teknik och Samhälle
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet



Copyright © Jens Morau Ekström, Ola Olsson

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5267)/1-156/2017
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2017

Examensarbete

CODEN: LUTVDG/(TVTT-5267)/1-156/2017

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg, 300

ISSN 1653-1922

Author(s): Jens Morau Ekström
Ola Olsson
Title: Utvärdering av vägkonstruktioner med stabilisering
English title: Evaluation of road constructions with stabilization
Language: Svenska
Year: 2017
Keywords: Stabilisering; E22; Bakkalkylering; Vägytemätningar; Cement;
Riksväg 50; Stabilization
Citation: Jens Morau Ekström, Ola Olsson, Utvärdering av
vägkonstruktioner med stabilisering. Lund, Lunds universitet,
LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2017.
Thesis. 300

Abstract:

Swedish transport administration has over the past few years changed its way of purchasing contractors. The new way is *totalentreprenad*, which gives the contractor the opportunity to develop and renew the construction methods. Stabilization is one of the outcomes of that development. It is an unusual method in Sweden and therefore it is important to learn more about its characteristics. Analyses of bearing capacity and deformation have been made in this thesis along with interviews. Knowledge of possible E-modulus on the stabilized layers has been calculated in the program PVD. Experiences and knowledge have been collected and together with the results from the investigation part, given the conclusion that stabilization evolves rut depth and unevenness slower. Furthermore, the investigations have shown that stabilization has good opportunities in future road projects.

Trafik och väg
Institutionen för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola, LTH
Lunds Universitet
Box 118, 221 00 LUND

Transport and Roads
Department of Technology and Society
Faculty of Engineering, LTH
Lund University
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

Innehållsförteckning

Förord	1
Sammanfattning	3
Summary	5
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte och målsättning	8
1.3 Problemställning	8
1.4 Avgränsningar	9
2 Metod	11
2.1 Val av metoder	11
2.2 Litteraturstudie	12
2.3 Fallstudie	12
2.3.1 PVD – Road Data Presentation – FWD Data Analysis	13
2.3.2 PMS-Objekt	14
2.3.3 PMSv3	14
2.4 Intervjustudie	15
2.4.1 Kvantitativ del	15
2.4.2 Kvalitativ del	16
2.4.3 Hur intervjuerna varit upplagda	16
3 Litteraturstudie	19
3.1 Historia	19
3.2 Allmänt om stabiliseringar	20
3.3 Ytstabilisering	21
3.3.1 Möjligheter och fördelar	21
3.3.2 Svagheter och nackdelar	21
3.3.3 Ekonomi	22
3.3.4 Miljö	22
3.4 Terrassens förutsättningar/ materialegenskaper	22
3.5 Bindemedel	23
3.5.1 Kalk	23

3.5.2	Cement	23
3.5.3	Slagg	24
3.5.4	Flygaska	24
3.5.5	Blandade bindemedel	24
3.6	Kemiska processer	25
3.6.1	Reaktioner med kalk	25
3.6.2	Reaktioner med cement	25
3.6.3	Reaktioner med slagg	26
3.6.4	Temperaturpåverkan	27
3.7	Jordmaterials påverkan	27
3.8	Att tänka på vid val av bindemedel	29
3.9	Hållfasthetsegenskaper	30
3.9.1	Tryckhållfasthet	30
3.9.2	Draghållfasthet	35
3.10	Deformationsegenskaper	36
3.11	Dimensionering av vägkonstruktioner med stabilisering	38
3.11.1	Frostbeständighet	38
3.11.2	Förutsättningar vid dimensionering	39
3.11.3	Brottkriterier	39
3.11.4	PMS-Objekt	39
3.11.5	Förutsättningar i PMS-Objekt för stabiliseringar	41
3.12	Produktion och utläggning	43
3.13	Kontroller	47
3.14	Vägytemätningar	50
3.14.1	Hur fungerar vägytemätningar?	51
3.14.2	Vad ger vägytemätningar?	51
3.15	Fallviktsmätning	52
4	Förutsättningar för fallstudien	55
4.1	Jämförelse mellan olika vägsträckor	55
4.2	Hurva – Rolsberga	57
4.3	Rolsberga – Fogdarp	58
4.4	Hörby N – Linderöd	59
4.5	Motala – Mjölby	60

4.6	Jämförelseobjekt	61
5	Resultat	63
5.1	Fallviktsberäkningar	63
5.1.1	Beräkning av ytmodul	63
5.1.2	Beräkning av dragtöjning i underkant asfalt	68
5.1.3	Bärförmågeindex, BI	69
5.1.4	Förhållandet N_{till}/N_{ekv}	73
5.1.5	Bakkalkylering med PVD	74
5.1.6	Kontroll i PMS-Objekt	84
5.2	Vägytemätningar	89
5.2.1	Förutsättningar	89
5.2.2	IRI	91
5.2.3	Spårdjup	93
5.3	Intervjustudie	97
5.3.1	Generella frågor kring stabilisering	97
5.3.2	Specifika frågor för de olika vägsträckorna	103
5.3.3	Hurva – Rolsberga	104
5.3.4	Rolsberga – Fogdarp	107
5.3.5	Hörby N – Linderöd	110
5.3.6	Motala – Mjölby	113
5.3.7	Jämförelse mellan de olika konstruktionerna	116
6	Diskussion och slutsats	119
6.1	Diskussion om fallstudie	119
6.2	Diskussion om intervjuerna	122
6.2.1	Hurva – Rolsberga	123
6.2.2	Rolsberga – Fogdarp	124
6.2.3	Hörby Norra – Linderöd	124
6.2.4	Motala – Mjölby	125
6.3	Slutsatser	126
7	Referenser	129
	Bilagor	131
	Bilaga A - Känslighetsanalys	133

PVD	133
K-exponenten	134
Eseed	135
Poissons tal	136
Referens μ -strain	138
Trafikbelastning	138
PMS-Objekt	140
Bilaga B – Jordartskartor	141
Bilaga C – Intervjufrågor	145

Förord

Examensarbetet ”Utvärdering av vägkonstruktioner med stabilisering” har utförts på avdelningen Väg och Trafik, institutionen för Teknik och Samhälle på Lunds Tekniska Högskola. Arbetet är den sista delen i civilingenjörsutbildningen inom väg- och vattenbyggnad på LTH, vilket innebär att vi nu är klara med vår utbildning och redo att ta nästa steg ut i arbetslivet.

Ett stort tack riktas till alla de som på något sätt bidragit till att göra det här examensarbetet möjligt. Först och främst vill vi tacka våra handledare, Per Viktorsson, Per Lindh och Sven Agardh. Utan er hade det här examensarbetet inte blivit av. Per Viktorsson som alltid varit tillgänglig och ordnat så att arbetet hela tiden kunnat flyta på. Per Lindh som alltid kommit med kloka synpunkter och djup kunskap i ämnet. Sven Agardh som bidragit med stor kunskap i fallstudien samt det formella kring arbetets process. Vi vill också tacka alla intervjupersoner som tagit sig tid att svara på de frågor som vi haft i samband med vår intervjustudie. Tack till Trafikverket och Ramböll RST för upplåtande av arbetsplats. Det har verkligen underlättat vårt arbete och era anställda har alltid tagit sig tid att hjälpa och svara på frågor.

Vi vill även tacka familjer, vänner och våra flickvänner. Våra år i Lund har utvecklat oss som människor och akademiker.

Malmö, maj 2017



Jens Morau Ekström



Ola Olsson

Sammanfattning

På senare år har trafikverket infört totalentreprenader som ett komplement till utförandeentreprenader och i samband med detta också förlängt garantitiden till 10 år. För att möta denna garantitid har en gammal metod åter sett dagens ljus, nämligen stabilisering. Stabilisering har inte använts i Sverige sedan 1960-talet men däremot på flera andra håll i världen.

I den här rapporten har vägkonstruktioner med stabilisering undersökts och analyserats. Syftet har varit att visa på stabiliseringars möjligheter och svagheter i kommande svenska vägprojekt. Projektet har innefattat en litteraturstudie, fallstudie samt en intervjustudie. Fallstudien är tänkt att visa på stabiliseringens egenskaper gällande bärighet och deformation. Intervjustudien har gett fördjupad kunskap kring objekten i fallstudien men har även bekräftat teorier i litteraturstudien.

Fallstudien innefattar bakkalkyleringar där de stabiliserade lagrens styvhetsmoduler beräknas, fallviktsberäkningar samt kontroll i PMS-Objekt. Vidare ingår vägytemätningar där PMSv3 varit bas för data. Intervjustudien bygger på en kvantitativ del samt en kvalitativ del där frågor poängsatts och sedan analyserats vidare.

Stabiliseringar ökar styvheten hos överbyggnaden vilket gör att spårdjups- och IRI-utveckling sker långsamt. Resultatet av undersökningarna visar på höga ytmoduler för vägarna, höga bärförmågeindex samt långa uppskattade livslängder. I förhållande till traditionella grusbitumenöverbyggnader (GBÖ) står sig de stabiliserade vägarna mycket bra gällande bärighet och deformation. Hur stabiliseringen är utförd och hur den dimensionerats bidrar till olika resultat gällande dessa.

Stabilisering har stora möjligheter att bli ett komplement till traditionella GBÖ-konstruktioner när omständigheterna tillåter det och framför allt när hela livscykeln beaktas ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv.

Summary

In the past few years, Swedish transport administration has developed the way of purchasing contractors from the usual *utförandeentreprenad* to *totalentreprenader*, which means that the contractors make the design and the production of the road constructions. As an addition, Swedish transport administration has extended the warranty to ten years. At that moment, constructors rediscovered stabilization, a method used to construct roads. Stabilization has not been used in Sweden since the 1960s, but is more common in other parts around the world.

In this report road structures containing stabilization have been investigated and analysed where the main purpose has been to show the possibilities and weaknesses of the method in future Swedish road projects. The investigations have involved a literature study, a case study and interviews. The purpose of the case study is to present road stabilization characteristics regarding strength and deformation. The interview study has given deeper knowledge about the case objects but has also confirmed theories given in the literature study.

The case study involves back calculation, where the stabilized layers E-module has been calculated, falling weight deflectometer calculations and check-ups in PMS-objekt. Moreover, the case study contains surface measurements where PMSv3 was used as a database. The interview study contains a quantitative part and a qualitative part, where the asked questions were scored and then further analysed.

Stabilization increases the stiffness of the pavement materials and makes them more resistant against deformation. The results of the investigation show high surface modulus, high *bärförmågeindex* as well as the estimated lifetimes. In comparison to traditional *GBÖ*-constructions, the stabilized roads show better resistance to rutting. How the stabilizations are executed and how the stabilized layer has been designed, both contributes to the variation in the result.

Stabilization has great potential to be a complement to traditional *GBÖ*-constructions when the circumstances allow it and especially when the lifecycle is analysed, with regard to economic and environmental perspectives.

1 Inledning

Trafikverket har under senaste åren övergått till att upphandla byggen som totalentreprenader. Totalentreprenaderna har medfört att nya metoder för att bygga vägar har utvecklats. Detta då entreprenörerna själva ansvarar för konstruktionen i förhållande till de funktionskrav som trafikverket ställer.

En av dessa metoder är en nygamal metod där terrassen eller överbyggnaden stabiliseras med cement eller kalk vilket ger vägen ökad bärighet och möjlighet till tunnare överbyggnad. Dessutom kan mängden transporter minska då användningen ökar av befintligt material i väglinjen. Detta är egentligen inget nytt då redan romarna förädlade jorden som de drog sina vägar på och en metod som vi i Sverige använt oss av under 60-talet (Lindh, 2004). Metoden har använts i andra delar av världen under lång tid och görs fortfarande idag.

Den här rapporten är tänkt att ge en ökad kunskap om stabiliseringar i samband med vägbyggnadsprojekt. Den nya formen av upphandling, totalentreprenad, har gett entreprenörerna chansen att utmana branschen och skapa nya sätt att bygga fullgoda vägkonstruktioner. Ett sådant sätt är att bygga vägkonstruktioner med stabiliserade lager. Rapporten bör därför skapa intresse bland många av vägbyggnadens intressenter.

I den här rapporten behandlas de olika stabiliseringar som idag används vid vägbyggen i Sverige. Materialegenskaper i stabiliseringen samt dess bärförmåga och utveckling analyseras. Rapporten är ett första steg i de granskade vägetapparnas utveckling och det kommer att krävas mer uppföljning av vägarnas framtida utveckling.

1.1 Bakgrund

För att på lång sikt kunna effektivisera och miljöförbättra vägbyggnadsprojekt kan nya metoder och dimensioneringssätt behövas. En sådan metod som idag åter börjat att få fäste i Sverige är vägstabilisering. En stabilisering används för att stärka vägkonstruktioner och ge den ökad bärighet, med lokalt material. På så vis kan transporter av vägmaterial minska och miljöarbetet kring vägbyggen kan förbättras.

Stabiliseringar används i andra länder men har inte ännu fått sin stora återkomst i Sverige. En av anledningarna kan vara att de finkorniga jordarter som ofta förekommer i Sverige anses som problemjordar på grund av dess känslighet för vatteninnehåll (Lindh, 2004). Dessutom finns inte samma rutin med metoden som i utlandet, vilket kan ha haft sin påverkan på metodens användande i Sverige. Om användningen av metoden ska kunna öka i Sverige så krävs en större kunskap om de egenskaper som de finkorniga jordarna får och att de behandlas på rätt sätt. Dessutom behöver flera aspekter redas ut och undersökningar kring hur stabiliseringen beter sig över tid göras.

I andra delar av världen är metoden mer beprövad och större erfarenhet och kunskap finns. Dock råder andra förutsättningar gällande klimat och material. Både i Tyskland, USA och Danmark m.fl. används metoden allt oftare och är vanlig inom vägbyggnad (Franzén et al., 2012).

De vanligast förekommande stabiliseringarna har cement eller kalk som bindemedel. Dessa material är väl beprövade men har olika förutsättningar beroende på vilket jordmaterial som råder. De stora fördelarna med stabilisering är dess bärighetsförmåga, som även tidiga utredningar från de aktuella vägetapperna bekräftar, men även fördelen att stora schaktmassor kan undvikas och befintligt jordmaterial användas med tillsatt bindemedel. En potentiell nackdel är ovissheten kring produkten över tid i Sverige och att alla nedbrytningskriterier ännu inte är förklarade.

1.2 Syfte och målsättning

Syftet med examensarbetet är att i en samlad rapport redogöra för vägstabiliseringars framtida möjligheter inom svenska vägprojekt men även att undersöka och analysera fyra olika vägobjekten som alla har stabiliserats. Syftet är också att visa på skillnader och likheter med en traditionell grusbitumenöverbyggnad.

Målet med rapporten är att utveckla kunskapen hos läsaren i ämnet vägstabilisering och visa på hur bärigheten förhåller sig i en stabiliserad väg i förhållande till en traditionell vägkonstruktion. Målet är också att visa på stabiliseringars fördelar och möjligheter för kommande vägprojekt men även de nackdelar och svagheter som finns med metoden. Vidare är målet att ge en så klar bild som möjligt kring stabiliseringarnas egenskaper gällande bärighet och nedbrytning.

1.3 Problemställning

I rapporten ska följande frågeställningar besvaras:

- Hur fungerar stabilisering i en vägkonstruktion?
- Vilka för- och nackdelar har de olika konstruktionstyperna?
- Hur står sig stabiliserade konstruktioner i förhållande till varandra och till traditionella GBÖ-konstruktioner?

1.4 Avgränsningar

I examensarbetet har avgränsningar gjorts på ett par olika områden:

- I intervjustudien har endast ett begränsat antal intervjupersoner varit möjliga att intervjua. Exempelvis hade fler deltagande intervjupersoner med koppling till delsträcka Motala – Mjölby varit att föredra. I brist på tid och information om vilka som varit delaktiga i det projektet har antalet intervjupersoner samhörande med den delsträckan därför varit få.
- I bärighetsutredningarna har endast beräkningar gjorts efter mätningar med tung fallvikt.
- I vägytemätningarna analyseras endast ojämnheter spårdjup och IRI¹.

¹ IRI – International Roughness Index, ett ojämnhetsmått som beskriver komforten i vägens riktning.

2 Metod

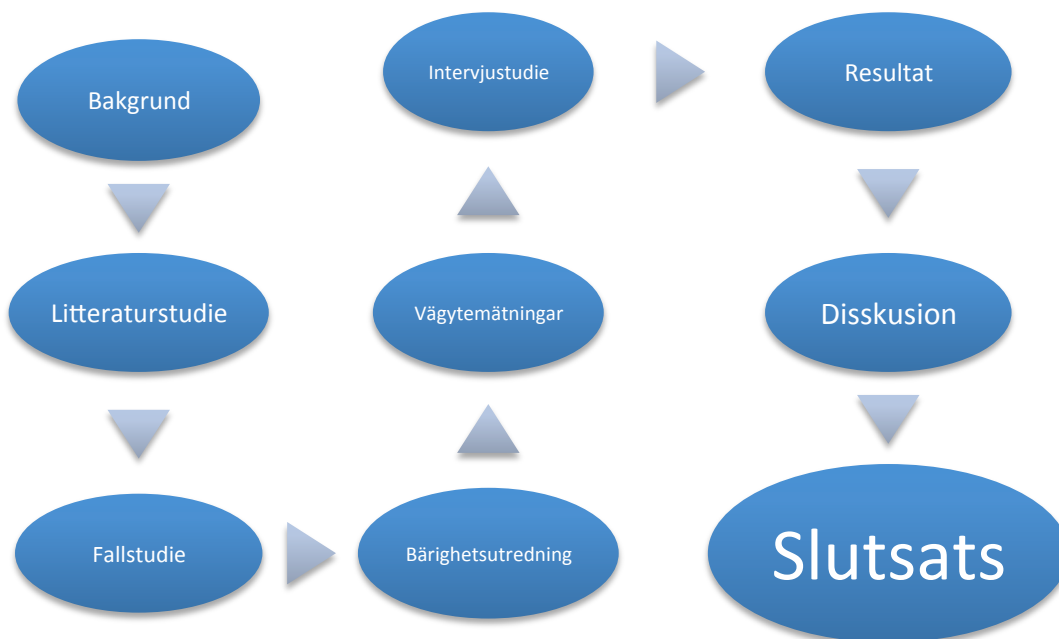
2.1 Val av metoder

För att besvara och analysera de frågor som ställs i problemställningen, har ett par olika tillvägagångssätt att finna kunskap om ämnet använts. Arbetet har delats upp i tre olika delmoment, som tillsammans är tänkt att ge en så bred och djup kunskap som möjligt om stabiliseringar i vägar. De tre delmomenten i arbetet är:

- Litteraturstudie
- Fallstudie – Fallviktsberäkning och vägytemätningar.
- Intervjustudie

Uppdelningen ger flera infallsvinklar på ämnet stabilisering. Den teoretiska delen i form av litteraturstudien ger en fördjupad kunskap om ämnet, medan intervjustudien ska bygga på faktakunskaperna med erfarenheter från större projekt. Resultatet ges sedan av tidigare nämnda delar tillsammans med fallstudien där beräkningar görs på mätningar utförda på stabiliserade vägsträckor.

Arbetsgången i arbetet har följt processen i figur 1 nedan.



Figur 1 - Arbetets process.

2.2 Litteraturstudie

Litteraturstudien är en viktig del i inledningen av examensarbetet. Genom litteraturstudien ska en bred grund av teorin bakom stabilisering uppnås. Genom att leta upp relevanta arbeten och informativ litteratur kan en bredare kunskap ges. Information har sökts från alla delar av världen, framför allt i form av vetenskapliga artiklar i olika databaser på internet.

Då kunskapen i Sverige är begränsad när det kommer till stabilisering, har därför ett par ledande forskare och experter varit kärnan i litteratursökningen. Per Lindhs doktorsavhandling inom området stabiliseringar, *Compaction- and strength properties of stabilised and unstabilised fine-grained tills*, använts som en form av kunskapsplattform. En annan viktig rapport är ett kunskapsdokument om terrasstabiliseringar framtaget av bland annat Gunilla Franzén, som även den har stått som grund för mycket av den teoretiska kunskap som återges i det här examensarbetet. I övrigt har information hämtats från källor baserade på olika platser i världen.

I litteratursökningen har följande huvudkällor använts:

- Internetbaserade databaser på LTH, så som Lovisa och LUBSearch
- SGIs bibliotek
- Biblioteket på V-sektionen LTH
- Trafikverkets publikationsbibliotek
- Kontaktsamtal:
 - Per Lindh – Stantens Geotekniska Institut, SGI
 - Per Viktorsson – Trafikverket
 - Katja Fridh – Lunds Tekniska Högskola
 - Sven Agardh – Rambøll/ Lunds Tekniska Högskola
- Källsökning genom referenser

2.3 Fallstudie

Fallstudien har delats upp i olika delar för att ge fler infallsvinklar på hur de olika vägobjekten står sig i förhållande till varandra samt till traditionella GBÖ-konstruktioner. De studier som gjorts är bland annat en bärighetsberäkning i form av fallviktsmätningar med tung fallvikt men också vägytemätningar som ger ojämnheter och spårdjupsbildning på de stabiliserade vägsträckorna. Förhoppningen är att de olika undersökningarna ska visa på samband mellan bärighet och nedbrytning samt visa på vilken delsträcka som har de bästa egenskaperna gällande dessa parametrar.

Fallstudien behandlar fyra vägsträckor, tre i Skåne som utgörs av Hurva – Rolsberga, Rolsberga – Fogdarp samt Hörby N – Linderöd, men även en delsträcka i Östergötland som utges av Motala – Mjölby. De fyra delsträckorna har olika förutsättningar och konstruktioner, vilket återges i *kapitel 4*.

I fallstudien har olika metoder och datorprogram använts för att få fram de resultat som söks. Program som använts är PVD, PMS-Objekt samt PMSv3. Programmen är olika verktyg som ger utdata om vägens egenskaper.

2.3.1 PVD – Road Data Presentation – FWD Data Analysis

PVD är ett datorprogram som presenterar vägteknisk data och som även kan utföra analyser från utförda deflektionsmätningar, vilket görs genom fallviktsmätningar. PVD hjälper till med att beräkna vägkonstruktionens egenskaper i form av exempelvis bärlighet, som eftersöks i det här examensarbetet. Programvaran är framtagen av företaget KUAB och har flera olika funktioner, men här används endast bakåtkalkylering. Med hjälp av fallviktsdata framtagen av Rambøll kan deflektionsmätningar matas in i programmet och sedan analyseras.

Funktionen som används i det examensarbetet är *OVER Moduli and overlay*. Funktionen använder deflektionsdatan från fallviktsmätningarna och kan räkna ut de ingående lagrens E-moduler (KUAB, 2014). I indatafunktionen väljs bland annat korrigeringstemperatur så att styvheter räknas om till en referenstemperatur, k-exponent, referens dragtöjning, tvärkontraktionstalet, trafiklast etc. När indata valts och tagits fram kan programmet sedan göra en bakkalkylering, där uppskattade styvheter anpassas till uppmätta styvheter från deflektionsmätningarna och värden på lagrens E-moduler ges (KUAB, 2014). Sannolikheten i de framräknade E-modulerna ges av RMS-värdet, *Root mean Square*, som visar på just sannolikheten i det framräknade svaret. Ett lägre RMS-värde, gärna under 2 enligt Sven Agardh², ger ett mer sannolikt resultat.

PVD klarar endast att göra bakkalkylering på konstruktioner med fyra lager, vilket gör att asfaltlager slås ihop, likaså de obundna lagren. Redan där förekommer en förenkling vilket ger resultatet en något mindre sannolikhet. För ett mer exakt resultat hade möjligheten att använda flera lager varit att önska. En annan nackdel med metoden är att programmet PVD, är gjort för konstruktioner där det styvaste lagret ligger överst, vilket inte behöver vara fallet i en stabiliserad konstruktion. PVD beräknar flera punkter än PMS-Objekt på en gång vilket underlättar arbetsprocessen.

Utdatan som ges av PVD kan både fås som siffror i datablad, men även som illustrerade grafer. I PVD kan även egna dataserier läggas in för ett komplett illustrativt resultat av flera parametrar som inte beräknats i PVD.

² Sven Agardh LTH/ Rambøll – samtal den 1/2-2017.

2.3.2 PMS-Objekt

Ett annat verktyg som använts i fallstudien är PMS-Objekt, som är ett vägtekniskt program som först och främst används för dimensionering av vägkonstruktioner i DK2 (Trafikverket, 2011). Programmet bygger på de krav som finns i TRVK väg. I PMS-Objekt kan även trafiklaster beräknas i form av antalet ekvivalenta standardaxlar (N_{ekv}) och sedan jämföras med konstruktionens antal tillåtna standardaxlar (N_{till}) för att se om konstruktionen uppfyller de bärighetskrav som råder vid aktuell trafiklast. Som indata väljs trafikflöden som hämtas i Trafikverkets trafikflödeskartor, antalet dimensioneringsår, klimatzon samt andelen tunga fordon. PMS-Objekt beräknar sedan N_{ekv} med hjälp av formler i TRVK väg.

Det som PMS-Objekt använts till i detta arbete utöver trafiklastberäkningar är att kontrollera om de framtagna E-modulerna klarar av den aktuella trafiklasten gällande kraven för bärighet. E-modulerna för de olika lagren läggs då in som indata i konstruktionsmodellen i PMS-Objekt så att en bärighets- och tjälberäkning kan utföras. PMS-Objekt fungerar som så att om ett grönt trafikljus lyser, så klarar konstruktionen de krav som ställs på grund av den aktuella trafiklasten.

PMS-Objekt är ett användarvänligt program framtaget av Trafikverket som idag använts mest till dimensionering av traditionella GBÖ-konstruktioner. Anledningen till att det inte använts för stabiliserade konstruktioner eller betongkonstruktioner överlag är att erfarenheten samt E-moduler från stabiliserade lager ännu inte finns inlagda i programmet. I den här rapporten används därför PMS-Objekt som för en traditionell vägkonstruktion, med undantaget att egna framtagna styvhetsmoduler läggs in i programmet.

2.3.3 PMSv3

Trafikverket utför årligen mätningar på deras vägar runt om i landet. Den största delen av denna mätdata hamnar till slut i PMSv3, som är Trafikverkets databas för vägytemätningar. I PMSv3 finns utvecklingen av vägens ojämnheter, både i tvär- och längdled. IRI, som är ojämnheten i längdled och spårdjup som är ojämnheten i tvärled är de mest intressanta faktorerna som analyseras. Med hjälp av programmet kan data hämtas hem och sedan analyseras vidare i exempelvis Excel. Det går även att få en överskådlig blick över vägens status direkt i programmet i form av de grafer som finns illustrerade.

Med hjälp av den mätdata som finns i PMSv3 har det här examensarbetet kunna utvärdera och analysera de fyra vägsträckornas ojämnheter och förändring. Den data som finns lagrat har sedan analyserats i beräkningsprogrammet Excel, där årlig förändring samt sortering av data gjorts.

2.4 Intervjustudie

I examensarbetet har även en intervjustudie gjorts för att stärka kunskapen som fåtts genom litteraturstudien. Intervjustudien har lagts upp som en kvantitativ del samt en kvalitativ del. Intervjuer har gjorts med kunniga personer inom området som på något vis varit inblandad i de fyra stabiliseringsprojekten. Personer har valts ut både från beställar-, entreprenörs- och konsultsidan. Detta för att ge bredast möjliga bild av stabilisering i allmänhet och de specifika delsträckorna i synnerhet. De personer som intervjuats är:

- Per Viktorsson – Trafikverket
- Per Lindh – Statens Geotekniska Institut, SGI
- Ulf Ekdahl – Ekdahl Geodesign
- Rickard Hugosson – NCC
- Mats Thurn – Trafikverket
- Anders Lökvist – Dansk Jordstabilisering
- Paul Lyckander – Trafikverket
- Joakim Kjellberg – PEAB
- Fredrik Tjörnestig – PEAB
- Bo Johansson – NCC
- Kristofer Söderberg – Trafikverket
- Christer Cederholm – Tidigare PEAB
- Jan Johansson – Trafikverket

Några av intervjupersonerna är föreslagna av handledarna till examensarbetet, medan några uppstått genom den så kallade snöbollseffekten (Kvale, 2009) som innebär att intervjupersonerna tipsat om ytterligare personer att intervjua. Utöver detta har några valts ut för att täcka av vissa typer av frågor och har på sätt och vis endast varit indirekt deltagande i någon av delsträckorna. På grund av geografiska skäl samt brist på kontaktuppgifter, har delsträcka Motala – Mjölby varit den delsträcka som minst intervjupersoner haft anknytning till.

Tanken är att helheten av intervjustudien, den kvantitativa delen och den kvalitativa delen ska ge en så bred och djup kunskap som möjligt. Framför allt har frågorna delats upp i allmänna stabiliseringsfrågor respektive specifika frågor för delsträckorna. För att kunna jämföra frågorna kvantitativt har en poängskala valts på ett par av dessa.

2.4.1 Kvantitativ del

I den kvantitativa delen kommer svaren på de poängsatta frågorna att jämföras för att ge en bild av hur de olika delsträckorna står sig i förhållande till varandra. Detta är en viktig del i förhållande till problemställningen om delsträckornas positiva och negativa egenskaper. Förslaget om att betygsätta ett par av frågorna togs fram i samarbete med *Per Lindh*³, som

³ Per Lindh SGI – Samtal den 1/2-2017

menade på att det skulle bli betydligt enklare att jämföra delsträckorna rent betygmässigt. För att undvika att ”glädjebetyg” sätts har därför intervjupersoner valts ut som täcker både beställarparten samt entreprenörer.

De poängsatta frågorna har en poängskala mellan 0-10, där värdet 5 gäller för en traditionell GBÖ-konstruktion och intervjupersonerna får poängsätta i förhållande till det värdet. På frågor som inte ska jämföras med traditionella vägkonstruktioner, gäller en poängskala där 0 är sämst och 10 är bäst.

I resultatet inleds varje svar på frågorna med ett diagram som visar poängsättningen bland intervjupersonerna.

2.4.2 Kvalitativ del

Den kvantitativa delen förtydligas med kvalitativ information som ges vid intervjuerna. Intervjupersonerna får efter att de delat ut poäng utveckla sina svar kvalitativt och förklara vad de bygger poängsättningen på och ge djupare svar. Tanken är att intervjupersonen kan sväva ut och förklara svaren med en större bredd. De kvalitativa svaren bygger i resultatet sedan på den kvantitativa delen och skapar den helheten som eftersökts.

2.4.3 Hur intervjuerna varit upplagda

Intervjuer är ett sätt att utveckla kunskap och förståelse för olika former av processer. Inom området stabilisering är i princip intervjuer ett måste, framför allt med tanke på den erfarenhetsbrist som råder samt att kunskapen finns begränsad hos ett par aktörer och personer. Genom att ställa frågor kan förståelsen för processen kring stabiliseringar underlättas. Intervjustudien i den här rapporten bygger på att samla in kunskap i ett brett spann om ett stabiliseringar i allmänhet och de studerade vägsträckorna i synnerhet.

I intervjustudien har en strategi följts för att på bästa möjliga sätt få ut så mycket information som möjligt. Intervjuerna bygger till stora delar på en strategi som Kvale (2009) arbetat fram, där 7 olika steg arbetas igenom.

1. **Tematisering** – Här avgränsas vad som faktiskt eftersöks. I det här fallet eftersöks en ökad kunskap om stabilisering i allmänhet och de berörda delsträckorna i synnerhet. Den nya kunskap som fås ska kunna bidra till en ökad framtida förståelse kring ämnet och en breddad kunskap. Intervjuerna kommer att presenteras anonymt vilket innebär att mer kunskap kan tas del av (Kvale, 2009).
2. **Strategi** – Intervjuerna kommer att spelas in så att koncentrationen hos intervjuerna kan bibehållas. Tanken är att så många intervjuer som möjligt ska ske i intervjupersonens miljö för att skapa en trygghet och säkerhet hos intervjupersonen. När detta inte är möjligt ska telefon-/Skypeintervjuer genomföras. Intervjupersonerna väljs ut av specialister inom vägteknik/geoteknik för att resultatet ska bli så bra som möjligt. Antalet intervjuer är inte begränsat, utan upprepningar och liknande svar kring frågorna ges kommer intervjustudien att avslutas och gås igenom. Under intervjuerna kan den så kallade ”snöbollseffekten”

-
- inträffa, vilket innebär att intervjupersonerna tipsar om nya intressanta personer att intervjua (Kvale , 2009).
3. **Val av metod** – Intervjustudien baseras på en kvantitativ del, se *avsnitt 2.4*, och en kvalitativ del. Tillsammans ska detta ge en bred kunskap som byggs på med betygsatta frågor som ska kunna visa på skillnader mellan intervjupersonernas syn på frågan, men även skillnader mellan de olika projekten som går igenom (Kvale , 2009).
 4. **Utskrift** – Alla intervjuer kommer inte att transkriberas och skrivas ut. Istället kommer det mest intressanta att redovisas i samband med den fråga som ställts. Intervjuerna finns dock inspelade och kommer att finnas tillgängliga om någon skulle behöva ta del av dessa. Intervjuernas samtycke till inspelning är givetvis ett måste (Kvale , 2009).
 5. **Analys** – En analys kommer att göras i samband med intervjuerna. Den kvantitativa delen kommer att jämföras och sammanställas numeriskt och på så vis presentera svaret kring de ställda frågorna. Intervjuernas svar kring frågorna kommer sedan även att analyseras och bearbetas för att på ett tillfredsställande sätt presentera kunskapen som finns om stabilisering (Kvale , 2009).
 6. **Dra slutsatser** – En jämförelse av det kvalitativa resultatet kommer att göras i den mån det går. Då det är svårt att generalisera kvalitativa svar har den här intervjustudien adderats en kvantitativ del som är tänkt att stärka de åsikter och tankar som lyfts upp vid intervjusamtalen. Slutsatser kommer därför att viktas i förhållande mellan den kvantitativa och kvalitativa delen. Enligt Kvale (2009) behöver inte kvalitativa och kvantitativa undersökningar vara varandras motpoler, utan de kan istället stärka varandras trovärdighet.
 7. **Rapportering** – Intervjuerna kommer i den här rapporten att rapporteras med hänsyn till de frågor som ställts under intervjun. I samband med varje fråga går de kvantitativa resultaten igenom och byggs på med erfarenheter från den kvalitativa delen. Tanken är att resultatet av intervjustudien ska bidra till en ökad kunskap om ämnet stabilisering, men också om stabilisering i samband med de fyra vägprojekt som analyserats i det här examensarbetet.

Intervjufrågorna i sin helhet återfinns i Bilaga C. Fråga 12 kommer inte att tas upp i rapporten, utan den ställdes för att visa författarna vilken erfarenhet intervjupersonerna hade av stabilisering.

3 Litteraturstudie

3.1 Historia

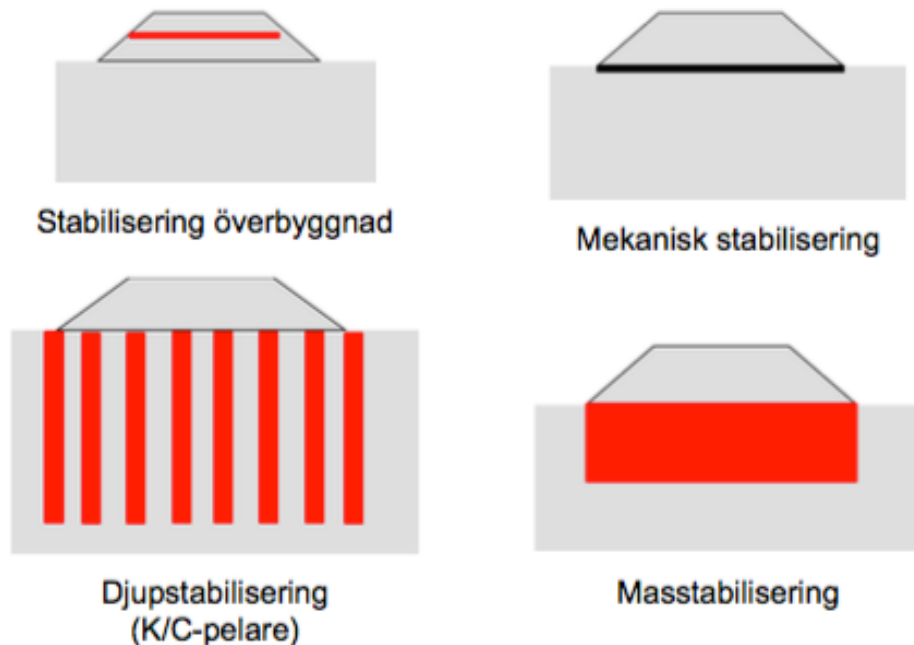
De första terrass- och jordstabiliseringarna härstammar från Romartiden, ända tillbaka till cirka 300 år innan Kristus (Lindh, 2004). Vägen i fråga är Via Appia, en väg som idag fortfarande finns i de äldre delarna av Rom. Romarna använde kalk i vägstabiliseringen på den tiden. Kalk som bindemedel i stabiliseringar har sina rötter för tusentals år sen, till skillnad från användningen av cement som stabiliserande bindemedel. Cementstabiliseringen började användas först på 1920 talet i USA, där Portland cement blandades med jord för att stärka en terrass vid ett vägbyggnadsprojekt (Lindh, 2004).

I Europa har vägstabiliseringar använts i olika utsträckningar sedan 1960 talet. Både kalk och cement har figurerat i vägkonstruktioner sedan 1960 talet, till skillnad från övriga bindemedelstyper som exempelvis slagg, som först börjat användas under de senaste 20-30 åren (Franzén et al., 2012). I Sverige har stabiliseringar använts i en mindre skala än i övriga Europa. En orsak till detta antas ofta vara tillgången till det goda vägmaterialet som finns i Sverige, samt rädslan och bristen på kunskap när det kommer till stabiliserade vägars egenskaper vid frost och tjäle. En annan anledning till att Sverige inte följt med utvecklingen på samma vis som övriga Europa är Vägverket, som är en före detta myndighet i Sverige. Vägverkets bristande ekonomi och incitament för forskning kring stabiliserade vägar försvann under en period på 1980 talet (Lindh, 2004), vilket kan ha varit en av anledningarna till den bristande utvecklingen.

Idag ser världen något annorlunda ut än vad den gjorde för 50-60 år sedan. Miljöfrågor har blivit ännu viktigare och nya metoder för att minska påfrestningen på miljön tas fram. En av tankarna med stabilisering i vägar är att kunna utnyttja lokalt material för att på så vis minska transporter till och från bygget (Franzén et al., 2012). Därför väntas forskningen om stabiliseringar och kunskapen i ämnet förbättras avsevärt under de kommande åren.

3.2 Allmänt om stabiliseringar

Det finns olika metoder av stabilisering, djup-, yt-, masstabilisering samt mekanisk stabilisering. Dessa har olika egenskaper, funktioner och användningsområden.



Figur 2 - Olika typer av stabilisering. (Franzén et al. 2012)

Stabilisering är en blandning och packning som förbättrar den befintliga jordens egenskaper för en speciell funktion. För att ytterligare förstärka jorden kan tillsats- eller stabiliseringsmaterial adderas. Ett sådant kan då antingen vara kemiskt eller jord med annan kornfraktion (Franzén et al., 2012).

Mekanisk stabilisering går ut på att blanda och packa jord för att få en ökad bärlighet. För att packningen ska ske optimalt kan den befintliga jorden behöva kompletteras med tillsatt stenmaterial som ger en önskad kornfördelningskurva.

De metoder som använder sig av en kemisk reaktion för att åstadkomma en förbättrad jord är djupstabilisering och ytstabilisering. Kalk och cement är de vanligaste kemiska stabiliseringsmaterialen men värt att nämna är också slagg och flygaska samt kombinationer av dessa.

En ytstabilisering fungerar på ett sådant sätt att det stabiliserade skiktet är en lastspridare och kan utföras i överbyggnad eller terrass. Bindemedel blandas in och packas. Maximalt bör dessa inte vara mer än 0,35 – 0,40 m tjock. Detta på grund av att det stabiliserade lagret inte kommer kunna packas på ett tillfredsställande sätt och där ett resultat kan bli ojämn densitetsprofil genom skiktet (Franzén et al., 2012).

Djupstabilisering genom KC-pelare, kalk/cement-pelare, utförs genom att ett blandningsverktyg blandar bindemedel och befintlig jord. Det bildas en pelare som vanligtvis är mellan 0,6 - 0,8 m i diameter och som kan nå ett djup ner till 25 m. KC-pelare minskar deformationerna och risken för skred samt ökar hållfastheten. En annan djupstabiliseringsmetod är masstabilisering och går ut på att bindemedlet blandas in i hela jordvolymen. Däremot sker detta inte lika djupt som för KC-pelare utan bara ner till 5 m. Genom masstabilisering åstadkommer man ökad stabilitet och reducerade sättningar (Franzén et al., 2012).

Leveranser av ballast från svenska täkter under år 2015 var 84 miljoner ton och av dessa används 56 % till vägbyggnad. Av den totala produktionen utgörs 13 % av naturgrus som är en produkt som Riksdagen genom miljöbalken önskar begränsa användningen av (SGU, 2016). Genom att använda sig av det material/jord som finns i väglinjen kan ekonomiska, miljömässiga och tidsmässiga besparingar göras (Lindh, 2004). Detta genom minskat antal transporter till och från arbetsplatsen under nyproduktionen. Ytterligare ekonomiska fördelar kan fås genom ett minskat underhåll av vägen då den tekniska livslängden förväntas bli längre när man använder sig av ytstabilisering (Franzén et al., 2012).

3.3 Ytstabilisering

3.3.1 Möjligheter och fördelar

Vid användning av ytstabilisering kan man i större utsträckning använda sig av befintligt material i väglinjen vilket leder till ett minskat transportbehov. Samtidigt ökar bärigheten och således även vägens livslängd. I och med att livslängden ökar med stabiliseringen kan man i dimensioneringsstadiet ta hänsyn till detta i designen av överbyggnaden och då reducera tjockleken av denna (Franzén et al., 2012).

3.3.2 Svagheter och nackdelar

Metoden med ytstabilisering i terrassen är beroende på materialet som finns i den samma och innebär att det ibland behövs stora mängder bindemedel för att uppnå önskat resultat. Det är då inte ekonomiskt fördelaktigt jämfört med andra metoder. Laborrietester kompletterat med provtytor i fält är ett måste för att välja rätt typ och mängd av bindemedel. Vid stabilisering i överbyggnaden är detta inget problem då kornfördelningskurvan är bestämd på det inhandlade materialet. I produktionen är det viktigt att få till jämna, homogena och välpackade lager. Detta för att undvika ojämnheter och sättningar på slutprodukten. När stabilisering utförs måste arbetsmiljön beaktas och då speciellt med hänsyn till damm innan infräsning (Franzén et al., 2012). En annan potentiell svaghet kan vara frost/tö och tjäle. Vid rätt genomförande ska stabiliseringen i sig vara okänslig för tjäle men avvikelser kan förekomma lokalt om stabiliseringen inte blir homogen. Om och hur mycket detta påverkar är fortfarande till viss del outforskat.

Tjällyftning i terrassen kan medföra uppsprickning i stabiliseringen som kan ge en ökad nedbrytning av stabiliseringen⁴.

3.3.3 Ekonomi

Den totala kostnaden och fördelningen av stabilisering är väldigt individuell och olika mellan projekt. Enligt ett exempel uträknat i en fransk stabiliseringsguide (Setra, 2007) framkommer det att ca 50 – 60 % utgörs av bindemedelskostnaden, ca 25 – 30 % av utförandet (maskiner och personal för utförandet av stabiliseringen.) och ca 10 % för skyddande lager, förundersökningar och efterkontroller. Att bindemedelskostnaden är den enskilt största kostnaden bekräftar Franzén et al. (2012).

Vid en nybyggnation är förutsättningarna störst för att använda sig av stabilisering i terrassen när det finns gott om finjord och ett underskott av berg att krossa. Störst blir fördelarna om man tittar på kostnaderna under vägens hela livslängd. Där man bland annat väger in drift och underhållet som förväntas bli mindre då spårbildningen minskar med en stabiliserad undergrund (Franzén et al., 2012).

3.3.4 Miljö

Det är ur miljösynpunkt fördelaktigt att stabilisera en väg och använda massorna inom projektet jämfört med utskiftning. Antar man ett minimalt transportbehov för utskiftningen är skillnaden ändå försumbar. Endast 5 – 10 % av vägens totala energiåtgång kommer ifrån att förbättra terrassen d.v.s. från utskiftning eller stabilisering (Rydberg & Andersson, 2003). I en fallstudie av Christin Nilsson och Marcus Hallberg visas att stabilisering av väggroppen är sämre ur miljösynpunkt än ett traditionellt ombyggnadsalternativ, detta är dock endast ett fall (Nilsson & Hallberg, 2012). Vidare beskrivs också att utifrån en utvidgad undersökning med LCA (livscykelanalys) kan ett annat resultat eventuellt uppnås.

3.4 Terrassens förutsättningar/ materialegenskaper

Vid utförande av terrass-/ytstabiliseringar krävs kunskap om den jord som existerar på den valda platsen. I Sverige förekommer idag till stora delar morän som jordart. Finkorniga jordar har egenskaper som inte vanligtvis gynnar de faktorer som ett bra vägbygge kräver. En stor kunskap om vilken typ av jordar som finns och hur den jordarten påverkar en stabilisering är av yttersta vikt. För ett lyckat vägprojekt där stabilisering ingår måste rätt undersökningar, utförande, planering samt dimensionering göras ordentligt (Franzén et al., 2012).

Den stora idén med stabilisering av finkorniga jordar är att förbättra dess hållfasthetsegenskaper samt dess deformationsegenskaper (Franzén et al., 2012).

⁴ Per Viktorsson – samtal den 14/3-2017

3.5 Bindemedel

I följande avsnitt beskrivs de olika bindemedlen som kan används vid terrass- och ytstabilisering. De olika bindemedlen kan användas enskilt eller i olika kombinationer mellan varandra, beroende på vilken typ av jordart som råder på platsen där det ska stabiliseras (Franzén et al., 2012).

3.5.1 Kalk

Det äldsta bindemedlet som använts vid vägstabiliseringar är kalk. Kalken som används vid stabiliseringar är antingen bränd kalk eller släckt kalk. Beteckningen för kalk varierar mellan olika siffror och bokstäverna Q och S, där S står för släckt kalk och Q för bränd. Kalken kan förekomma både som vått material eller som pulver beroende på vilken mängd vatten som ska tillsättas (Svensk standard, 2006). Den vanligaste användningen i Sverige är den släckta kalken som fungerar bättre då det inte behöver tillsättas lika mycket vatten till den typen av kalk (Franzén et al., 2012). Detta håller dock på att ändras till förmån för bränd kalk⁵.

Kalk är en produkt av kalcium som är den viktigaste beståndsdel. Enligt Little (1995), har kalcitisk kalk de bästa egenskaperna för stabilisering då den innehåller en större del fria kalciumjoner. Egenskaperna för de olika kalktyperna är överlag lika när det kommer till innehåll av kalciumoxid, men bränd och släckt kalk har olika fördelar när det kommer till vattenaspekten (Little, 1995). Bränd kalk behöver tillsättas med vatten i härdningsprocessen, vilket gör att riktigt torra jordar kan komma att behöva stora mängder vatten för bästa resultat. Den brända kalken har en längre släckningsprocess än den släckta kalken vilket gör att den inte har samma effektiva process som den släckta kalken. Den släckta kalken är lättare att arbeta med och den är dessutom mer effektiv i avvattnade jordar (Lindh, 2004).

3.5.2 Cement

Ett annat bindemedel som används vid terrass- och ytstabiliseringar är cement. Mer specifikt är det olika typer av Portlandcement. I Sverige används ett Portlandkalkcement som betecknas CEM II/A-LL 42,5 R (Svensk Standard, 2010). Portlandcement tillverkas när kalksten och lera hettas upp till ungefär 1450°C. Det innehåller fyra stora komponenter, där Ca_3SiO_5 , trikalciumsilikat är den viktigaste beståndsdel. Ungefär 50-70 % av Portlandcementen är trikalciumsilikat och den har stor betydelse för cementens egenskaper de 28 första härdningsdagarna (Lindh, 2004). Dikalciumsilikat är en annan viktig beståndsdel i cement. Den utgör 15-30% av portlandcementen. Dess härdningsegenskaper är långsammare än trikalciumsilikat och den reagerar dessutom långsamt med vatten. De övriga beståndsdelarna är aluminat och ferrit. De utgör de sista procenten av portlandcementens helhet och generellt för dessa två bindningar är att de reagerar fortare än de två större beståndsdelarna. Gällande portlandcementens egenskaper i en blandning med jord, alltså i en stabilisering, gäller generellt en kort arbetstid (ofta

⁵ Per Lindh – Samtal den 1/6-2017.

mindre än två timmar) vilket kan förhindra en bra kompaktering. Det innebär att cementen blir svårarbetad relativt fort (Lindh, 2004). Vid cementtillverkning sker stora utsläpp av CO₂ vilket är en nackdel ur miljösynpunkt (Höbeda, 1985).

3.5.3 Slagg

Slagg är ett en restprodukt från stålindustrin som används som bindemedel (Taylor, 1997). Egenskaperna hos en slaggprodukt kan variera beroende på vilken typ av slagg det är. I Sverige används en slagg från SSAB stålindustrin i Oxelösund som har produktnamnet Merit 5000 (Franzén et al., 2012).

3.5.4 Flygaska

Flygaska är en biprodukt av förbränning i kolkraftverk. Det finns också bioförbränd flygaska som kan användas, men då förekommer mer organiskt material som ger andra förutsättningar (Lindh, 2004). Ett bindemedel som används i mindre utsträckning men som förekommer i vissa projekt (Lindh, 2004).

3.5.5 Blandade bindemedel

Olika kombinationer av bindemedel förekommer även de i olika stabiliseringskonstruktioner. Ett blandat bindemedel kan innehålla två eller flera av de olika bindemedelstyperna. De kombinationer som oftast förekommer är restprodukter av blandningar med en viss stabiliserande förmåga, så som t.ex. kalkrik aska som fås vid förbränning av returslam vid pappersmasseproduktion (Rogbeck et al., 2008). För att få de rätta egenskaperna i stabiliseringen krävs tillsatser av antingen kalk eller cement eller av båda två (Franzén et al., 2012).

Utanför Sverige används även andra typer av blandningar. Hydrauliska bindemedel förekommer internationellt och de kallas för *hydraulic road binders* (HRB). Utöver de hydrauliska bindemedlen förekommer olika former av polymerer samt bitumen som bindemedel i stabiliseringskonstruktioner (Franzén et al., 2012). Bitumen används dock mer i överbyggnadsstabiliseringar där kornfraktionerna är större.

En av de viktigaste egenskaperna för blandade bindemedel är den arbetstid som blandningen kan behandlas vid utläggning. I de flesta blandningar ökar arbetstiden och det ger en större flexibilitet och en större möjlighet att nå önskad kompaktering (Lindh, 2004).

3.6 Kemiska processer

Vid stabiliseringsprojekt önskas bättre deformations- och hållfasthetsegenskaper. För att befintlig jord i väglinjen ska kunna få de egenskaper krävs att något av de tidigare beskrivna bindemedlen fräses in i den befintliga finkorniga jorden. Det som sker då är olika former av kemiska processer som ger den önskade effekten av stabiliseringskonstruktionen. De olika bindemedlen reagerar olika men härdningsprocessen för de olika bindemedlen är någorlunda likartad (Franzén et al., 2012).

Det som sker vid härdning är att bindemedlet blandas genom fräsning med den fuktiga jorden eller krossmaterialet och reaktionerna startar. Vissa av bindemedlen reagerar direkt medan en del reagerar lite långsammare. Reaktionshastigheten varierar på grund av innehållet av de viktigaste komponenterna, CaO, SiO₂ samt Al₂O₃ (Franzén et al., 2012).

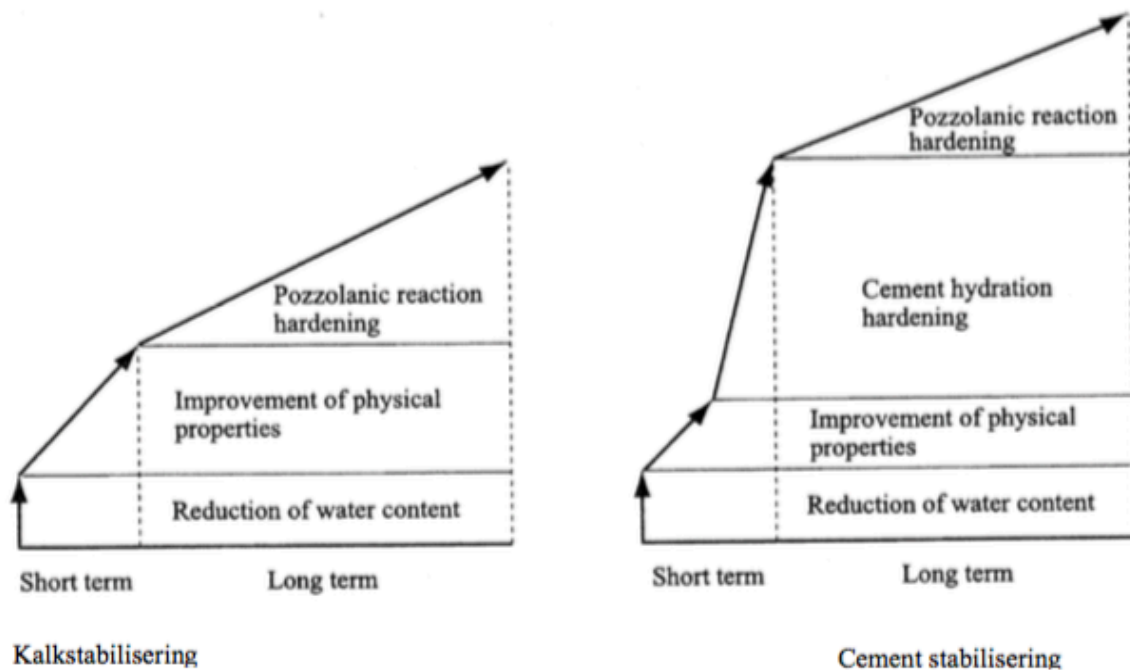
3.6.1 Reaktioner med kalk

När kalk blandas med den finkorniga jorden sker olika reaktioner beroende på om det är bränd eller släckt kalk. När bränd kalk med en stor andel CaO blandas med lera sker en reaktion med vattnet i leran och kalciumhydroxid bildas till följd av detta (Franzén et al., 2012). Generellt ser kalciumhydroxiden till så att jonbyte modifierar jorden till större, torrare fraktioner (Andersson L. , 1960). De kalciumhydroxidjoner som ej reagerat med vatten reagerar i ett senare skede med olika aluminium- och kiselföreningar i jorden (Franzén et al., 2012). Kujala menar att puzzolana reaktionerna är temperaturberoende och att de ökar med ökande temperaturer (Kujala , 1984). Under 7 °C är reaktionen väldigt långsam. Den processen tar tid och den leder på sikt till en bättre hållfasthet för konstruktionen. Kalciumhydroxiden kan också reagera med koldioxiden i luft och på så vis bilda kalciumkarbonat som även det ger en ökad hållfasthet. Denna reaktion är dock vanligare vid murning (Franzén et al., 2012). En annan detalj inom härdningsprocessen för bränd kalk är den potentiella direkta hållfasthetsökning som kan uppstå på grund av koaguleringen som inträffar då lerpartiklarna klumpar ihop sig och blir som en grövre friktionsjord (Franzén et al., 2012).

3.6.2 Reaktioner med cement

När cementstabilisering härdar så är det istället ett kalciumsilikathydrat, en så kallad CSH-gel som bildas när cementen reagera med vattnet. Cementen har den egenskapen att cementeringsprocessen startar relativt fort i samband med hydratationen. I likhet med kalken, bildas även kalciumhydroxid som sedan kan reagera med silikater och aluminater i jorden genom puzzolana reaktioner (Franzén et al., 2012). Cement kan reagera vid låga temperaturer och kan då vara att föredra i vissa sammanhang (Lindh, 2004). Även inom cementeringsprocessen bidrar detta till stabiliseringens ökade hållfasthet (Franzén et al., 2012). Under cementens hydratation sker även reaktioner med mineraler direkt i bindemedlet själv, vilket även det kan leda till en snabbare cementeringsprocess.

I figur 3 nedan syns en skillnad i härdningstid mellan kalk och cement under kort och lång sikt.



Figur 3 - Skillnaden i härdningstid mellan kalk och cement. X-axeln är tid och y-axeln visar en illustrativ bild av härdningsnivå. (Kitazume & Terashi 2002)

3.6.3 Reaktionen med slagg

Som det beskrivits i tidigare avsnitt så fungerar stabiliseringar med slagg som bindemedel som bäst när den blandas med kalk eller cement. Slagg är ett latent hydrauliskt bindemedel, vilket innebär att det reagerar med vattnet på ett liknande sätt som cement och kalk gör. Dock är det så att slaggen kan behöva någon form av aktivator, oftast i form av en alkalisk aktivator (Taylor, 1997). Enligt Lindh (2004) har forskningar kring slaggprodukten Merit 5000 visat att den kan härda utan hjälp av tillsatta alkaliska aktivatorer men detta är beroende av jordens sammansättning. Skillnaden blir att härdningsprocessen och hållfasthetstillväxten sker i ett långsammare tempo. Slagg har förmågan att det på lång sikt oftast bidrar till en tätare stabilisering som blir något mer hållfast än motsvarande stabilisering av cement (Franzén et al., 2012). Slagg används idag mest i organiska jordar eller i förorenade jordar.

Binder classification	Crushed rock	Well graded gravel	Silty/clayey gravel	Sand ^a	Sandy/silty clay	Heavy clays
GP Cement	1	1	1	2	2	3
GB Cement	1	1	1	1	1	2
Cementitious blend	1	1	1	1	1	2
Lime	2	2	1	3	2	1
Lime&cement	3	3	2	3	2	1
Lime & fly ash	3	1	1	3	2	2
Bitumen	1	1	2	2	3	3
Bitumen/Cement	1	1	2	2	3	3
Insoluble polymer	2	1	1	3	1	2

a. Depends upon grading, uniform sands require higher additive contents

Figur 4 - Bindemedels lämplighet i olika jordar. Värdet 1 är oftast lämpligt, 2 är tillfredsställande och 3 är oftast olämpligt. (Anon 1999)

3.6.4 Temperaturpåverkan

För att härdningsprocessen för de olika bindemedlen ska förlöpa på rätt sätt kan det i en del fall krävas bra väderförhållanden för att de kemiska reaktionerna i det stabiliserade materialet ska sättas igång. Vintertid kan de kemiska reaktionerna i härdningsprocessen avstanna helt på grund av den kalla temperaturen. Ju högre temperatur som råder under härdningen ökar hållfasthetstillväxten markant (Franzén et al., 2012).

3.7 Jordmaterials påverkan

Likt temperaturens påverkan på härdningsprocessen kan andra faktorer ha en betydelse för hållfasthetstillväxten. Föroreningar i jorden, organiskt material eller olika typer av påskyndande eller bromsande effekter kan också finnas i jorden (Åhnberg, 2006).

Lerjordar är vanliga i Sverige och framför allt de olika formerna av morän. Lermineraler är den största beståndsdelen i lerjordar och jonbytet kan skilja något i kapacitet mellan olika jordar. De vanligaste lermineralerna i lerjordar är illit, klorit etc. Varje jord är unik i sin uppbyggnad och struktur vilket gör att antagande om samma dimensionering för stabilisering i alla jordar inte kan göras (Franzén et al., 2012).

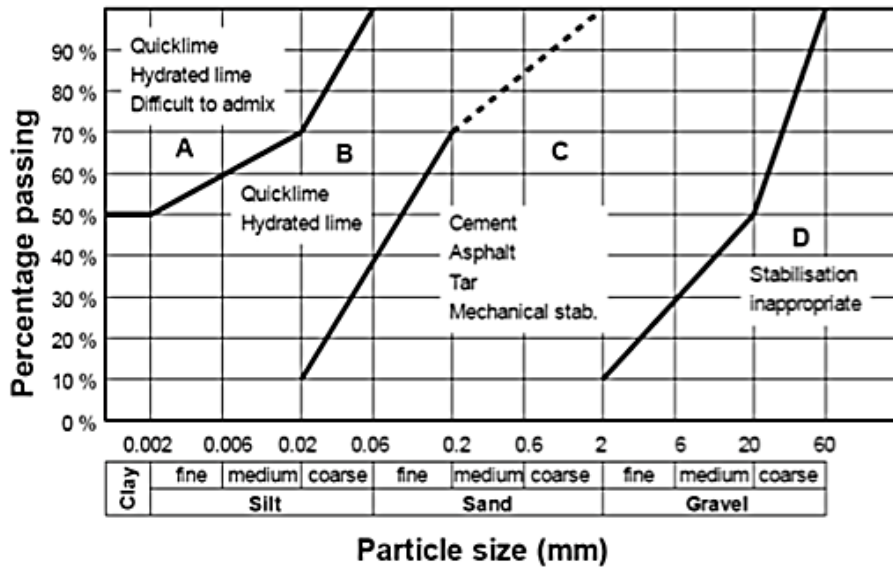
Två andra viktiga aspekter som påverkar stabiliseringens egenskaper och hållfasthet är jordens plasticitet och vatteninnehåll. Enligt danska Vejdirektoratet (2010) är plasticitetsindex $I_p \geq 5\%$ godkänt för jordar som ska stabiliseras (Vejdirektoratet, 2010). Ungefär samma regler gäller enligt svensk standard, SS-EN 14227-11 (2006). Plasticitetsindex används som ett mått på hur lämpligt ett jordmaterial är för stabilisering. Vatteninnehållet har tidigare beskrivits för de olika bindemedlen. Beroende på mängden vatten i jorden väljs rätt bindemedel. De olika bindemedlen kräver olika stor mängd vatten. Exempelvis kräver den släckta kalken inte samma mängd vatten som den brända (Lindh, 2004).

En jords organiska innehåll påverkar i stor grad också hur stabiliseringen ska dimensioneras. Olika bindemedel reagerar annorlunda beroende på hur stor mängd organiskt material som jordarna innehåller. Exempelvis, kalk reagerar med mineralerna i jordarna vilket innebär att de inte är lika praktiska i jordar med ett stort innehåll av organiskt material. Istället kan framför allt slagg och cement användas till rent organiska jordar, så som torv och gyttja (Franzén et al., 2012).

Stora mängder sulfathalter och andra kemiska ämnen kan även de påverka stabiliseringen. Sulfathaltiga jordar kan leda till ettringitbildning som i värsta fallet kan expandera och på så vis skada stabiliseringen (Svensk standard, 2006). Likt de generella råd och krav som finns på provtagning av jordar gäller även här speciella tester av jordar för att på så vis kunna beräkna och motarbeta potentiella fall av ettringit (Franzén et al., 2012). I USA används en generell regel för hur stor sulfathalt som jorden får innehålla innan ytterligare åtgärd krävs. En sulfathalt på mer än 0,3% i jordens porvatten ger en betydligt större risk för expansion i stabiliseringen (Little & Nair, 2009).

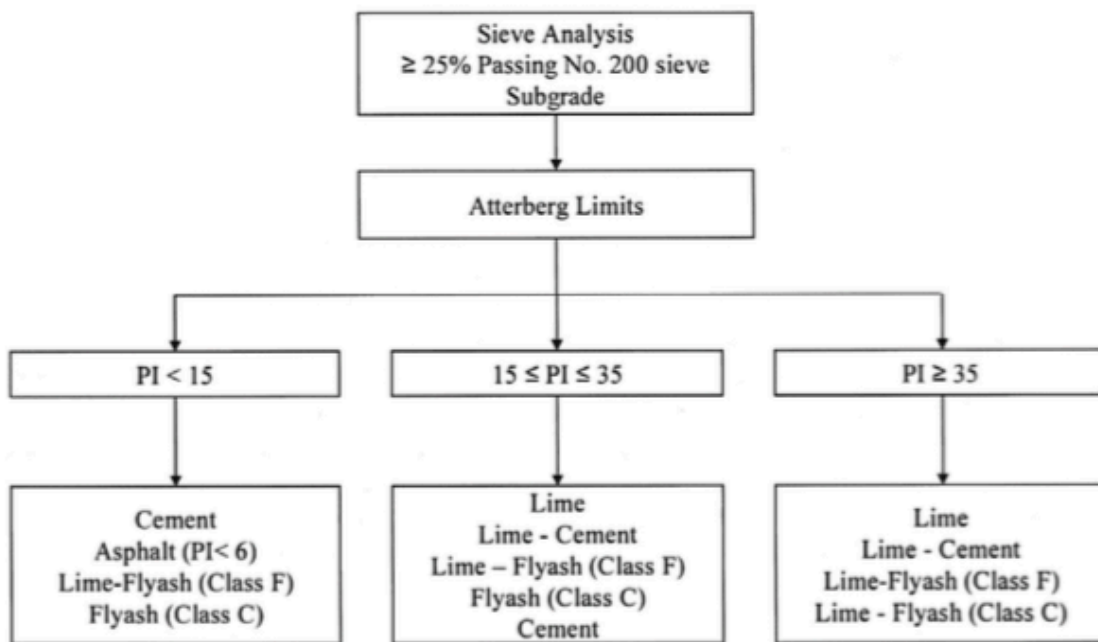
3.8 Att tänka på vid val av bindemedel

Under kapitlets gång har det förklarats hur de olika bindemedlen reagerar med olika typer av jordar och fraktioner. I figur 5 nedan syns en grov fördelning kring vilka bindemedel som är lämpliga för olika jordar.



Figur 5 - Grov fördelning av bindemedels lämplighet i olika jordar. (Assarsson 1968)

Amerikanska erfarenheter kring val av bindemedel presenteras i figur 6 här under (Little & Nair 2009). Figuren visar lämpligt bindemedel utifrån erfarenheter där mer än 25% av jorden har mindre kornfraktion än 0,074 mm.



Figur 6 - Amerikanska erfarenheter från val av bindemedel. (Little & Nair 2009)

Det är inte bara erfarenheter med vilken jordart som passar bäst till vilket bindemedel som är intressant utan även i vilka proportioner som blandade bindemedel ska ha. I figur 7 nedan redovisar British Lime association (BLA) hur de anser att bindemedlen kan blandas (British lime association, 2011). Figuren visar blandade bindemedel för stabilisering med kalk som bas.

	Kalk (bränd)	Slagg	Cement
Enbart kalk	2,5–4,5 %		
Kalk/slagg	1,5–2 %	1,5–3,5 %	
Kalk/cement	1,5 %		1,5–3,5 %

Figur 7 - Mängden bindemedel i stabiliseringar beroende på vald blandning. % utgörs av total jordvolym. (BLA 2011)

3.9 Hållfasthetsegenskaper

Den viktigaste egenskapen som eftersträvas vid stabiliseringsprojekt är en större lastspridning, ökad hållfasthet samt förbättrade deformationsegenskaper. I samband med de provtagningar som görs på den valda projekteringsplatsen bestäms vilket bindemedel som är lämpligt för just den specifika platsen. Proverna analyseras i laboratoriet och den rätta mängden bindemedel beräknas. Med hänsyn till de olika bindemedels- och jordartsblandningar som finns är också uppmätta och uppskattade hållfasthetsvärden varierande (Franzén et al., 2012).

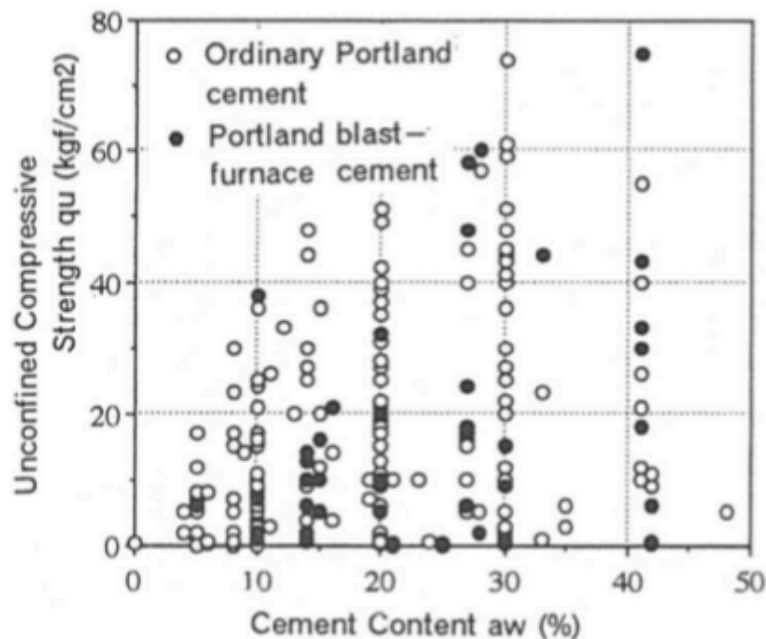
3.9.1 Tryckhållfasthet

Cementstabiliserade jordar har delats in flera olika klasser efter uppmätta tryckhållfastheter. De värden varierar mellan 0,4 och 16 MPa, men även något högre värden än så. Detta intervall är något annorlunda för kalk, som har tryckhållfasthetsintervall mellan 0,2-1,0 MPa. Slagg- och flygaskastabiliserade jordar har tryckhållfasthetsintervall på mellan 0,4 – 9 Mpa (Svensk standard , 2006).

Enligt Amerikanska studier bör en cementstabiliserad jord ha en minsta enaxlig tryckhållfasthet efter sju dygn på cirka 1,7 Mpa och vid färdig härdningsprocess en tryckhållfasthet på 5 Mpa (Little & Nair, 2009). Tryckhållfastheten i jordarna mäts normalt genom enaxliga tryckförsök på provkroppar.

3.9.1.1 Påverkande faktorer

För en god tryckhållfasthet spelar olika parametrar en viktig roll. En av de viktigaste faktorerna för en bra hållfasthet är bindemedelmängden. För cementstabiliserade jordar kan mängden cement vara direkt avgörande på den sluthållfasthet som stabiliseringen får. Rent generellt gäller att en ökad mängd cement i stabiliseringen leder till en ökad tryckhållfasthet (Franzén et al., 2012).

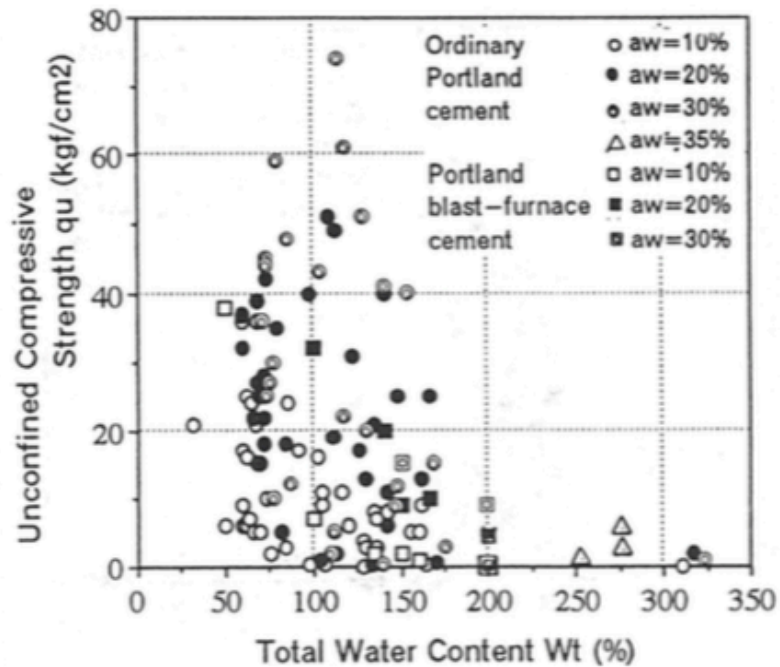


Figur 8 - Cementmängdens betydelse för stabiliseringens hållfasthet.
(Babasaki et al. 1996)

Det ska dock nämnas att i vissa jordar uppstår en viss tröskeleffekt som fungerar som minsta acceptabla värde och att överstigande mängd cement sedan förbättrar hållfastheten avsevärt (Franzén et al., 2012).

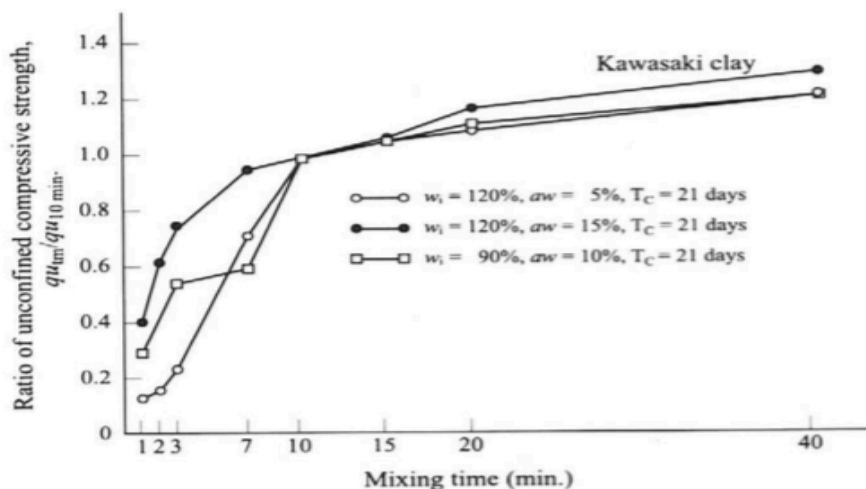
För kalk som bindemedel gäller att hållfastheten ökar med mängden kalk upp till en viss maxnivå. Överstigande mängd kalk ger sedan snarare ett minskat hållfasthetsvärde över tid. Det gäller alltså att nå maxpunkten och inte överstiga denna (Franzén et al., 2012).

Vilken typ av jord som råder i stabiliseringen har i yttersta grad en stor påverkan på hur hållfastheten för stabiliseringen blir. I följande figur 9 nedan beskrivs hur vattenkvotens inverkan påverkar hållfastheten. Hållfastheten ökar med minskade vattenkvoter (Babasaki et al., 1996). Andra viktiga aspekter är mängd organisk halt etc.



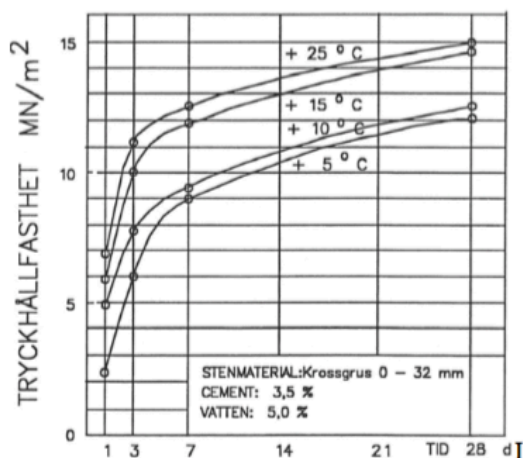
Figur 9 - Vattenkvotens påverkan på stabiliseringens hållfasthet. (Babasaki et al. 1996)

Inblandningen som sker vid utläggningen är oerhört viktig för tryckhållfasthetens resultat. I figur 10 nedan visas inblandningens viktiga roll för sluthållfastheten. Både för kalk och cement.



Figur 10 - Inblandningens roll för sluthållfastheten. (Kitazume & Terashi 2002)

Som tidigare nämnts är även härdningstemperaturens inverkan på den slutliga hållfastheten i stabiliseringen av jordar. Med en ökad härdningstemperatur förbättras hållfasthetstillväxtens tidsmässigt (Franzén et al., 2012). Nedan i figur 11 visas skillnaden i hållfasthetstillväxten med ökad temperatur.

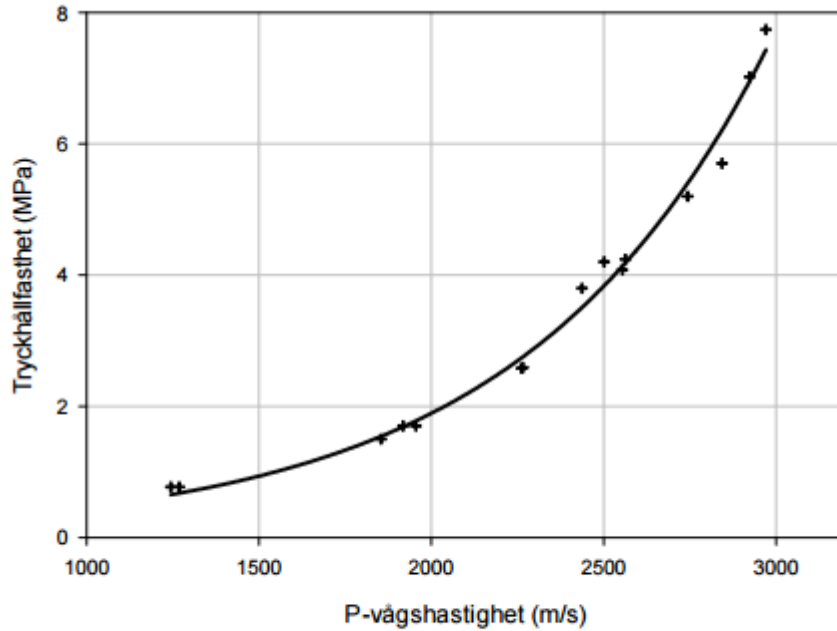


Figur 11 - Härdningstemperaturens påverkan på hållfasthetstillväxten. (Franzén et al. 2012)

Variation i härdningstiderna kan uppstå beroende på vilken typ av jord som råder och valt bindemedel. Vidare kan även temperaturhöjning bidra till accelererande provning i laboratorier (Franzén et al., 2012).

Rydén et al (2006) beskriver tryckhållfasthetens samband med seismisk våghastighet. Sambandet mellan seismisk våghastighet och hållfastheten varierar något beroende på vilken typ av jord som stabiliserats. Dock ger seismiska vågmätningar på stabiliserade jordar med

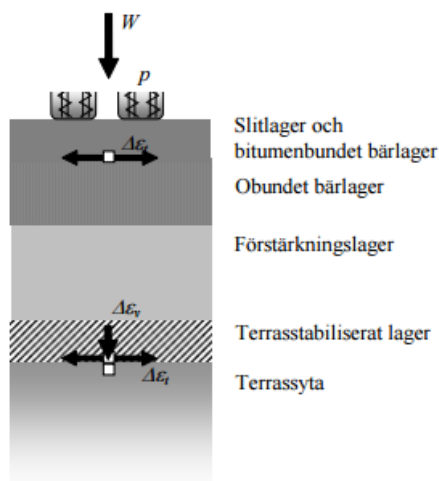
en vattenkvot på mer än 40 % relativt jämn fördelning oberoende av vilken typ av jord som råder (Rydén et al., 2006). Detta innebär att en uppskattad tryckhållfasthet kan bedömas utan att förstöra provytan. I figur 12 nedan ses ett sådant exempel.



Figur 12 - Tryckhållfastheten i förhållande till kompressionsvågshastigheten i en stabiliserad finkornig morän. (Rydén et al. 2006)

3.9.2 Draghållfasthet

Likt tryckhållfasthetens inverkan på den stabiliserade vägen spelar draghållfastheten i det stabiliserade lagret roll. Detta beror på de dragpåkänningar som kan uppstå i närheten av terrassytan när vägen belastas av trafik (Franzén et al., 2012). I figur 13 nedan visas dragpåverkan i terrassytan.



Figur 13 - Dimensioneringskriterier för en vägs överbyggnad där terrassen stabiliserats. Det uppstår då ett nytt kriterium för dragtöjning i underkant av terrassmaterialet. (Franzén et al. 2012)

Ett problem med att bestämma draghållfastheten med mätningar är att det är svårt att utföra i en vägkonstruktion. Istället används oftast empiriska modeller mellan drag- och tryckhållfasthet för att en uppskattning av draghållfasthetspåverkan ska kunna göras. Enligt uppmätta värden och de olika empiriska sambanden som finns uppskattas kalk- och cementstabiliserade jordars draghållfasthet till att vara ca 15 % av tryckhållfastheten. Den här uppskattningen gäller för provtagning på lerjordar med en maximal enaxlig tryckhållfasthet på 200 kPa (Kitazume & Terashi, 2002). Då enaxliga dragförsök och böjprovningar av den stabiliserade jorden antingen ger ett för högt värde eller ett för lågt värde på draghållfastheten används oftast enaxliga tryckhållfasthetsförsök (Franzén et al., 2012).

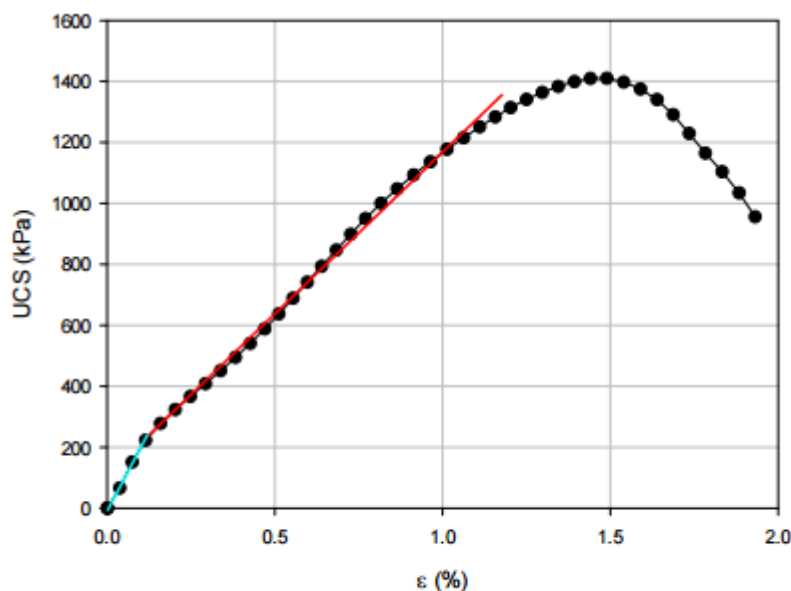
Enligt Höbeda (1985) uppstår dragspänning i det stabiliserade lagret på grund av hydratationen. Dessa dragspänningar kan spridas till övriga lager och så kallade reflektionssprickor kan uppstå. Sprickor i ytbeläggningsen uppstår vanligtvis också, men de är inte obehagliga för bilisten att köra på och inte heller något som påverkar konstruktionens hållfasthet (Höbeda, 1985). De här typerna av problem är de vanligast förekommande problem med kalk- och cementstabilisering enligt Höbeda (1985). På yttre ringvägen i Malmö har krympning skett där man byggt en högtrafikerad motorväg med en CBÖ. Där har reflektionssprickorna varit störande och hela vägen upplevts som ojämn att köra på (Dolk, 2016).

3.10 Deformationsegenskaper

Likt de viktiga egenskaper som en god hållfasthet ger en stabiliserad vägkonstruktion är det stabiliserade lagrets deformationsegenskaper viktiga för vägens konstruktion. Styvheten i det terrasstabiliserade lagret bidrar nämligen med en ökad styvhet i asfaltlagret och på så vis kan exempelvis spårbildning minskas. Ett samband med hållfasthetsegenskaperna i övrigt är att en ökad hållfasthet ger en ökad styvhet. En stor skillnad från hållfasthetsaspekterna är att deformationsegenskaperna inte påverkas särskilt mycket av vilket bindemedel som används (Franzén et al., 2012).

Enligt Åhnberg (2007) styrs inte spännings-töjningssambandet som uppstår av de ämnen som blandas in utan istället av den hållfasthetsnivå som uppnåtts. I och med sambandet mellan deformation och hållfasthet förbättras deformationsegenskaperna, alltså styvheten, i takt med hållfastheten (Åhnberg, 2007). Där av minskar deformationen vid brott. Det kan exempelvis innebära minskade spårdjup. Vid enaxligt tryckhållfasthetsförsök minskar brottdeformationen för stabiliserade leror vanligtvis med 1-3 % vid tryckhållfastheter på upp emot 100 kPa. Vid högre tryckhållfastheter än 500kPa anges en minskning av brottdeformationen på 0,5-1 % (Franzén et al., 2012). Dock kan styvheten minska i stabiliseringen på grund omkringliggande spänningar.

I samband med de rutinmässiga provtagningar som görs innan en stabilisering ska utföras kan proverna ge en viss information kring hur materialets styvhet är och vilken potential den har i den färdiga stabiliseringen. Här nedan visas ett exempel på hur den uppmätta hållfastheten förhåller sig till deformationsegenskaperna (Lindh P., 2000)



Figur 14 - Ett exempel på uppmätt hållfasthet mot deformationen vid ett enaxligt tryckhållfasthetsförsök på en kalkstabiliserad lermorän. (Lindh 2000)

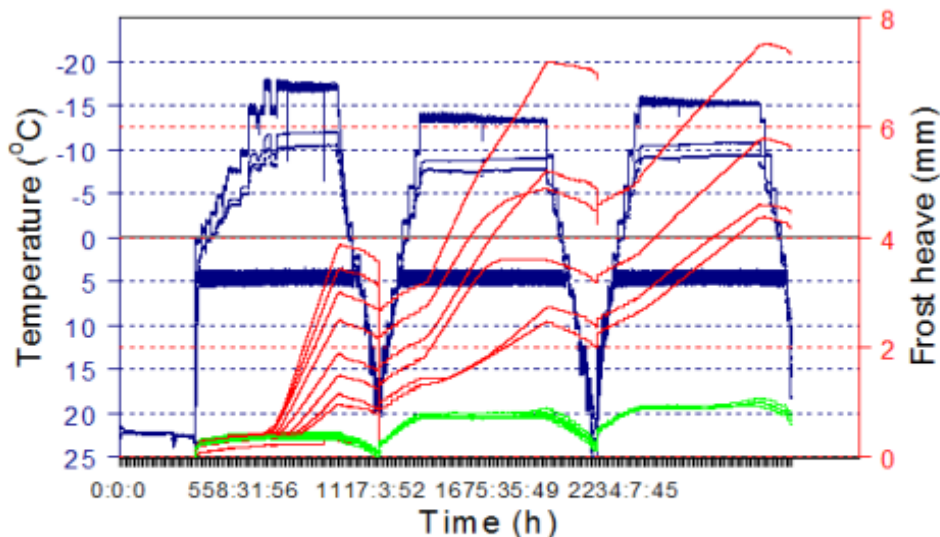
Elasticitetsmodulerna för de olika jordmaterialen och den färdiga stabiliseringen är en viktig del när det kommer till beräkningar och jämförelser av spännings-töjningssamband. De viktigaste elasticitetsmodulerna för stabiliseringar är de som betecknas E_0 och E_r (Franzén et al., 2012). E_0 står för små deformationer medan E_r innebär resilientmodulen. Enligt Franzén et al. (2012) ökar E_0 i takt med att hållfastheten ökar och det finns inga direkta skillnader mellan olika material.

Deformationen i stabiliseringen har utöver de ovanstående nämnda faktorerna även påverkan av tvärkontraktionstalet, som även kallas för Poissons tal eller konstant. Poissons tal innebär kortfattat materialets egenskaper vid töjning och drag. När ett material utsätts för tryck och drag i ena änden, sker en töjning i den andra riktningen. Poissons tal är sedan ett värde på detta. Poissons tal har visat sig att variera mellan 0,25-0,45 i cementstabiliserad jord (Kitazume & Terashi, 2002). Motsvarande värde hos Danska vejdirektoratet är 0,4 (Vejdirektoratet, 2010). Vid mätningar i olika jordar har det även visats att tvärkontraktionstalet inte skiljer sig beroende på ökande tryckhållfasthet (Franzén et al., 2012).

3.11 Dimensionering av vägkonstruktioner med stabilisering

3.11.1 Frostbeständighet

Vid dimensionering av stabiliserade jordar är det av yttersta vikt att ta reda på hur den tänkta konstruktionens egenskaper förändras när det utsätts för upprepade nedfrysningar och tiningar. Denna metod kallas för frys/tö-provning och tanken är att utsätta stabiliseringsprover för en verklighetsbaserad nedfrysning och tining. Denna process görs i flertalet cykler för att en hållfasthet ska kunna tas fram efter en rad provtagningar (Franzén et al., 2012). Lindh (2004) har undersökt hur en cement- respektive kalk/slaggstabiliserad jord provats under flertalet cykler. Resultat av dessa visar att kalk/slaggstabiliseringar är mindre känsliga för påverkan av frys/tö än vad den cementstabiliserade jorden är. Resultatet av de undersökningarna kan ses i figur 15 nedan.



Figur 15 - Visar hävning för cementstabiliserade prover (röd linje) och kalk/slaggstabiliserade prover (grön linje). Den blå linjen är temperaturen. Temperaturskalan är inverterad. (Lindh 2004)

Danska vejdirektoratet (2010) ger Lindh medhåll då de anser att iblandning av kalk i en stabilisering förbättrar dess frostbeständighet. Franska erfarenheter visar på att stabiliseringen ska ha uppnått en viss hållfasthet innan den utsätts för frost. En tryckhållfasthet på minst 2,5 MPa ska ha nåtts. Dessutom ska stabiliseringen fått härda i minst 3 månader innan den fryses ned första gången. De här tumreglerna gäller vanligtvis för kalk (Franzén et al., 2012). Utöver detta ska draghållfastheten vara minst 0,25–0,3 MPa beroende på om bindemedlet är hydrauliskt eller ej. Det högre värdet gäller för hydrauliskt bindemedel (Franzén et al., 2012). I (Franzén et al., 2012) har frys/tö-metoden kritiserats på grund av provkropparnas brist på sidostöd efter 17 dygn i cylindrar.

3.11.2 Förutsättningar vid dimensionering

En färdigbyggd vägkonstruktion utsätts med tiden av både klimat, belastning och yttre påverkan. Beaktning av dessa faktorer är viktiga för att en bra vägkonstruktion ska kunna byggas. Vägkonstruktioner kan skilja sig något från övriga typer av konstruktioner, framför allt beroende på hur trafiklasten varierar över både tid och rum. Även omgivningens påverkan ger en annorlunda situation än vid övriga konstruktioner och samma situation behöver inte gälla längs hela sträckan. Fenomenet brott innebär vanligtvis att applicerad spänning överstiger materialets hållfasthet. Vid vägkonstruktioner är däremot de applicerade belastningspulserna som trafiken utför mycket mindre än materialets hållfasthet (Franzén et al., 2012). Detta innebär att en enda belastning inte ensam kan bidra till att brott uppstår. Istället kommer varje liten belastningspuls från trafiken bidra med en del av nedbrytningen. När ett tillstånd som anses oacceptabelt nås antas vägen ha nått brott (Franzén et al., 2012).

3.11.3 Brottkriterier

Att ta hänsyn till olika brottkriterier vid dimensionering är även det en viktig aspekt. Brottmekanismerna är sprickbildning som uppstår i hjulspåren samt komprimering i varje lager material, som i vägytan definieras av spårbildning. Sprickbildningen är i högsta grad ett fenomen som uppstår i överbyggnaden, framför allt i de bundna lagren men även i det obundna bärlagret. Spårbildningen däremot påverkas av terrasstabiliseringen i den grad att spårbildning som beror på underliggande material i terrassen minskar avsevärt (Franzén et al., 2012). Terrasstabiliseringen bidrar inte särskilt till överbyggnadens deformationsegenskaper mer än att den påverkar förstärkningslagrets packning och på så vis indirekt bidra till minskad spårbildning i överbyggnaden (Agardh & Parhamifar, 2014).

3.11.4 PMS-Objekt

I Sverige används vanligtvis PMS-Objekt vid dimensionering av vägar. PMS-Objekt bygger på Trafikverkets regler och krav, så som TRVK väg och TRVR väg. Utöver detta behandlas även tidigare Vägverkets krav som ställs i ATB Väg 2005 (Vägverket, 2005). Enligt (Franzén et al., 2012) kan de dimensioneringsprinciper som gäller i Sverige beskrivas med hjälp av tre kortfattade punkter:

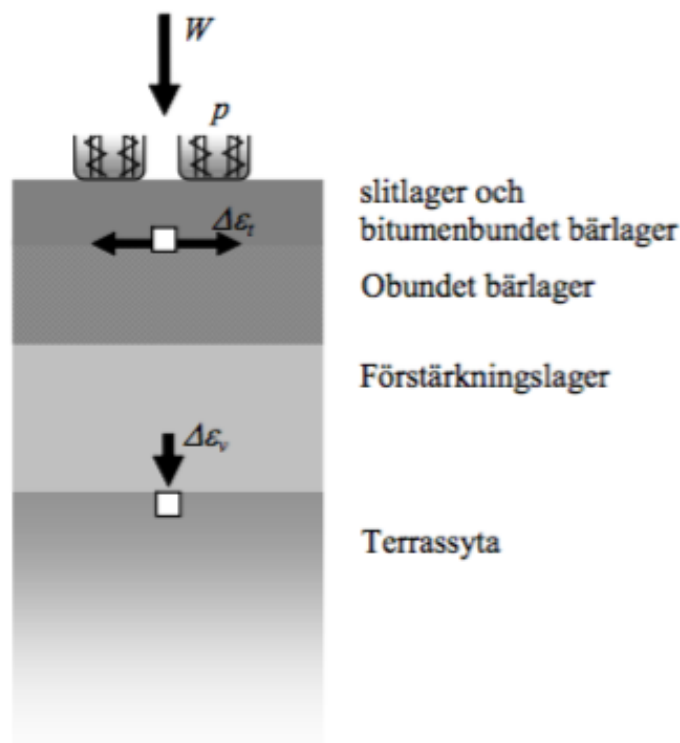
1. Alla trafikklaster görs om till standardaxlar med hjälp av fjärdepotensprincipen. Fjärdepotensprincipen ges av $N_{Ekv} = N_i * \left(\frac{P_i}{P}\right)^4$. N_{Ekv} innebär antalet ekvivalenta standardaxlar, N_i är antalet belastningar med axeltrycket P_i , P_i är aktuell axellast som ska räknas om till standardaxellast (ton) och P är standardaxellast (10 ton enligt svenska normer) (Agardh & Parhamifar, 2014).
2. Responserna i strukturen ska bestämmas med hjälp av en linjär analys på två kritiska nivåer. Horisontell dragtöjning $\Delta\varepsilon_t$ i underkanten av bunden del (sprickkriterium) samt vertikal trycktöjning $\Delta\varepsilon_v$ i överkant av terrassmaterialet (spårkriterium).
3. $N_f = k_1 * \left(\frac{1}{\Delta\varepsilon_t}\right)^{n_1}$ ger sprickkriteriet och $N_d = k_2 * \left(\frac{1}{\Delta\varepsilon_v}\right)^{n_2}$ ger spårkriteriet (Trafikverket, 2011). N står för antalet belastningspunkter till brott, k och n är materialegenskaper och $\Delta\varepsilon_t$ och $\Delta\varepsilon_v$ är maximal dragtöjning underkant

bitumenbundet bärlager respektive maximal trycktöjning på överkanten av terrassytan (Franzén et al., 2012). Detta är de två utmattningskriterierna som ger ackumulerad nedbrytning. Testerna görs efter indelning i klimatperioder baserat på ett år.

Materialegenskaperna k och n kan bestämmas med hjälp av olika laboratoriemetoder. Efter dessa beräkningar utförts tas en förstöringsfaktor, D , fram via Miners lag. Miners lag används för att summera de olika klimatperiodernas påverkan (Franzén et al., 2012).

$$D = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^5 \frac{n_{ij}}{N_{ij}}$$

Här är n_{ij} uppskattad trafikmängd under klimatperioden j och år i . Antalet klimatperioder är generellt fem perioder per år. Förstöringsfaktorn D bör enligt Trafikverket sedan vara $D \leq 1,0$ (Franzén et al., 2012). I figur 16 nedan fås en överblick av var dragtöjningen och trycktöjningen uppstår.

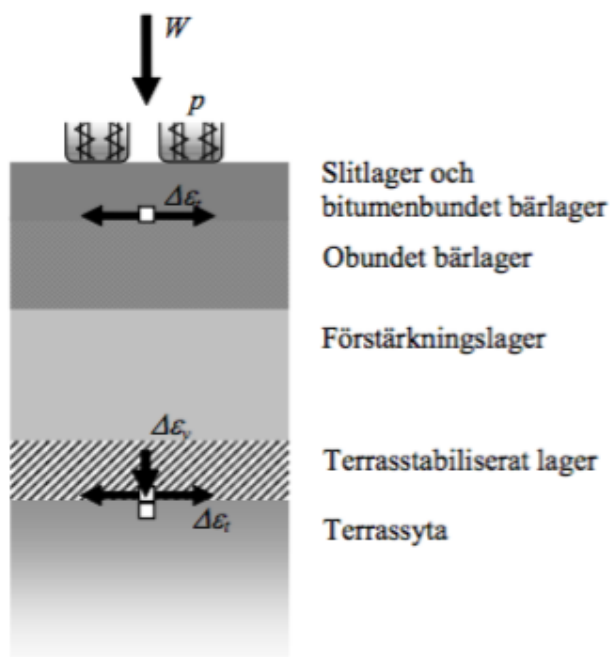


Figur 16 - Visar var dragtöjning uppstår i en traditionell GBÖ-konstruktion. (Franzén et al. 2012)

3.11.5 Förutsättningar i PMS-Objekt för stabiliseringar

Vid dimensioneringsberäkningar i PMS-Objekt finns ett par förutsättningar för vägkonstruktionen som behöver ändras. PMS-Objekt har förvalda typer av terrasser, ingående material i överbyggnaden samt givna E-moduler för olika material. För att kunna skapa en så verklighetsbaserad modell som möjligt i PMS-Objekt krävs att ett nytt lager läggs in manuellt i konstruktionen. Det nya lagret, stabiliseringen, ska placeras på den plats i konstruktionen där den hör hemma, vanligtvis mellan förstärkningslager/bärlager och terrassen. Styvheten i detta material är oftast högre än de material som ligger på båda sidor om stabiliseringen (Franzén et al., 2012). Lagret kan betraktas som en tunn balk. För att få en bra modell krävs laborationer från den tänkta platsen och en analys av vilket bindemedel, jordart etc. som ska användas. Framtagna E-moduler genom laborationer kan användas och sättas in i PMS-Objekt och på så vis kan konstruktionen dimensioneras samt olika krav beräknas (Franzén et al., 2012). Enligt Per Lindh är modulerna i PMS-Objekt inte samma moduler som plockas fram i labb. Därför kan laboratoriebestämda moduler inte användas rakt av. Detta är en brist hos PMS-Objekt⁶.

I konstruktionen kommer en extra dragtöjning i stabiliseringen att uppstå. Denna dragtöjning tillkommer utöver den dragtöjning som finns i underkant bundet material. Spårkriteriet förflyttas ner till överkant av obehandlad terrass, då det är där trycktöjningarna kommer att uppstå. De tidigare beräkningsmodellerna för spår- och sprickkriterium kan användas, dock ska nya k och n tas fram med hjälp av laborationer (Franzén et al., 2012). I figur 17 nedan ses en överbyggnadskonstruktion med stabilisering och vart dragtöjningarna och trycktöjningen uppstår.



Figur 17 - Visar var dragtöjningen uppstår i stabiliserad vägkonstruktion. (Franzén et al. 2012)

⁶ Per Lindh – Samtal 1/6-2017.

Enligt Franzén et al. (2012) ska det stabiliserade lagret antas vara uppsprucket på grund av att det utsätts för last och klimatpåverkan. På så vis blir inte det nya sprickkriteriet dimensionerande och därför behöver inte det tas med vid beräkningar i PMS-Objekt. Däremot tas hänsyn på grund av det uppspruckna materialet i spårkriteriet där en reduktion av E-modulen ska tas i beaktande (Franzén et al., 2012). I ett slutskede är det stabiliserade lagret uppsprucket men tiden till när det infaller är osäkert⁷. Att uppskatta värden på denna reduktion är idag svårt, då erfarenheten och framtagna data är otillräcklig. Långtids laboratorieförsök krävs för bästa värde för reducerad E-modul. Enligt Franzén et al. (2012) kan reduktionen sättas till 50 % som utgångspunkt.

Det som är viktigt att känna till är att det inte finns några dimensioneringsanvisningar för stabiliseringar i Sverige. Dock kan kunskap hämtas in från andra länder och genom de viktiga laborationer som görs i samband med dimensioneringen av stabiliseringen kan förhoppningsvis bra konstruktioner uppnås. Det arbetas på att få fram nya metoder i Sverige och egna dimensioneringsregler som passar in på våra förutsättningar, men än så länge får projektörerna använda sig av PMS-Objekt, laborationer och geotekniska kunskaper för att ta fram de bästa möjliga stabiliseringskonstruktionerna (Franzén et al., 2012).

⁷ Per Lindh – samtal den 16/3 -2017

3.12 Produktion och utläggning

Stabilisering kan utföras på plats, vilket är det vanligaste, eller i samband med schakt som är en metod som man endast använder vid anläggning av bank. Dessa kan utföras med mobilt blandningsverk eller med bindemedelsspridare och stabiliseringsfräs. Mindre vanligt är att använda sig av en djupharv eller tjältand för att blanda ner bindemedlet i jorden. Vid fyllning handlar valet av stabiliseringsmetod oftast om vilken utrustning som finns att tillgå samt produktionstekniska överväganden (Franzén et al., 2012).

Under de senaste 10 åren har utrustningen som använts inom stabilisering utvecklats och förbättrats så att arbetet kan ske mycket mer effektivt än tidigare. Här framhävs möjligheten att blanda bindemedel för att öka kvalitén på stabiliseringen. Förutom utrustning att sprida och fräsa ner bindemedlet behövs vanligtvis packningsutrustning, väghyvel för nivåjustering, lagerhållning för bindemedel och spridare för bindemedlet samt vatten. Beroende på hur specifika förutsättningar i projektet kan utrustningen ändras efter behov.



Figur 18 - Traktor med fräsutrustning. Foto: Per Lindh

Innan arbetet påbörjas bör området som skall stabiliseras luckras och rensas från block och sten (Smith , 1996). En luckring inför stabiliseringsarbetet kan medföra mindre fräsningsarbete behöver utföras efter bindemedelsspridningen men också att underlaget blir ojämnare vilket leder till mer justeringsarbete.

Första steget i arbetet med stabilisering är att sprida bindemedlet. Det görs med bulkbilar/släp som är utrustade med speciella trippmätare och lastceller. Mängden spritt bindemedel kan då kontinuerligt avläsas av chauffören allt eftersom arbetet fortskrider. Är bindemedelshalten stor eller bindemedlet består av mer än en komponent kan detta spridas i olika omgångar. Fördelen med flera utkörningar av flerkomponentsbindemedel är att det inte behöver förblandas och att flexibiliteten blir större. Däremot blir risken för damning större vilket inte ska underskattas då bindemedlen är basiska och frätande (Franzén et al., 2012).

Infräsning av bindemedlet sker oftast med stabiliseringsfräs och till önskat djup. Dock bör detta djupet inte vara mer än 400 mm då det kan resultera i problem med packningen (Franzén et al., 2012). Förutom att blanda in bindningsmedlet är fräsningen till för att skapa en homogen jord (Lindh, 2004). Underlaget kan avgöra kvalitén på fräsningen eftersom ojämnheter där kan medföra att djuphållningen ändras och att bindemedelsinblandningen skiljer sig. Självgående fräsar med individuell hjulupphängning och som är kopplade till ett datasystem kan bibehålla ett inställt fräsdjup trots lutning eller ett hjul sjunker ner (Franzén et al., 2012).



Figur 19 – Vattning, bindemedelsspridning och fräsning på E22 Rolsberga - Fogdarp. Foto: Per Lindh

En stor del av stabilisering är packningsarbetet som måste göras snart efter infräsning. Anledningen är att hydrationsprocessen startar och hållfastheten ökar. Snabbast effekt av hydratation blir det vid användningen av cement som bindemedel. Packning kan utföras med vibrerande eller statisk vältning och minst med det som föreskrivs i AMA (Franzén et al., 2012). Ofta bör större krav ställas för att uppnå den önskade livslängden och kvalitén (Lindh, 2004).



Figur 20 - Övre bilden: Packning av stabiliserat lager med vält. Nedre bilden: Exempel på stabiliserad yta efter packningsarbete. Foton: Per Lindh.

Tiden mellan att infräsningen och slutjusteringen kallas för bindemedlets öppettid. För cement är denna tid 2 timmar. Överskrids denna tid resulterar det i att extra packningsarbete krävs för att uppnå önskat resultat. Nivåjustering kan utföras med hjälp av en väghyvel och en slätvält ger en slutfinish (Franzén et al., 2012). Efter slutjusteringen måste ytan hindras från att torka ut för att motverka torksprickor. Detta kan göras på två sätt, antingen genom bevattning eller genom att lägga en bitumenemulsion över ytan. Dessutom finns möjligheten att tillsätta fint grus och ett slitlager för att direkt använda vägen till byggtrafik. Bitumenemulsionen förhindrar avdunstningen och skyddar det stabiliserade skiktet från nerträngande vatten (Franzén et al., 2012).



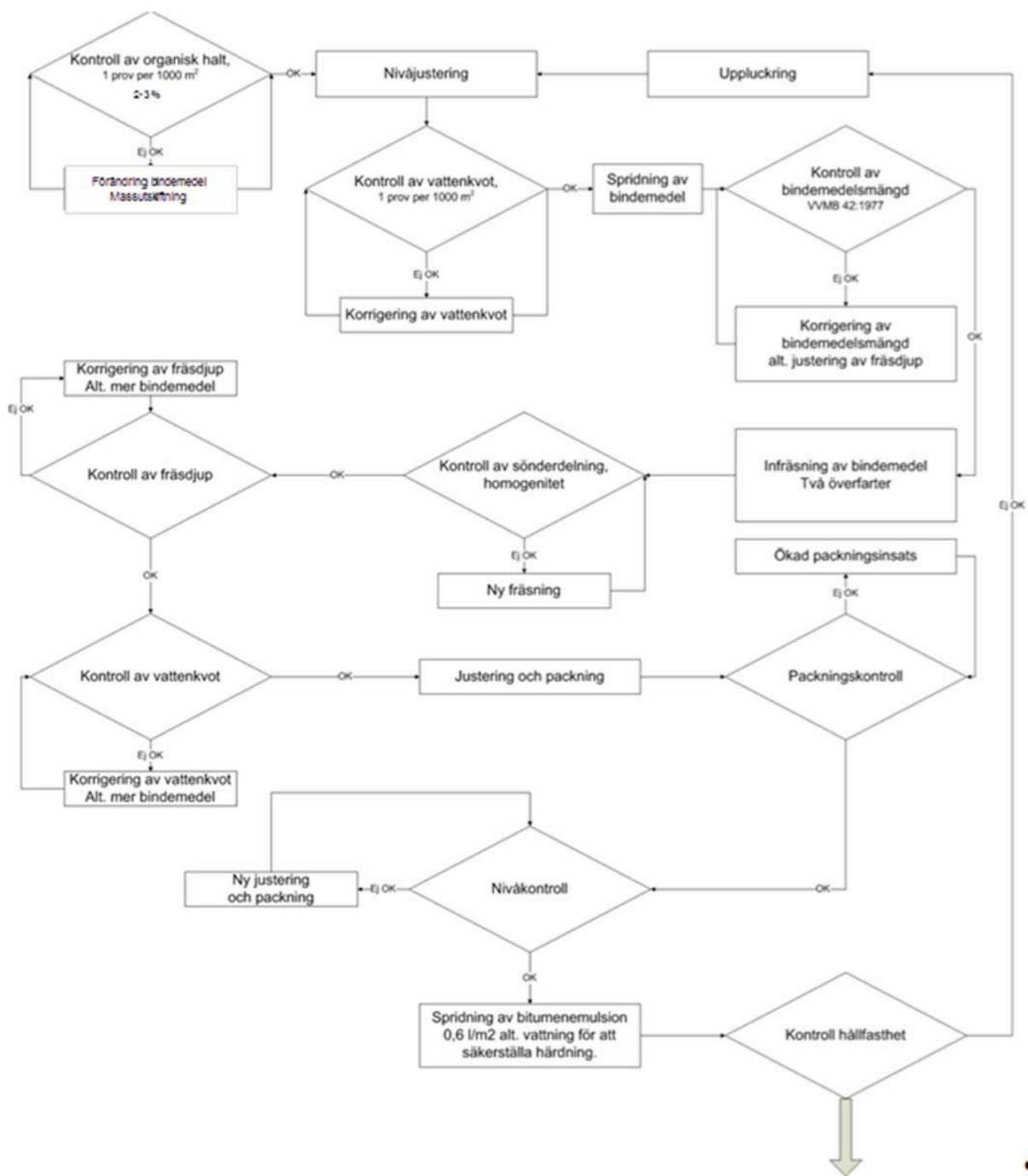
Figur 21 - Exempel på en önskad stabiliserad yta. Foto: Per Lindh.



Figur 22 - Exempel på en oönskad stabiliserad yta. Sprickorna beror på dålig bärighet i underliggande lager. Foto: Per Lindh.

3.13 Kontroller

Figur 23 här nedan innehåller produktionen och de kontroller som bör utföras kopplat till produktionen.



Figur 23 - Kontrollprogram kopplat till byggnation av terrasstabilisering. (Franzén et al. 2012)

Den stabiliserade ytan kontrolleras i utförandet för att kvalitetssäkra att tekniska och produktionstekniska krav upprätthålls. Kraven uppkommer från dimensioneringen och är i form av hållfasthet och beständighet (Franzén et al., 2012).

Inför ett vägbygge genomförs en MUR (markteknisk undersöknings rapport) eller liknande. Utifrån denna delas jorden in i typjordar för projektet som är direkt kopplade till kornfördelningen. Beroende på jordarnas vatteninnehåll kan jordarna komma att delas in i undergrupper. Det är sedan utifrån dessa som lokaler för provgrovsgrävningar bestäms (Franzén et al., 2012).

Syftet med en provgrovsgrävning är att få ökad information och verifiera den informationen som redan finns. Urgrävningen dokumenteras i försöksrapport/fält och i ett separat PM dokumenteras särskilt avvikelser mellan MUR och provgrävningsgropen. Under provgrovsgrävningen tas det även prover som ska undersökas i laboratorium där man bestämmer mängd och typ av bindemedel för stabiliseringen. Om möjlighet finns bör man också koppla fallviktsmätningar till provgrovsgrävningar. Fallviktsmätningen visar terrassens bärighet och utifrån denna avgörs om stabilisering behövs eller inte (Franzén et al., 2012).



Figur 24 - Kontroll av bindemedelsmängden per ytenhet. Foto: Per Lindh.

Kontroller som bör utföras under produktionens gång kan man se i figur 25. Tabellen kommer ursprungligen från *British Lime Assosiation* och är modifierad av VTI till deras kunskapsdokument (Franzén et al., 2012).

Kontroll – testning	Föreslagen omfattning (bör objektspecificeras)
På ingående komponenter	
Jord: vattenkvot, organisk halt (totalhalt sulfat)	1 per 1.000 m ² utföres och avrapporteras före stabiliseringsarbetet utföres
Leveransk kontroll av bindemedel	Veckovis, fraktsedlar från leverantör
Bindemedelsmängd per ytenhet	3 per 500 m ²
På den stabiliserade jorden	
Vattenkvot och MCV efter inblandning	1 per 500 m ² men minst 3 per dag
Vattenkvot och MCV vid packning	1 per 500 m ² men minst 6 per dag
Om lämpligt, sönderdelningsgrad testas efter fräsning	1 per 500 m ² men minst 3 per dag
Om lämpligt, sönderdelningsgrad testas vid slutpackning	1 per 500 m ² men minst 3 per dag
Fräsdjup	1 per 500 m ² men minst 5 per dag
Densitet alt. densitetsbestämning av MCV-provkroppar enl. ovan.	1 per 500 m ² men minst 5 per dag
Tryckhållfasthet alt. seismik	1 per 500 m ² men minst 3 per dag
Volymstabilitet (svällning)	1 per 3000 m ² men minst 1 par per dag
På ytan	
Jämnhet	
Separation och täthet	Visuell kontroll per kontrollobjekt

Figur 25 - Lämpliga kontroller under produktionen. (Franzén et al. 2012)

Med leveranser kommer fraktsedlar och de kan man använda för att kontrollera typ samt mängd av bindemedel till arbetsplatsen (Franzén et al., 2012).

Inför att bindemedlet ska spridas utföres kontroll av vattenkvoten och enklaste sättet att utföra kontrollen är med mikrovågsugn och våg. Om den uppmätta vattenkvoten avviker från det satta gränsvärdet måste åtgärder vidtas. Det handlar då främst om att vattna eller fräsa för att lufta bort en del av vatten (Franzén et al., 2012).

Vid bindemedelsspridningen bör stickprovskontroller utföras för att verifiera mängden som ges av lastcellerna på spridarutrustningen. Det kan utföras med en vägning av bindemedlet som spritts på en känd yta (Franzén et al., 2012). Se figur 24.

Att korrigera gränsöverträdelser görs med att komplettera mängden alternativt med ökat fräsdjup. Med ökat fräsdjup kan packning av stabiliseringens bottenkikt påverkas negativt (Franzén et al., 2012).

Kontrollen av fräsdjupet utförs genom handschaktning och mätning med tumstock från ytan till underkant av stabiliserade lagret. För litet djup rättas med ny fräsning och vid fräsning med större djup än planerat kompletteras mängden bindemedel. Kopplat till fräsning så ska homogeniteten kontrolleras, vilket görs okulärt och förslagsvis samtidigt som mätning av fräsdjupet då man kan se eventuella skillnader på djupet (Franzén et al., 2012).

Sönderdelningsgraden som kan vara ett mätbart alternativ till homogenitetens okulära besiktning (Franzén et al., 2012). Metoden att beräkna sönderdelningsgraden, även kallad pulveriseringen, är att ta fram en siffra på hur fräsen har blandat jorden. Det går till så att ett prov tas på ca 1 kg (m_1) vilket försiktigt skakas i en 5 mm sikt. Materialet kvar på 5 mm sikten bestäms (m_2) och delas för att åter skakas till det allt material som är finare än 5 mm är nere. Det sista som är kvar på sikten, grövre än 5 mm, vägs (m_3) (Lindh, 2004).

$$p = 100 \cdot \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3}$$

Department of transports (Storbritannien) krav är att sönderdelningsgraden, p , är minst 30 % (Lindh, 2004).

Vid packningskontroll av en stabilisering kan MCV tester användas. MCV är ett test av vatteninnehållet, Moisture-Condition Apparatus (Lindh, 2004). Innan packning ska MCV vara 12 eller lägre för att luftporhalten ska vara 5 % eller mindre. Med denna metod packas materialet optimalt vid den aktuella vattenkvoten. Ett alternativ men som för stabilisering kan ge missvisande värden är yttäckande packningskontroll med bärighetsmätningar i dåliga punkter (Smith, 1996).

3.14 Vägytemätningar

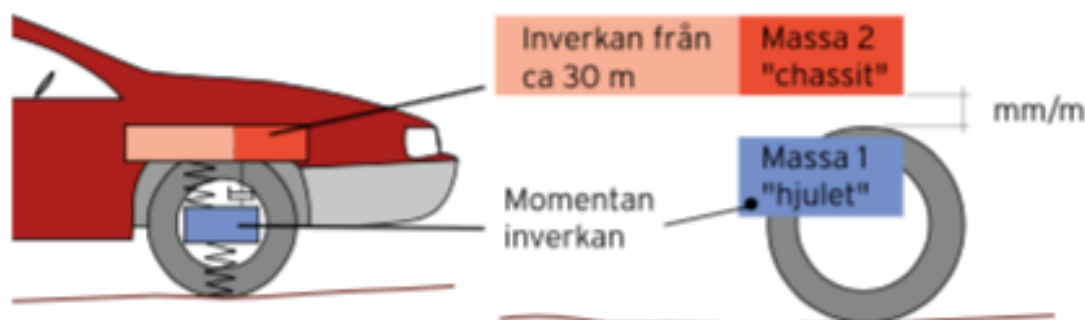
Vid nya vägprojekt är det klokt att göra uppföljningar på hur den färdiga konstruktionen blivit efter färdigställandet. Vägytemätningar är en form av uppföljning där olika mätdata tas fram och analyser kring vägens jämnhet och textur kan göras. Resultatet av vägytemätningar kan sedan utvärderas vidare och leda till förstärkningsåtgärder eller ändringar i framtida utförande (Ramböll, 2014).

3.14.1 Hur fungerar vägytemätningar?

Vägytemätningar görs med hjälp av mätfordon som i princip är en normal skåpbil, med den skillnaden att en mätutrustning är installerad i bilens underrede. Denna mätutrustning utför sedan mätningarna med hjälp av olika sensorer som samlar in data och resultatet av mätningarna ger olika profiler som kan analyseras vidare (Ramböll, 2014). Utrustningen ska bestå av olika komponenter. Ett instrument som mäter avståndet mellan mätfordon och vägytan samt en utrustning som mäter fordonets rörelse i vertikalled samt lutning. Mätfordonet kan vid mätning generellt sett köra i samma hastighet som övriga trafiken (Agardh & Parhamifar, 2014). Den stora fördelen med vägytemätningar är att en stor mängd data kan samlas in och mätningar kan göras och jämföras över tid (Sayers & Karamihas, 1998).

3.14.2 Vad ger vägytemätningar?

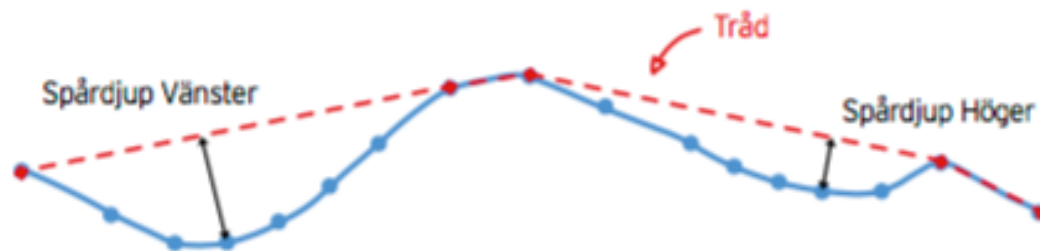
Det resultat som ges vid vägytemätningar är rent generellt vägens ojämnheter uttryckt i olika mått. Ett sådant mått är IRI, *International Roughness Index*, som används som standardmått på många platser runt om i världen. IRI är ett mått på vägens jämnhet och anges vanligtvis i mm/m. Måttet ges av hur långt dämparen i mätfordonet får arbeta uppåt eller neråt, detta medan mätfordonet tar sig an en sträcka i längdled (Agardh & Parhamifar, 2014). Normalt sett är $IRI < 2$ sedda som jämna vägar, medan vägar med $IRI = 2$ börjar kännas som ojämna vägar. Vägar med $IRI > 3,5$ ger de flesta bilisterna ett obehag vid transport på vägen (Ramböll, 2014). Figur 26 nedan visar hur IRI beräknas i mätfordonet.



Figur 26 - Principbild för mätningen av IRI. (Ramböll 2014)

I samband med mätning av vägens IRI-värden mäts även andra egenskaper i längdprofilen. Saker som kan upptäckas är bland annat lokala svackor och deformationer. Längdprofilen mäts upp och kan tas fram grafiskt. GPS-information lagras också och bildmaterial till vidare studier lagras likaså (Ramböll, 2014).

En annan sak som mäts vid vägytemätningar är ojämnheter i tvärled. Ojämnheter i tvärled definieras vanligtvis av spårdjup och det mäts precis som längdprofilen och IRI med hjälp av ett mätfordon. Laserkameror uppsamlar data om vägens ojämnheter i tvärled och skapar en dataprofil som visar hur vägen faktiskt ser ut (Ramböll, 2014). Spårdjupet mäts utefter den tänkta vägprofilen och tidigare mätningar och på så vis kan spårdjupet följas upp från gång till gång och skillnader i profilen kan beräknas. I figur 27 nedan ses hur en tvärprofil tagits fram och visar på hur spårdjupen i de olika hjulspåren tas fram.



Figur 27 - Principbild över mätningen av spårdjup. (Ramböll 2014)

En nackdel med spårdjupsmätningar är att det ibland kan vara svårt att mäta på exakt samma ställe som tidigare mätningar (Agardh & Parhamifar, 2014). Utöver spårdjupsmätningar kan vägens tvärfall kontrolleras och profileras (Ramböll, 2014).

Utöver längs- och tvärprofiler kan texturen kontrolleras genom vägytemätningar. Texturkontroller behandlar till största delen asfaltens variationer som vanligtvis är separationer (Ramböll, 2014). Att kontrollera denna del är givetvis viktig, men kommer inte att vara särskilt intressant för den här studien.

3.15 Fallviktsmätning

En fallviktsmätning är en provbelastning med hjälp av en fallviksapparat som bedömer styvhetsegenskaperna. Vid fallviktsmätningar på väg beror bärigheten på lagrens tjocklek och styvheter samt dess temperatur och fuktinnehåll. Metoden går ut på att mäta en nedsjunkning, deflektionen, vid en känd belastning (Agardh & Parhamifar, 2014). Ytmodulen som är ett mått på vägens bärighet, är ett av de mått som kan tas fram med hjälp av fallviktsdata (Trafikverket, 2012). Ekvationen nedan ger ytmodulen.

$$E_0 = \frac{2 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot a}{D_0}$$

E_0 = ytmodul

ν = tvärkontraktionstal

σ_0 = belastningsspänning

D_0 = nedsjunkningen under plattan

Mätningen går till så att en vikt faller mot ett fjädersystem som sitter ovanpå en cirkulär belastningsplatta. Belastningen på objektet bestäms utifrån viktens massa, fjäderns egenskaper och fallhöjden (Agardh & Parhamifar , 2014).



Figur 28 - Bil med tung fallviktsutrustning. Foto: Calle Ossbahr.

Vid belastning mäts deformationen i centrum (D_0) och vid ett antal punkter ifrån centrum med kända avstånd (D_{200} , D_{450} etc.). Deformationen bildar en bassäng som vars storlek och utseende är en funktion av de underliggande materiallagrens styvhet och tjocklek. De yttersta sensorerna påverkas mest av underbyggnaden/terrassen samtidigt som sensorerna närmast centrum påverkas av de översta lagren (Agardh & Parhamifar , 2014).

Vid mätning med fallviktsapparat bör temperaturen i luften och mot ytan mätas samt positionsbestämmas med GNSS. Ett av de bärighetsmått som kan beräknas med hjälp av en fallviktsmätning kallas för ytmodul och är mer ett viktat medelvärde av E-modulerna för de material som finns i lagren närmast vägytan (Agardh & Parhamifar , 2014).

4 Förutsättningar för fallstudien

4.1 Jämförelse mellan olika vägsträckor

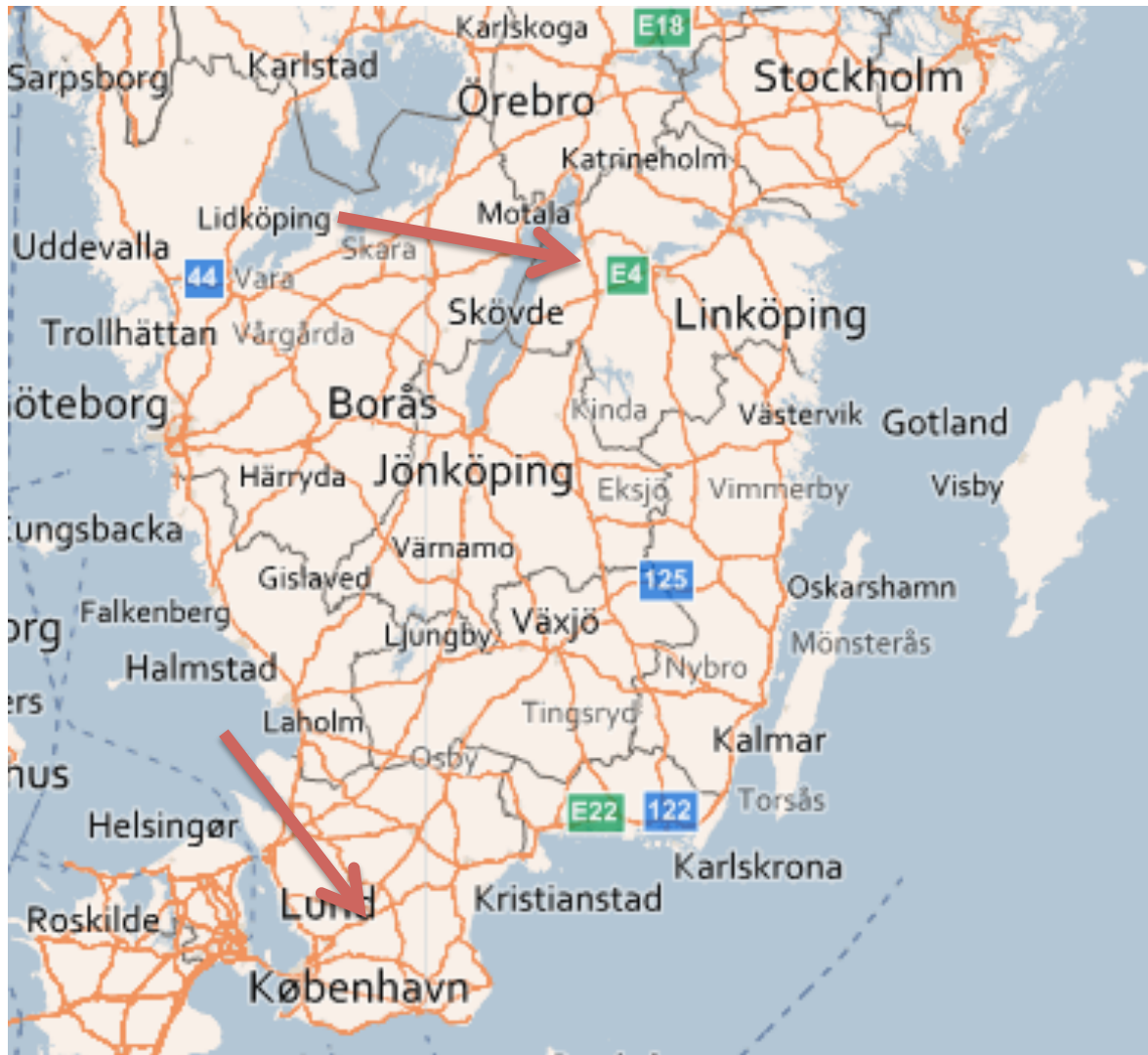
I arbetet har största delen handlat om att visa på egenskaper hos fyra olika vägobjekt, som alla har en stabiliserad konstruktion. Tre av vägarna befinner sig i Skåne, medan den sista ligger i Östergötland. Två av de fyra delsträckorna har samma konstruktionstyp då det är samma entreprenör som utfört de vägsträckorna. Den stora skillnaden mellan de olika delsträckorna är att i några av konstruktionerna förekommer obundna lager och i några förekommer endast bundet material.

Vägarnas start och slutpunkter anges i tabell 1 nedan.

Tabell 1 - De analyserade vägarnas start- och slutpunkter. Data nedan kan användas i t.ex. PMSv3.

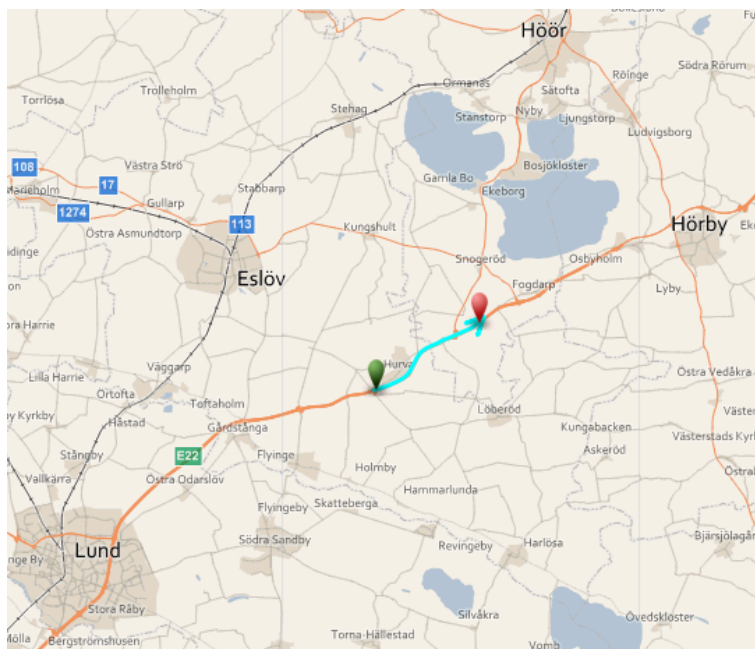
Delsträcka	Löpande längd (m)	Koordinater SWEREF99 TM			
		Startpunkt N	Startpunkt E	Slutpunkt N	Slutpunkt E
Hurva – Rolsberga	65982 – 72040	6183293,56	400779,44	6186472,89	405708,92
Rolsberga – Fogdarp	72040 – 76788	6186472,89	405708,92	6188695,60	409821,39
Hörby N – Linderöd	85369 – 95009	6191707,78	417440,93	6197892,19	424123,32
Motala - Mjölby	9450 – 22850	6473587,69	505362,26	6485718,5	501200,95

I kartan i figur 29 finns en överblick om var de olika vägsträckorna befinner sig i landet.



Figur 29 - Karta över var de stabiliserade vägarna befinner sig. (Trafikverket 2017)

4.2 Hurva – Rolsberga



Figur 30 - Karta över delsträcka Hurva - Rolsberga. (Trafikverket 2017)

Den här delsträckan är den mest trafikerade av samtliga delsträckor. Sträckan är ungefär 6 km lång och har idag ett trafikflöde på cirka 17500 f/d. Andelen tunga fordon är 15 % enligt Trafikverkets trafikflödeskartor (Trafikverket, 2017). Hurva – Rolsberga är en del av Europaväg 22 och byggnationen var en del av utvecklingen mot mötesfri motorväg längs hela E22. Entreprenören som byggt och projekterat sträckan har valt att bygga vägen enligt följande konstruktion:

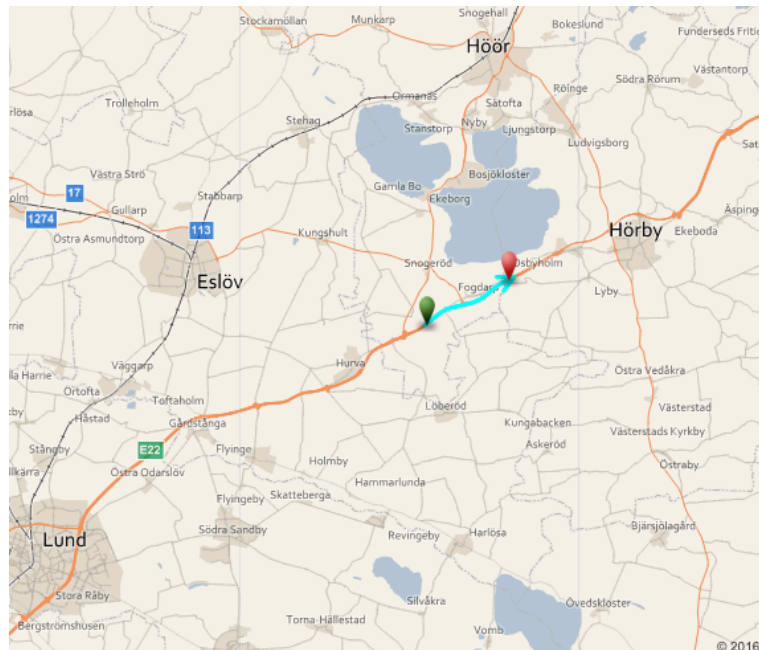
Slitlager Viacotop 11	35 mm
Bindlager ABb 16	50 mm
Bindlager Abbj 8	15 mm
Flis 2-5mm 3kg/m ²	-
Förseglingsemulsion	-
Stabiliserat krossmaterial (cement/merit)	200 mm
Stabiliserad terrass (cement)	400 mm

Figur 31 - Konstruktionsmodell Hurva - Rolsberga.

Mängden cement i det stabiliserade krossmaterialet är 15 kg/m² medan mängden cement i den stabiliserade terrassen är 22 kg/m².

Fallviktsberäkningarna som används i *avsnitt 5.1* är utförda den 27e april 2016.

4.3 Rolsberga – Fogdarp



Figur 32 - Karta över delsträcka Rolsberga - Fogdarp. (Trafikverket 2017)

Delsträcka Rolsberga – Fogdarp tar vid där den förra etappen, Hurva – Rolsberga, slutar. Sträckan är den kortaste av de fyra delsträckorna och löper cirka 4,7 km. Trafikflödet ligger idag på ca 12200 f/d och andelen tunga fordon är 15 % (Trafikverket, 2017). Likt den förra etappen är den här delsträckan en del av utvecklingen av Europaväg 22. Entreprenören som byggt och projekterat vägen har valt följande konstruktion:

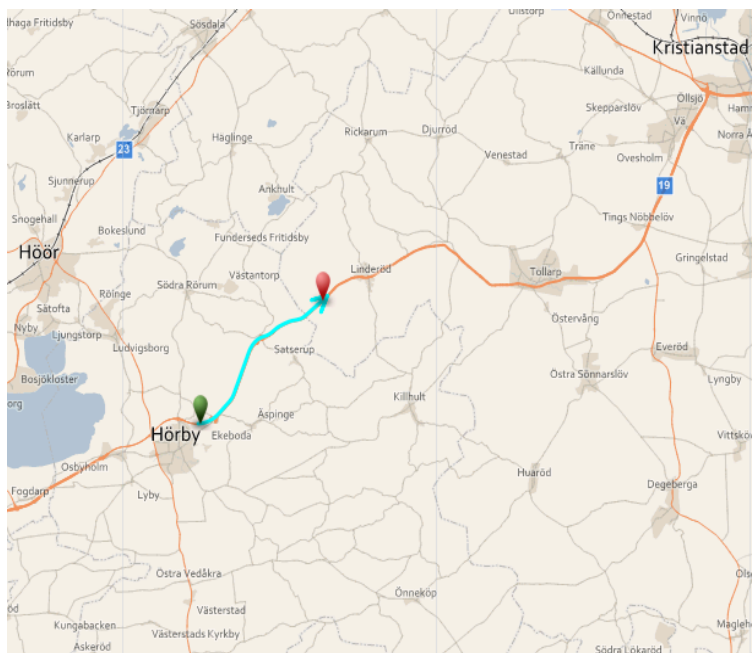
Slitlager ABS 16	36 mm
Bindlager ABb 22	55 mm
Bundet bärlager AG32	90 mm
Obundet bärlager (0-60 krossmaterial)	120 mm
Stabiliserad terrass	350 mm

Figur 33 - Konstruktionsmodell Rolsberga - Fogdarp.

Mängden cement i det stabiliserade terrassmaterialet är 32-34 kg/m².

Fallviktsmätningarna som används i *avsnittet 5.1* är utförda den 27e april 2016.

4.4 Hörby N – Linderöd



Figur 34 - Karta över delsträcka Hörby N - Linderöd. (Trafikverket 2017)

Hörby N – Linderöd är den längsta sträckan av delsträckorna belägna i Skåne. Sträckan är nästan 10 km lång och har idag ett trafikflöde på ca 10000 f/d där andelen tunga fordon är 15 % (Trafikverket, 2017). Precis som övriga etapper i Skåne är den här delsträckan en del av utvecklingen av Europaväg 22. Entreprenören som byggt och projekterat den här vägen har använt följande konstruktion, som för övrigt är samma som för delsträcka Hurva – Rolsberga:

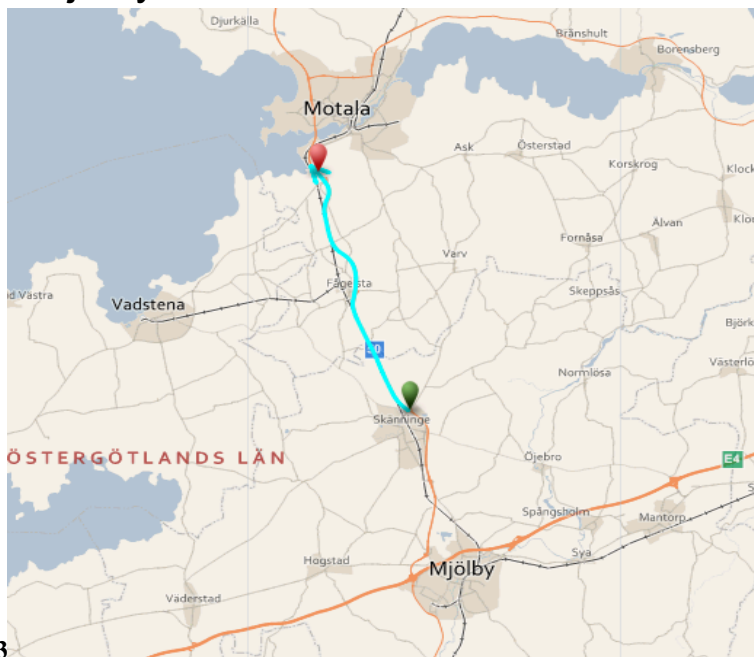
Slitlager Viacotop 11	35 mm
Bindlager ABb 16	50 mm
Bindlager Abbj 8	15 mm
Flis 2-5mm 3kg/m ²	-
Förseglingsemulsion	-
Stabiliserat krossmaterial (cement/merit)	200 mm
Stabiliserad terrass (cement)	400 mm

Figur 35 - Konstruktionsmodell Hörby N - Linderöd.

Mängden cement i det stabiliserade krossmaterialet är 15 kg/m² medan mängden cement i den stabiliserade terrassen är 22 kg/m².

Fallviktsmätningarna som används i *avsnittet 5.1* är utförda den 28e april 2016.

4.5 Motala – Mjölby



Figur 3

Den här delsträckan är belägen i Östergötland och är uppdelad i två delar när det gäller stabiliserad vägkonstruktion. En bit i mitten av sträckan är inte stabiliserad, utan utgörs av en traditionell GBÖ-konstruktion. De stabiliserade sträckorna utgörs av bitarna 9450–13490, samt 15450–22850. Delsträckan har idag ett trafikflöde på cirka 6000 f/d. Andelen tunga fordon är 14 % (Trafikverket, 2017). Delsträckan är en del av de stora satsningarna att utveckla riksväg 50 från Mjölby upp mot Söderhamn, norr om Gävle. Entreprenören som byggt och projekterat vägen har valt många olika konstruktionslösningar beroende på terrassen. Den stora skillnaden ligger på mängden obundet material, där lagertjocklekarna varierar stort. För vidare beräkningar har följande konstruktion valts som standardkonstruktion för delsträckan:

Slitlager ABS	25 mm
Bindlager ABb	45 mm
Bundet bärlager AG	50 mm
Obundet bärlager	100 mm
Förstärkningslager	270 mm
Stabiliserad terrass	400 mm

Figur 37 Konstruktionsmodell Motala - Mjölby.

Fallviktsmätningarna som används i *avsnittet 5.1* är utförda den 26e april 2016.

4.6 Jämförelseobjekt

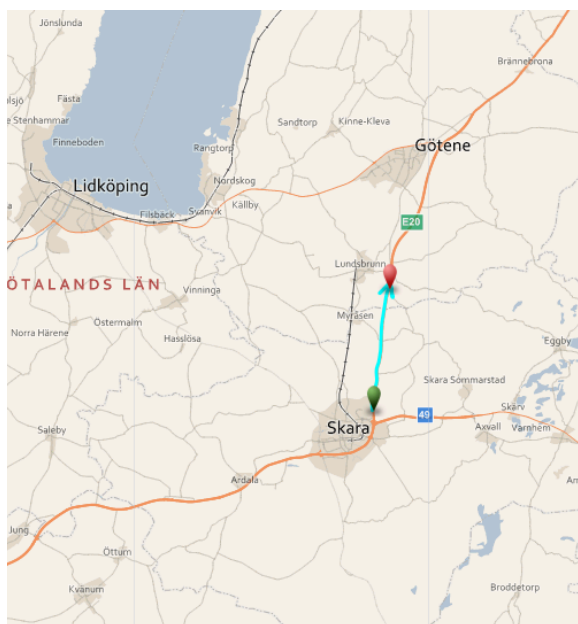
I fallstudien används två referensobjekt som är vägar byggda enligt traditionella GBÖ-konstruktioner. De två vägarna är E20 utanför Skara och E65 utanför Svedala. Trafikflöden på vägen utgörs av följande (Trafikverket, 2017):

Tabell 2 - De två referensobjektens trafikflöden samt årtal för färdigställande.

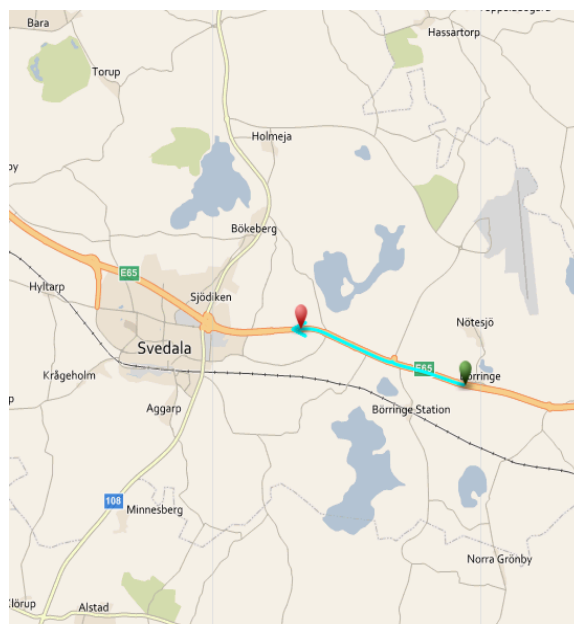
Väg	Trafikflöde	Andel tunga fordon	Färdigställd
E20	7880 f/d	14%	-
E65	18440 f/d	14%	2008

Vägarna är i ungefär samma storlek trafikmässigt som de analyserade objekten som beskrivits i avsnitten ovan. Upphandlingsform samt vägkonstruktionerna för de två jämförelseobjekten saknas. Det ska poängteras att E20 utanför Skara är en gammal väg som vid flertalet tillfällen upprustats. Vägen valdes på grund av tillgång till fallviktsdata samt att storleken på vägen var lik de stabiliserade vägarna. Den största biten av den sträckan fick ny beläggning 2001. Sista biten omlades 2003. Beräkningarna i *avsnitt 5.2* utgår därför från år 2004 för E20 utanför Skara.

Vägarna befinner sig på följande platser, se figurer nedan:



Figur 39 - Karta över referensobjekt E20 utanför Skara. (Trafikverket 2017)



Figur 38 - Karta över referensobjekt E65 utanför Svedala. (Trafikverket 2017)

5 Resultat

5.1 Fallviktsberäkningar

I det här avsnittet redovisas resultatet från de beräkningar och mätningar som gjorts för de fyra sträckorna. Fallviktsmätningar är ett sätt att beräkna konstruktionens bärighet. Med hjälp av datorprogram kan bakåtkalkyleringar utföras och på så vis kan ingående lagets styvheter beräknas.

5.1.1 Beräkning av ytmodul

Ett av de mått som kan beskriva hur pass styv en väggropp är, är ytmodulen. Ytmodulen kallas för ett enkelt bärighetsmått av Trafikverket (Trafikverket, 2012) som ger en klar bild kring hur väggroppens bärighet står sig i förhållande till andra vägar. Ytmodulens definition är ”den fiktiva modul som kan beräknas för en yta om underlaget antas bestå av endast ett homogent, isotropt och linjärelastiskt material” (Trafikverket, 2012). Detta ger inte en korrekt bild av bärigheten i hela konstruktionen, men den ger ett snabbt och jämförbart värde. Utifrån deflektionsmätningarna som är utdata från fallviktsmätningarna, kan ytmodulen beräknas med hjälp av ekvation 1 i TRVMB 114 (Trafikverket, 2012):

$$E_0 = \frac{1000 * f * (1 - \nu^2) * D_0 * a}{D_0}$$

De ingående parametrarna innebär följande (Trafikverket, 2012):

Tabell 3- Indata för ytmodulsberäkning.

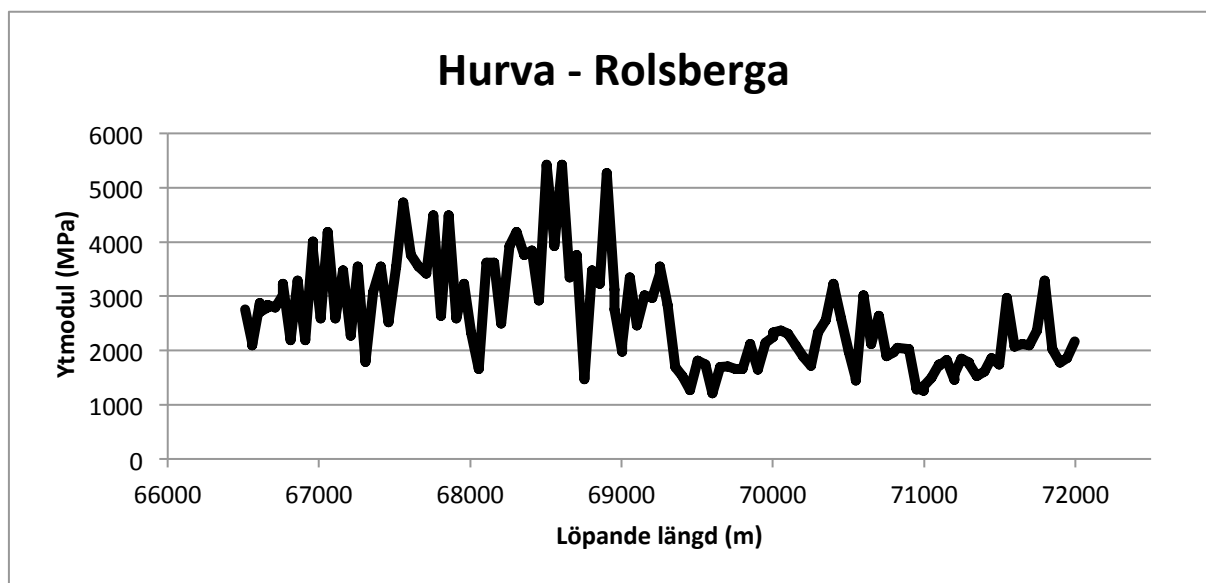
Beteckning	Förklaring	Storlek
E_0	Ytmodul	X MPa
ν	Poissons tal (tvärkontraktionstalet)	0,35
σ_0	Kontakttryck under belastningsplattan. Med plattradien 150 mm och belastning 50kN.	0,7 MPa
f	Segmenterad belastningsplatta	2
a	Belastningsplattans radie	150 mm
D_0	Deflektion i centrum av belastningen.	X μm

De olika vägsträckorna har utsatts för fallviktsmätningar, som sedan har gett en utdata i form av deflektioner. Centrumdeflektionen är den centrala biten i den här beräkningen och den varierar längs med sträckorna. Medelvärde, medianvärde samt en 10-percentil för de olika ytmodulerna har beräknats i Excel och redovisas i tabell 4. 10-percentilen ger en bild av hur bra de sämre delarna av vägen är.

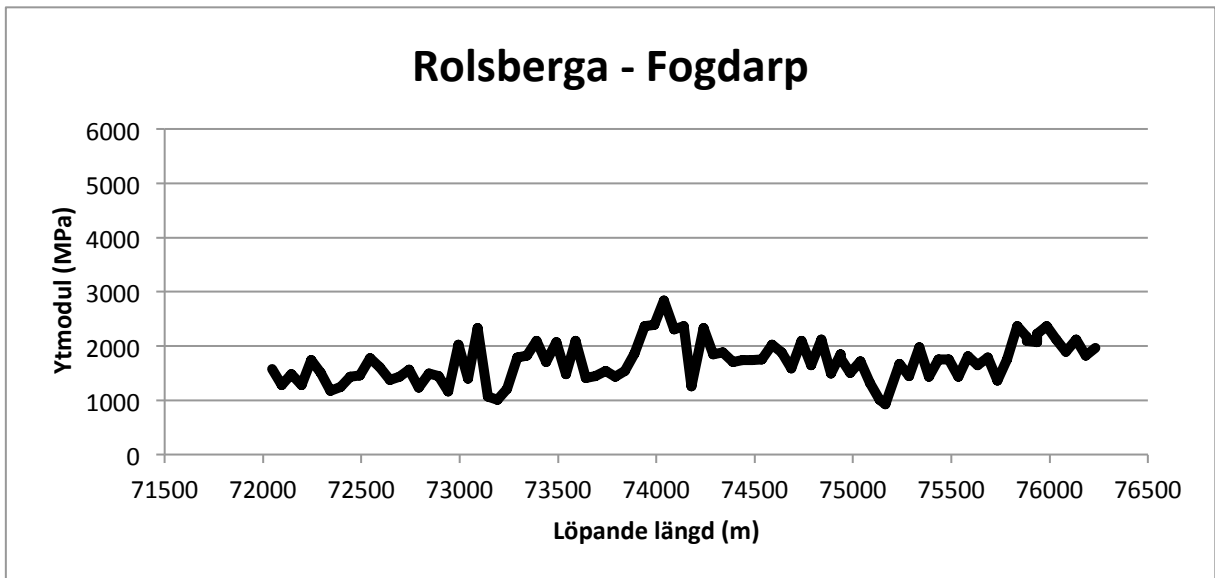
Tabell 4 - Beräknade ytmoduler.

Delsträcka	Ytmodul (MPa)		
	Medelvärde	Medianvärde	10-percentil
Hurva – Rolsberga	2604	2363	1523
Rolsberga – Fogdarp	1717	1730	1244
Hörby N – Linderöd	1877	1789	1126
Motala – Mjölby	758	763	561

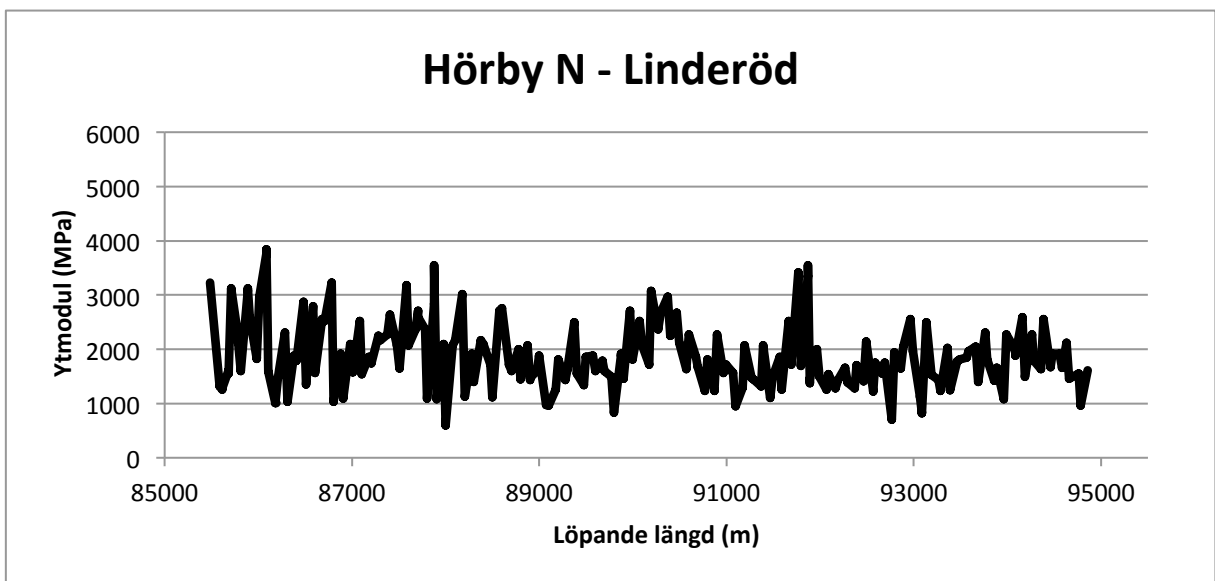
Ytmodulerna för de olika delsträckorna visas även i figurerna 40, 41, 42 och 43 nedan.



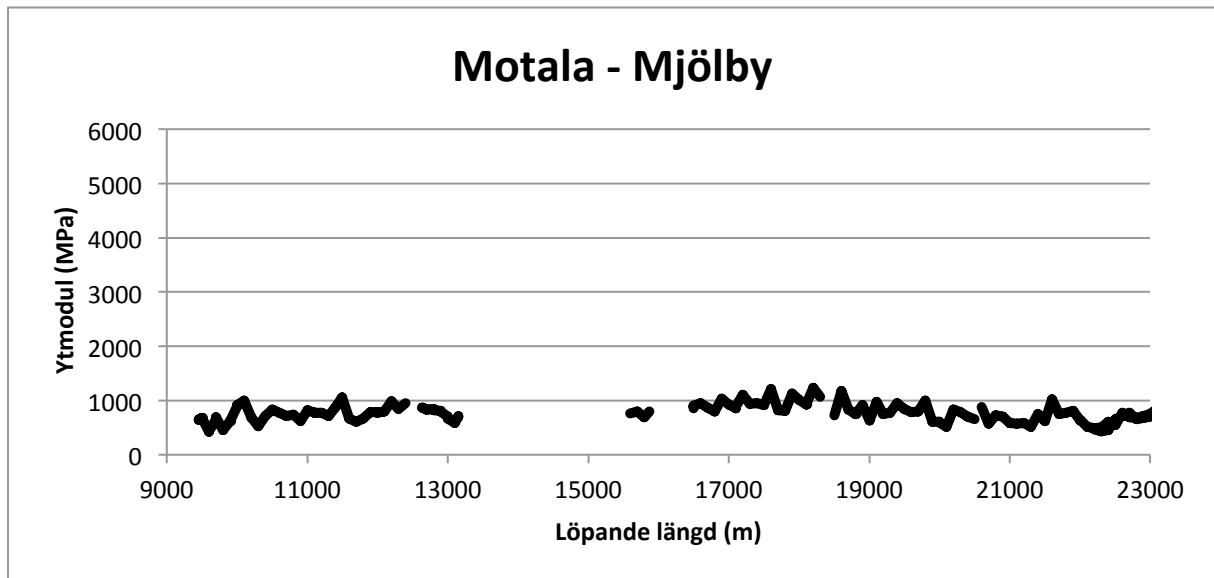
Figur 40- Ytmodul för Hurva - Rolsberga.



Figur 41 - Ytmodul för Rolsberga - Fogdarp.

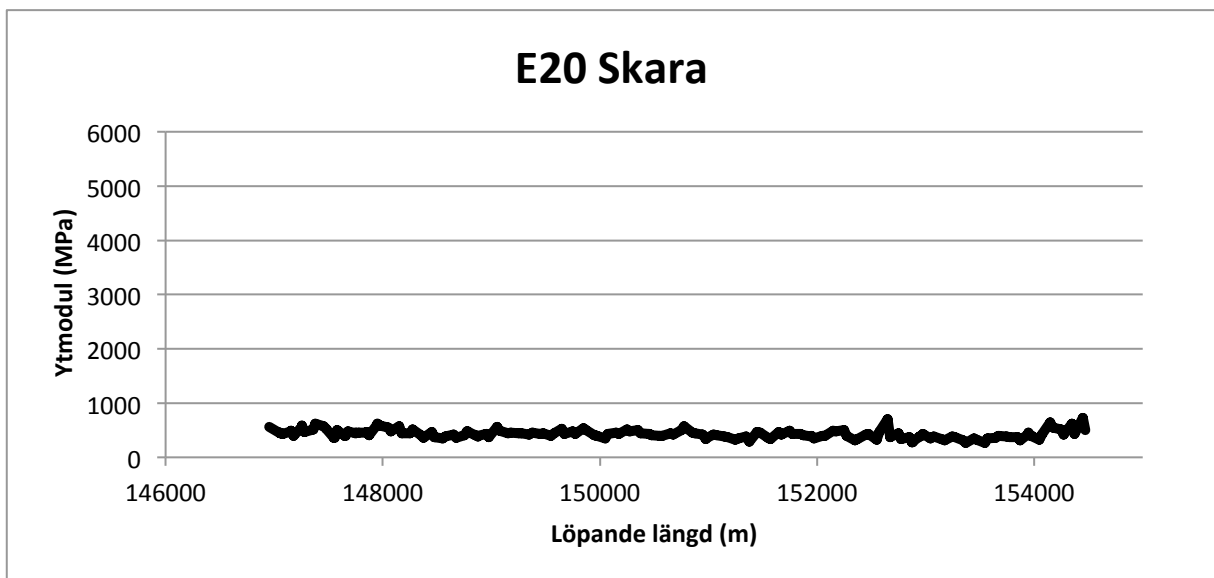


Figur 42 - Ytmodul för Hörby N - Linderöd.



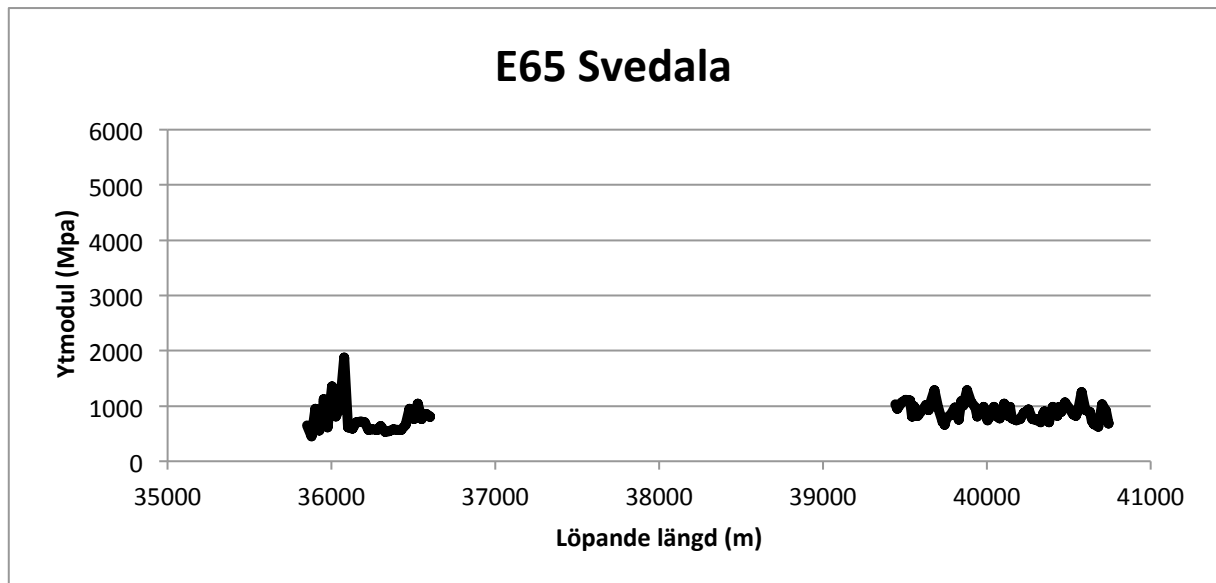
Figur 43 - Ytmodul för Motala - Mjölby. Uteblivna värden i mitten av sträckan är ej stabiliserad.

I jämförelse med en traditionell GBÖ ligger de stabiliserade vägarnas ytmodul högre. Ett undantag är dock Motala – Mjölby som ligger något närmre en traditionell GBÖ-konstruktion. I figur 44 nedan visas ytmodulen för en traditionell GBÖ. Sträckan som visas är E20 i närheten av Skara.



Figur 44 - Ytmodul för E20 utanför Skara.

E20 förbi Skara ligger längs med hela den här delsträckan mellan 400-600 MPa, vilket är något lägre än de fyra stabiliserade vägsträckorna. Medelvärdet för exempelvis Hurva – Rolsberga är mer än 4 gånger så stort som för den här delsträckan.



Figur 45 - Ytmodul för E65 utanför Svedala.

E65 genom Skåne och i det här fallet närmare bestämt utanför Svedala, har ytmodul enligt figur 45 ovan. Medelvärdet ligger på 828 MPa. Vägen har likartade värden som delsträckan Motala – Mjölby.

5.1.2 Beräkning av dragtöjning i underkant asfalt

En uppskattad horisontell dragtöjning i underkant asfalt kan beräknas med hjälp av deflektionsdatan som fås i fallviktsmätningarna. Formel 4 i TRVMB 114 ger uppskattad dragtöjning i underkant asfalt.

$$\varepsilon_a = 37,4 + 0,998 * D_0 - 0,553 * D_{300} - 0,502 * D_{600}$$

ε_a är dragtöjningen i μ -strain, D_0 är centrumdeflektionen och D_{300} samt D_{600} är deflektionen på avstånden 300 respektive 600 mm från belastningspunkten (Trafikverket, 2012). Dragtöjningen kan sedan temperaturkorrigeras för att ge ett mer rättvist värde att jämföra de olika sträckorna med. Temperaturkorrigeringen ger en mer rättvis bild av bärförmågeindex (BI) som tas upp i *avsnitt 5.1.3*. Formeln för temperaturkorrigeringen ser ut enligt följande:

$$\varepsilon_{a,10} = \frac{\varepsilon_{a,t}}{\left(\frac{T}{10}\right)^{0,0308 * h^2 * D_0}}$$

Här innebär $\varepsilon_{a,t}$ dragtöjningen vid mättemperatur T (μ -strain), T är mättemperaturen, h är höjden på asfalten och D_0 är centrumdeflektionen. $\varepsilon_{a,10}$ är det värde som söks och innebär dragtöjningen i underkant asfalt vid referenstemperaturen $10\text{ }^\circ\text{C}$. En tempretur på $7\text{-}9\text{ }^\circ\text{C}$ var medeltemperaturen för 2016 enligt SMHI. Här väljs dock $10\text{ }^\circ\text{C}$ som ungefärlig årsmedeltemperatur.

I tabell 5 nedan visas en sammanställning av temperaturkorrigerad dragtöjning i underkant asfalt för de olika delsträckorna.

Tabell 5- Beräknade dragtöjningar för underkant asfalt.

Delsträcka	Tempkorr. dragtöjning (μ -strain)		
	Medelvärde	Medianvärde	10-percentil
Hurva – Rolsberga	62,7	59,8	83,8
Rolsberga – Fogdarp	79,9	79,0	92,1
Hörby N – Linderöd	77,1	70,0	110,7
Motala – Mjölby	149,4	140,9	197,6

Störst dragtöjning har sträckan Motala – Mjölby medan den minsta spridningen mellan 10-percentil och medelvärde finns på delsträcka Rolsberga – Fogdarp.

5.1.3 Bärförmågeindex, BI

Bärförmågeindex är ett mått som är bra att snabbt kunna ta fram vid vardaglig diskussion inom branschen och där intressenter vill veta hur vägens bärighet förhåller sig till de olika bärförmågeklasser som existerar. Bärförmågeindex visar vägens bärförmåga på ett objektivt sätt (Trafikverket, 2012). BI ges av följande formel:

$$BI = \frac{1000}{\varepsilon_a}$$

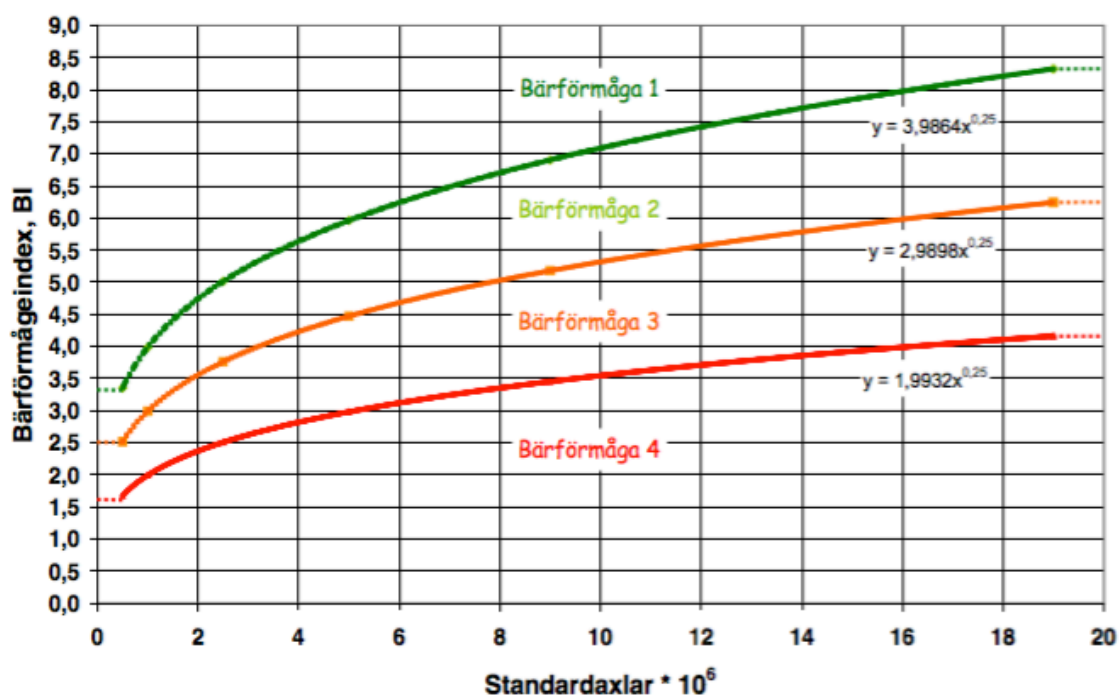
BI står för bärförmågeindex medan ε_a innebär den uppskattade dragtöjningen i underkant asfalt (μ -strain). I tabell 6 nedan visas en sammanställning av bärförmågeindex på de olika delsträckorna.

Tabell 6 - Beräknade bärförmågeindex.

Delsträcka	Bärförmågeindex, BI		
	Medelvärde	Medianvärde	10-percentil
Hurva – Rolsberga	16,6	16,7	11,9
Rolsberga – Fogdarp	12,7	12,7	10,9
Hörby N – Linderöd	13,9	14,1	9,0
Motala – Mjölby	6,9	7,1	5,1

I tabell 6 kan man se att Hurva – Rolsberga den klart största bärförmågan. Den har dock en ganska stor spridning mellan de ”sämre” delarna av vägen och medelvärdet. Det ska dock sägas att bärförmågeindex trots detta är bra även för 10-percentilen på den delsträckan. Precis som för dragtöjningen råder minst spridning längs med sträckan på delsträckan Rolsberga – Fogdarp. Även Motala – Mjölby har en liten spridning i bärförmågeindex över sträckan.

Bärförmågeindex kan sedan med hjälp av figur 46 nedan samt ekvationerna i diagrammet räknas om till bärförmågeklass. Bärförmågeklass är ett mått på hur bra bärighet vägen har, där bärförmågeklass 1 är det bästa och bärförmågeklass 4 det sämsta (Trafikverket, 2012). En tumregel brukar vara att endast väldigt skadade vägar hamnar i BK 4 (Trafikverket, 2012). BK1 kan jämföras med bärförmågeklassen för en traditionell GBÖ/BBÖ där uträkningar gjorts efter sprickkriteriet i TRVK väg.



Figur 46 - Förhållande bärförmågeindex/bärförmågeklass. Källa: Trafikverket 2012.

För att kunna beräkna bärförmågeklassen krävs även kännedom kring vägens trafiklast, alltså antalet standaraxlar.

Tabell 7 - Krav för BK1.

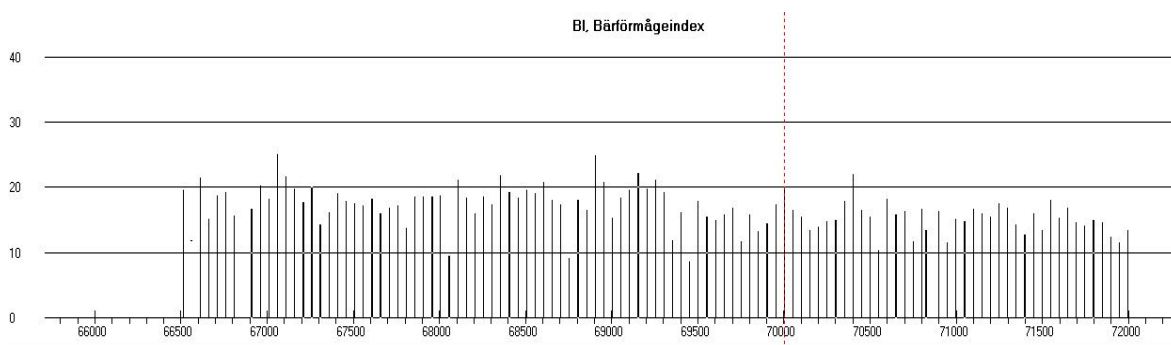
Delsträcka	Standardaxlar *10 ⁶	Krav för BK1 (BI)
Hurva – Rolsberga	13,8	7,6
Rolsberga – Fogdarp	9,6	7,0
Hörby N – Linderöd	7,9	6,7
Motala – Mjölby	4,8	6,0

Med olikt förekommande krav beroende på antalet standaraxlar blir kraven mindre för några av delsträckorna. I Excel har en exakt beräkning gjorts för varje utförd mät punkt där bärförmågeindex samt bärförmågeklass angetts. I tabell 8 nedan visas en jämförelse mellan medelvärde, medianvärde samt 10-percentil i förhållande till de specifika krav för BK1 för de olika delsträckorna.

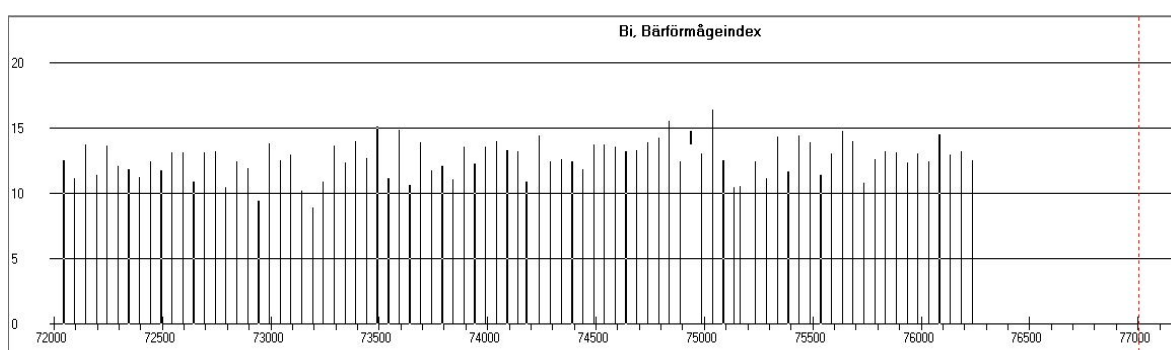
Tabell 8 - Beräknade bärförmågeindex. Grönmarkerade värden uppfyller kraven för BK1.

Delsträcka	Bärförmågeindex, BI			
	Medelvärde	Medianvärde	10-percentil	Krav för BK1
Hurva – Rolsberga	16,6	16,7	11,9	7,6
Rolsberga – Fogdarp	12,7	12,7	10,9	7,0
Hörby N – Linderöd	13,9	14,1	9,0	6,7
Motala - Mjölby	6,9	7,1	5,1	6,0

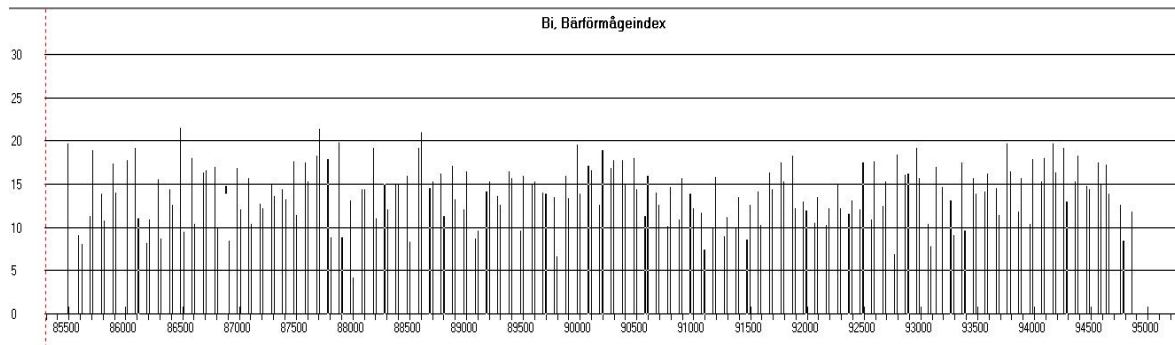
Grönmarkerade värden överstiger kraven för BK1 vilket alla värden gör förutom värdet på 10-percentilen för delsträcka Motala – Mjölby, där har sträckan BK2. I de exakta beräkningarna gjorda i Excel visar en färgkodning att näst intill alla mätpunkter uppfyller sina krav för högsta bärförmågeklass.



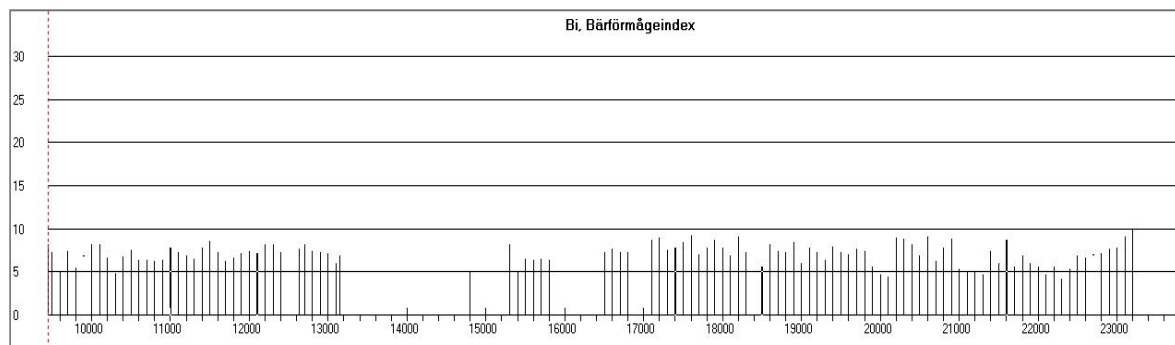
Figur 47 - Bärförmågeindex Hurva - Rolsberga.



Figur 48 - Bärförmågeindex Rolsberga - Fogdarp.



Figur 49 - Bärformågeindex Hörby N - Linderöd.



Figur 50 - Bärformågeindex Motala - Mjölby.

5.1.4 Förhållandet N_{till}/N_{ekv}

Genom att jämföra tillåtet antal standardaxlar för en väg med det antal standardaxlar som vägen faktiskt utsätts för, kan ett förhållande tas fram. Detta förhållande, som valts att kallas för A, är ett jämförelsebart värde mellan de fyra delsträckorna. Antalet standardaxlar som vägen kan tillåtas att utsättas för, N_{till} , beror på den uppskattade dragtöjningen i underkant asfalt samt lufttemperaturen. Ekvation 4.4-3 i TRVK väg ser ut enligt följande (Trafikverket, 2012):

$$N_{till} = f_s * \frac{2,37 * 10^{-12} * 1,16^{1,8*T+32}}{\epsilon_a^4}$$

Här är $f_s=1$ för nybyggda vägar, vilket är en förutsättning som väljs i det här fallet. $T=10$ °C är satt som medelårstemperatur och det är även till den temperatur som alla fallviktsmätningar korrigerats till. ϵ_a innebär den beräknade dragtöjningen, temperaturkorrigerad till 10 °C.

N_{ekv} , antalet standardaxlar som vägen utsätts för, beräknas fram i PMS-Objekt med hjälp av den trafikdata som trafikerar vägen. N_{ekv} blir inte samma för alla vägsträckor, utan varierar i förhållande till trafikflödet.

A kan beräknas med formeln nedan, där A är förhållandet mellan N_{till} och N_{ekv} .

$$A = N_{till}/N_{ekv}$$

I tabell 9 nedan visas en sammanställning av beräknade A utefter formlerna ovan.

Tabell 9 - Framräknade förhållande mellan N_{till} och N_{ekv} .

Delsträcka	Förhållande (A)		
	Medel	Median	10-perc.
Hurva – Rolsberga	28	24	6
Rolsberga – Fogdarp	11	11	6
Hörby N – Linderöd	26	20	3
Motala - Mjölby	2	2	1

Resultatet i tabell 9 visar på summan av hur många gånger större N_{till} är än N_{ekv} . Delsträckorna Hurva – Rolsberga och Hörby N – Linderöd är de sträckor med störst A. Motala – Mjölby ligger lägst gällande A och där ligger N_{till} och N_{ekv} närmst varandra.

5.1.5 Bakkalkylering med PVD

I programmet PVD kan en bakkalkylering göras för att räkna fram rimliga styvheter på de ingående lagren i de olika konstruktionerna. Det som sker är att en anpassning mellan mätt data och antagen data görs och ett värde för de respektive lagren fås. Denna anpassning blir så bra som möjligt om RMS-värdet, *root mean square*, blir så lågt som möjligt (KUAB, 2014). RMS-värden under 2 anses ge ett resultat med hög sannolikhet och mätfelet mellan antagna och uppmätta värden är då inte så stora. PVD tar fram diagram och styvheter för de utförda mätpunkter som mätts i samband med fallviktsmätningen.

5.1.5.1 Indata i PVD

PVD behöver hjälp med att skapa de grundförutsättningar och villkor som programmet sedan ska utföra beräkningarna ifrån. Därför krävs en mängd indata och antagningar kring de ingående lagrens styvheter, referensdragtöjning, E-modul för asfaltlager, k-exponent, Poissons tal (tvärkontraktionstalet), modulexponent samt vilken lufttemperatur beräkningen ska anpassas till. Alla de här parametrarna hjälper programmet att hitta ett så bra värde som möjligt på de ingående lagrens styvheter.

Utöver ovanstående parametrar krävs att vägkonstruktionen skapas i programmet och att en sammanslagning av de bundna asfaltlagren görs. Detta görs för att programmet inte kan hantera mer än 4 lager i en konstruktion. På samma vis slås obundet material ihop.

Vid trafikberäkning har PMS-Objekts beräkningar gett trafikflödet för vägarna och antalet år som vägen är dimensionerad för har satts till 20 år på samtliga vägsträckor. Ökning av trafikflödet per år har satts till 1 %, även det för samtliga vägar. Antalet standardaxlar per dygn har beräknats enligt följande formel:

$$\text{Antalet standardaxlar / dygn} = \text{Antalet fordon / dygn} \cdot \text{körfält} \cdot B \cdot \text{andel tunga fordon}$$

B innebär ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon, som i det här fallet sätts till 1,3. De andra parametrarna varierar för varje specifik delsträcka.

I samband med beräkningarna har kontakt med *Olle Tholén* på KUAB gjorts och hans hjälp har varit till stor nytta. Bland annat bidrog Olle med värden på E_{seed} , E_{min} och E_{max} . De parametrarna innebär från vilket värde som beräkningarna ska utgå ifrån, samt mellan vilket minsta och största värde beräkningarna ska göras. Olle utgick ifrån sträckan Hurva – Rolsberga.

En känslighetsanalys för hur stor påverkan de olika indata-parametrarna har på det resultat som man får ut, har gjorts och finns bifogat i Bilaga A.

5.1.5.2 Delsträcka Hurva – Rolsberga

Den förenklade modellen av konstruktionen ser ut enligt följande:

Tabell 10 - Konstruktionsmodell Hurva - Rolsberga.

		Namn PVD
Asfaltlager (Slitlager + bindlager)	100 mm	E0, E _{korrr} (tempkorrr.)
Stabiliserat krossmaterial	200 mm	E2
Stabiliserat terrassmaterial	400 mm	E3
Terrass	5000 mm	Eterrass

Denna modell används i PVD-beräkningarna som indata för konstruktionens uppbyggnad.

Med hjälp av Trafikverkets trafikflödeskartor kan trafikflödet för delsträckan tas fram. Trafikflödeskartorna ger även andelen tunga fordon samt det procentuella mätfelet. Trafikflödet på delsträckan är 17450 f/d för båda riktningarna. Flödet i varje riktning blir då 8725 f/d, där det antas att all trafik föregår i körfält 1. Andelen tunga fordon är 15 % och osäkerheten i Trafikverkets mätning är $\pm 11\%$ (Trafikverket, 2017). Med hjälp av formel i avsnitt 5.1.5.1 ger detta ett antal standardaxlar/dygn på 1700 standardaxlar/dygn.

Följande indata har förts in i PVD:

Tabell 11 - Indata PVD Hurva - Rolsberga.

Poissons tal	0,35 MPa (Antas som standardvärde)
Dimensionerande kraft	50 kN
Plattradie	15 cm
Standardaxlar/dygn	1700 st
Lufttemperatur för korrigering	10 °C
E-modul för asfaltförstärkning	8000 MPa

Resterande indata ges av figur 51 nedan. (Figur från PVD)

Layer	Thickness (cm)	Poisson ratio	E _{max} (MPa)	E _{min} (MPa)	E _{seed} (MPa)	Reference μ -strain	Kexponent
1	10.0	0,35	50000	1000	10000	195	5,62
2	20.0	0,35	50000	50	8000	885	4
3	40.0	0,35	50000	50	6000	885	4
4	500.0	0,35	2000	20	0	885	4

Figur 51 - Resterande indata PVD.

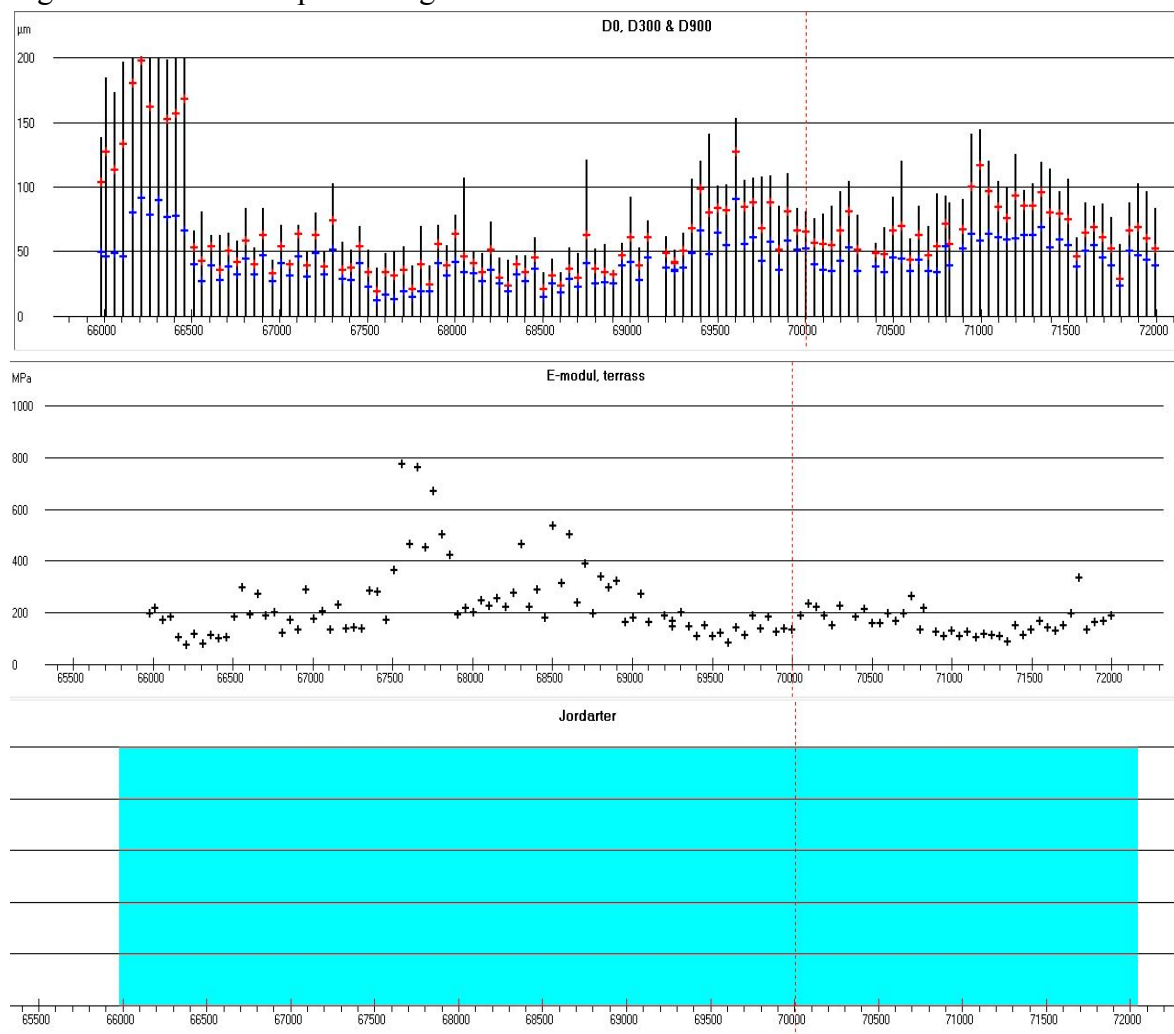
I figuren ovan syns vilka värde som antagits för E_{seed}, E_{max}, E_{min}, referens dragtöjning samt värden på k-exponenten. Genom en bakkalkylering beräknas sedan styvheterna för konstruktionens olika lager. Resultatet av detta syns i tabell 12 nedan.

Tabell 12 - Framräknade E-moduler Hurva - Rolsberga.

Hurva – Rolsberga	E0 (MPa)	E _{korrr} (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)	E _{terrass} (MPa)	RMS
Medelvärde	14600	11074	8530	6748	239	2
Medianvärde	11982	8439	7391	4923	206	2
10-percentil	4817	2970	3119	1343	129	1

RMS-värdena är låga i mätningen och de stabiliserade skikten har 6748 MPa respektive 8530 MPa i medelvärde.

Figurerna nedan visar på framtaget resultat i PVD.



Figur 52 - Övre bilden: Deflektionsmätningar. Svart stapel är D0, Rött kryss är D300 och Blått kryss är D900. Mellersta bilden: E-modul för terrassen. Nedre bilden: Jordarter längs sträckan. Samtliga bilder berör Hurva - Rolsberga.

I figur 52 på föregående sida visas deflektionsmätningarna, bärförmågeindex, terrassens styvhet samt jordart längs sträckan. Deflektionsmätningarna visar på låga värden på deflektionerna, vilket tyder på en stark konstruktion. Figur 52 visar även deflektioner på uppskattat djup under konstruktionen för att kunna se på styvheten i terrassen. Bärförmågeindex ligger högt och som tidigare visats klarar vägen av kraven för BK1. Jordarten är samma längs med sträckan och utgörs av sandig morän.

5.1.5.3 Delsträcka Rolsberga – Fogdarp

Den förenklade modellen av konstruktionen ser ut enligt följande:

Tabell 13 - Konstruktionsmodell Rolsberga - Fogdarp.

		Namn PVD
Asfaltlager (Slitlager + Bindlager + Bundet bärlager)	181 mm	E0, E _{kor} (tempkor.)
Obundet bärlager	120 mm	E2
Stabiliserad terrass	350 mm	E3
Terrass	5000 mm	Et _{errass}

Denna förenklade modell har sedan använts som indata för konstruktionen i PVD.

Trafikverkets trafikflödeskartor ger på den här delsträckan ett trafikflöde för båda riktningarna på 12240 f/d, vilket ger ett trafikflöde i varje riktning på 6120 f/d. Andelen tunga fordon är 15 % och Trafikverkets osäkerhet i mätningarna ligger på ±14 % (Trafikverket, 2017). Med hjälp av formeln i *avsnitt 5.1.5.1* fås 1200 standardaxlar/dygn.

Följande indata har förts in i PVD:

Tabell 14 - Indata PVD Rolsberga -Fogdarp.

Poissons tal	0,35 MPa (Antas som standardvärde)
Dimensionerande kraft	50 kN
Plattradie	15 cm
Standardaxlar/dygn	1200 st
Lufttemperatur för korrigering	10 °C
E-modul för asfaltförstärkning	8000 MPa

Resterande indata ges av figur 53 nedan.

Layer	Thickness (cm)	Poisson ratio	E _{max} (MPa)	E _{min} (MPa)	E _{seed} (MPa)	Reference μ -strain	Kexponent
1	18.1	0,35	50000	1000	10000	195	5,62
2	12.0	0,35	50000	50	500	885	4
3	35.0	0,35	50000	50	6000	885	4
4	500.0	0,35	2000	20	50	885	4

Figur 53 - Resterande indata PVD.

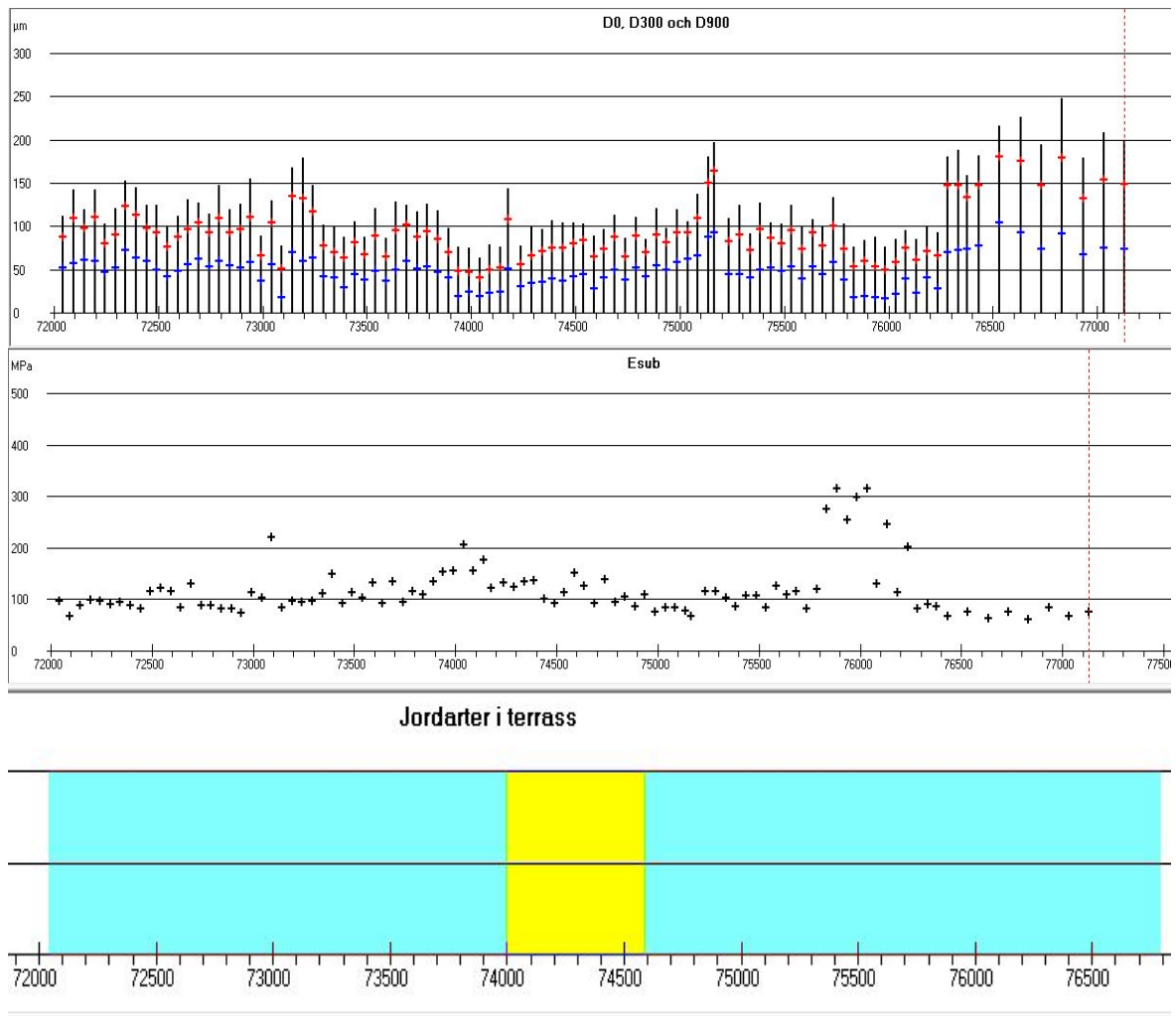
I figuren ovan syns vilka värde som antagits för E_{seed} , E_{max} , E_{min} , referens dragtöjning samt värden på k-exponenten. Genom en bakkalkylering beräknas sedan styvheterna för konstruktionens olika lager. Resultatet av detta syns i tabell 15 nedan.

Tabell 15 - Framräknade E-moduler Rolsberga - Fogdarp.

Rolsberga - Fogdarp	E0 (MPa)	E_{kor} (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)	Eterrass (MPa)	RMS
Medelvärde	13698	7617	203	5297	114	2
Medianvärde	12781	7122	135	3737	97	2
10-percentil	9325	5225	83	1615	76	1

RMS-värdet i mätningarna är låga och stabiliseringen har 5927 MPa i medelvärde.

I figurerna nedan visas framtaget resultat i PVD.



Figur 54 - Övre bilden: Deflektionsmätningar. Svart stapel är D0, Rött kryss är D300 och Blått kryss är D900. Mellersta bilden: E-modul för terrassen. Nedre bilden: Jordarter längs sträckan. Samtliga bilder berör Rolsberga - Fogdarp.

Deflektionsmätningen visar på något större deflektioner än för delsträcka Hurva – Rolsberga. Även här förekommer en styv konstruktion. Terrassens styvhet i det här fallet ligger på cirka 100 Mpa. Även denna delsträcka uppfyller kraven för BK1. Jordarten varierar något på den här delsträckan. De turkosa delarna utgörs av sandig morän och den gula delen utgörs av postglaciallera.

5.1.5.4 Delsträcka Hörby N – Linderöd

Den förenklade modellen av konstruktionen ser ut enligt följande:

Tabell 16 - Konstruktionsmodell Hörby N - Linderöd.

		Namn PVD
Asfaltlager (Slitlager + bindlager)	100 mm	E0, E _{korrr} (tempkorrr.)
Stabiliserat krossmaterial	200 mm	E2
Stabiliserat terrassmaterial	400 mm	E3
Terrass	3000 mm	Et _{terrass}

Denna modell används som indata för konstruktionen i PVD.

Trafikverkets trafikflödeskartor ger på den här delsträckan ett trafikflöde i båda riktningar på 9970 f/d, vilket ger 4985 f/d i varje riktning. Andelen tunga fordon är 15 % och Trafikverkets osäkerhet i mätningarna ligger på ±9% (Trafikverket, 2017). Denna data ger 970 standardaxlar/dygn, beräknat enligt formeln i *avsnitt 5.1.5.1*.

Följande data har förts in i PVD.

Tabell 17 - Indata PVD Hörby N - Linderöd.

Poissons tal	0,35 MPa (Antas som standardvärde)
Dimensionerande kraft	50 kN
Plattradie	15 cm
Standardaxlar/dygn	970 st
Lufttemperatur för korrigering	10 °C
E-modul för asfaltförstärkning	8000 MPa

Resterande indata ges av figur 55 nedan.

Layer	Thickness (cm)	Poisson ratio	E _{max} (MPa)	E _{min} (MPa)	E _{seed} (MPa)	Reference μ -strain	Kexponent
1	10.0	0,35	50000	1000	10000	195	5,62
2	20.0	0,35	50000	50	8000	885	4
3	40.0	0,35	50000	50	6000	885	4
4	300.0	0,35	2000	20	50	885	4

Figur 55 - Resterande indata PVD.

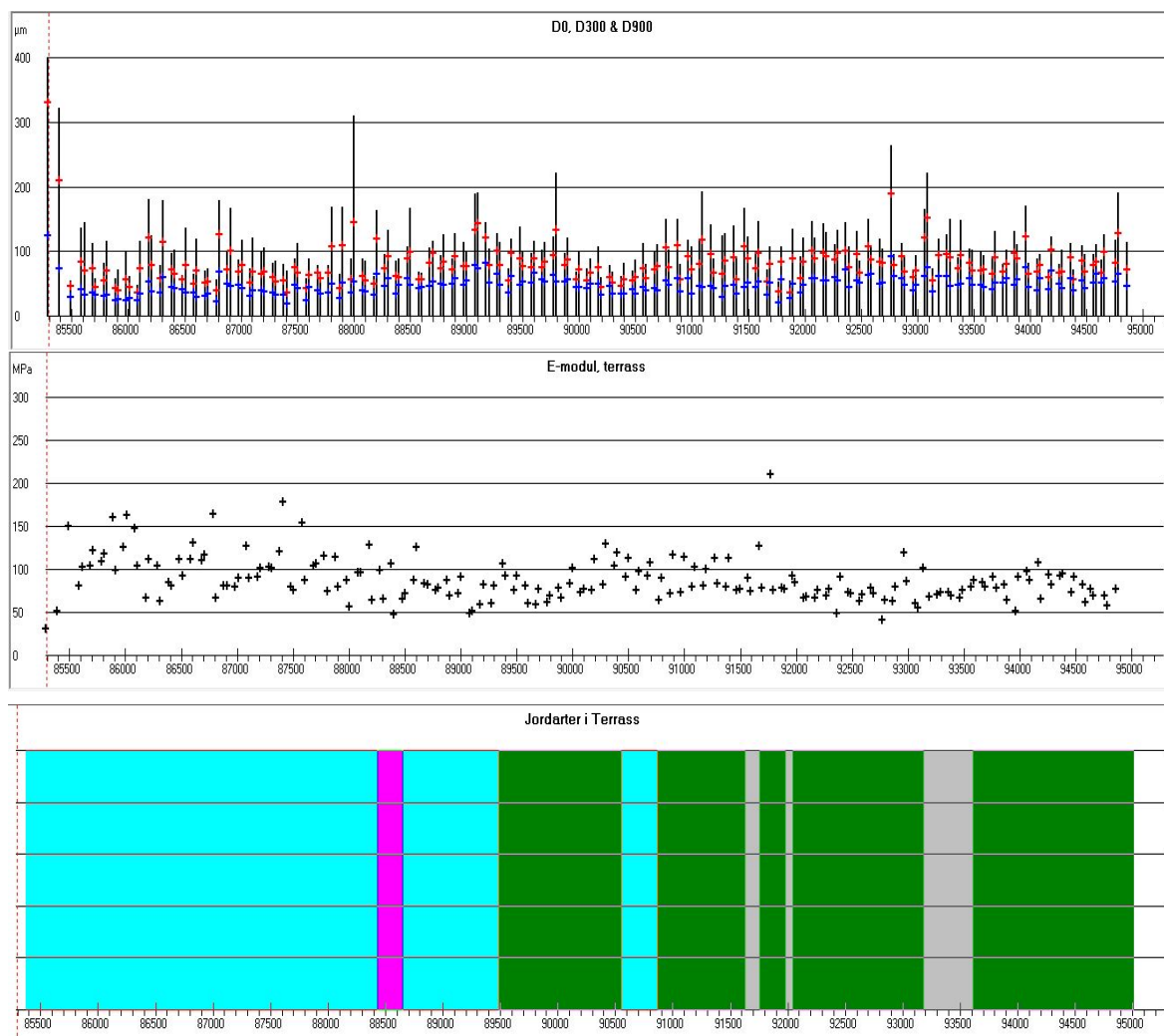
I figuren ovan syns vilka värde som antagits för E_{seed}, E_{max}, E_{min}, referens dragtöjning samt värden på k-exponenten. Genom en bakkalkylering beräknas sedan styvheterna för konstruktionens olika lager. Resultatet av detta syns i tabell 18.

Tabell 18 - Framräknade E-moduler Hörby N - Linderöd.

Hörby N - Linderöd	E0 (MPa)	E _{korrr} (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)	Eterrass (MPa)	RMS
Medelvärde	16229	8479	4617	1927	89	3
Medianvärde	11776	6476	4148	1575	82	3
10-percentil	4819	2776	1918	711	63	1

RMS-värdet i mätningarna är låga och de stabiliserade skikten har 1927 MPa respektive 4617 MPa i medelvärde.

I figurerna nedan visas en sammanställning av resultatet från PVD.



Figur 56 - Övre bilden: Deflektionsmätningar. Svart stapel är D0, Rött kryss är D300 och Blått kryss är D900. Mellersta bilden: E-modul för terrassen. Nedre bilden: Jordarter längs sträckan. Samtliga bilder berör Hörby N - Linderöd.

Likt delsträcka Hurva – Rolsberga, förekommer små deflektioner i deflektionsmätningarna. Konstruktion på sträckan bör vara ungefär lika styv då den har samma konstruktion som Hurva – Rolsberga. Bärförmågeindex är även här högt och vägen uppfyller kraven för BK1. E-modulen för terrassen är mer rimlig på de här delsträckan än Hurva – Rolsberga, då E-modulen är något lägre och ligger på ett medelvärde på 89 MPa. Jordarten varierar något längs sträckan. De turkosa delarna innebär sandig morän, de rosa innebär svämsediment med lersilt, de gröna innebär isälvssediment och de gråa delarna innebär kärrtorv.

5.1.5.5 Delsträcka Motala – Mjölby

Den förenklade modellen av konstruktionen ser ut enligt följande:

Tabell 19 - Konstruktionsmodell Motala - Mjölby.

		Namn PVD
Asfaltlager (Slitlager + bindlager + bundet bärlager)	140 mm	E0, E _{kor} (tempkor.)
Obundet bärlager + förstärkningslager	370 mm	E2
Stabiliserad terrass	400 mm	E3
Terrass	3000 mm	Etterrass

Denna modell används som indata i PVD.

Trafikverkets trafikflödeskartor ger på den här delsträckan ett trafikflöde på 6500 f/d summerat för båda riktningar. Per riktning ger det 3250 f/d. Andelen tunga är 14 % och osäkerheten i Trafikverkets mätningar ligger på 17 %. Med hjälp av ekvationen i *avsnitt 5.1.5.1* ger det 590 standardaxlar/dygn. Följande data har förts in i PVD:

Tabell 20 - Indata PVD Motala - Mjölby.

Poissons tal	0,35 MPa (Antas som standardvärde)
Dimensionerande kraft	50 kN
Plattradie	15 cm
Standardaxlar/dygn	590 st
Lufttemperatur för korrigering	10 °C
E-modul för asfaltförstärkning	8000 MPa

Resterande indata ges av figur 57 nedan:

Layer	Thickness [cm]	Poisson ratio	E _{max} [MPa]	E _{min} [MPa]	E _{seed} [MPa]	Reference μ -strain	Kexponent
1	12.0	0,35	50000	1000	8000	195	5,62
2	37.0	0,35	20000	50	300	885	4
3	40.0	0,35	50000	50	3000	885	4
4	300.0	0,35	2000	20	50	885	4

Figur 57 - Resterande indata PVD.

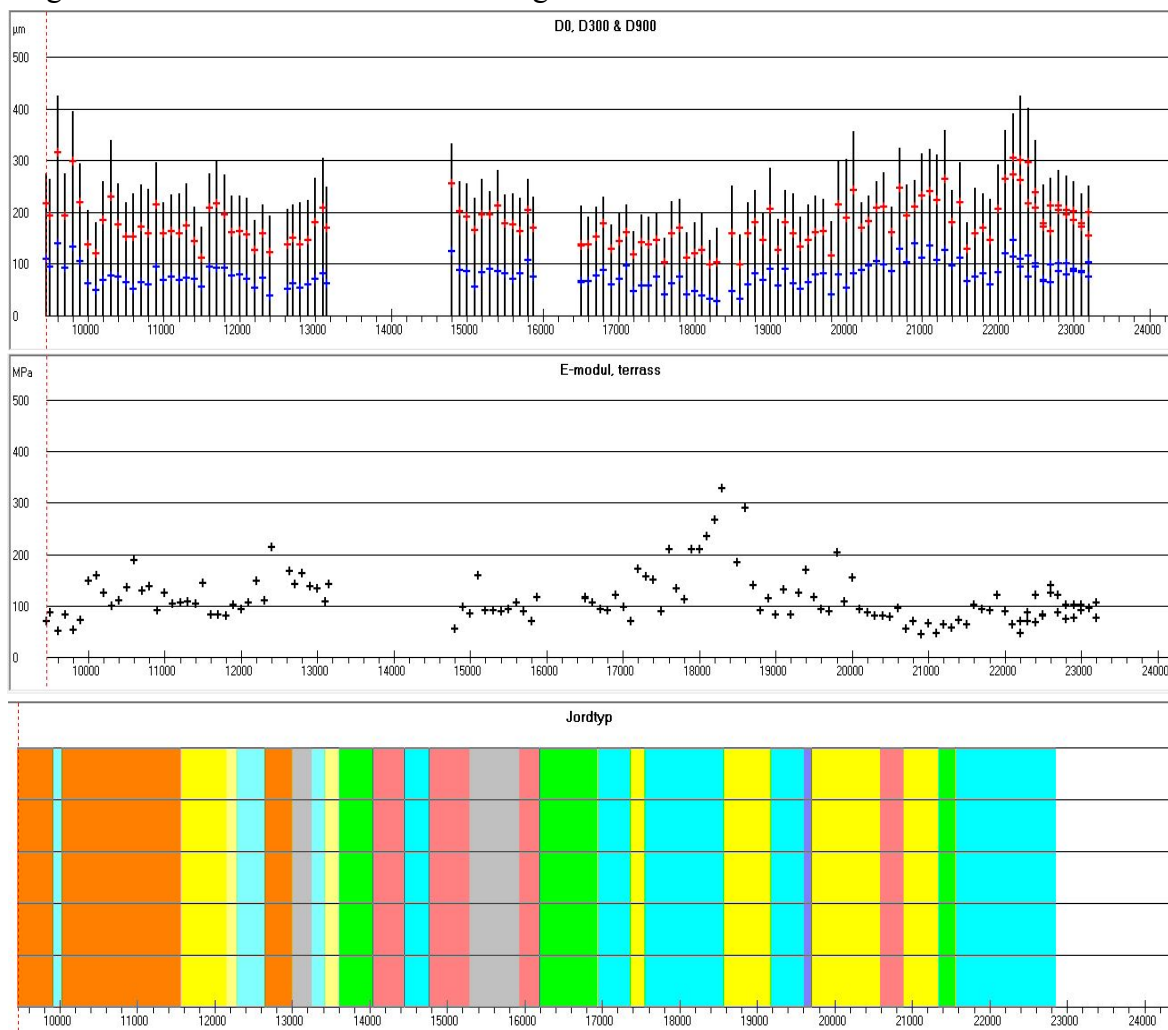
I figuren ovan syns vilka värden som antagits för E_{seed} , E_{max} , E_{min} , referens dragtjörning samt värden på k-exponenten. Genom en bakkalkylering beräknas sedan styvheterna för konstruktionens olika lager. Resultatet av detta syns i tabell 21 nedan.

Tabell 21 - Framräknade E-moduler Motala - Mjölby.

Motala - Mjölby	E0 (MPa)	E _{korr} (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)	E _{terrass} (MPa)	RMS
Medelvärde	24942	11695	120	1452	72	2
Medianvärde	23910	11419	106	920	70	2
10-percentil	15824	7262	61	528	48	1

I mätningarna förekommer låga RMS-värden. Terrasstabiliseringen har ett medelvärde på 1452 MPa.

I figur 58 nedan visas en sammanställning av resultatet i PVD.



Figur 58 - Övre bilden: Deflektionsmätningar. Svart stapel är D0, Rött kryss är D300 och Blått kryss är D900. Mellersta bilden: E-modul för terrassen. Nedre bilden: Jordarter längs sträckan. Samtliga bilder berör Motala - Mjölby.

På den här sträckan förekommer något högre värden på deflektionsmätningarna. Detta ger större dragtöjningar i underkant asfalt och ett något lägre värde på bärförmågeindex. Dock uppfyller vägen de krav som ställs på bärförmåga. Terrassens medelvärde ligger på 72 MPa, vilket är en rimlig E-modul för ett terrassmaterial. Den stora variationen i jordart kan bidra till försvårade situationer vid dimensionering. För fullständig förklaring på vilka jordarter som råder längs med sträckan, se *Bilaga B*.

5.1.6 Kontroll i PMS-Objekt

PMS-Objekt är ett dimensioneringsprogram som används för att ta fram lämpliga konstruktioner vid anläggning av väg. Programmet kan även användas för att kontrollera befintliga vägsträckor, vilket har gjorts i den här analysen.

När styvheter (E-moduler) för samtliga lager i de förenklade konstruktionerna tagits fram, för alla delsträckor, har kontrollberäkningar gjorts i PMS-Objekt gjorts där konstruktionerna testats för att se om de klarar av de krav som finns på respektive sträcka. På sätt och vis kan det sägas att en beräkning av förhållandet mellan N_{till} och N_{ekv} gjorts. N_{till} och N_{ekv} jämförs och med hjälp av olika bärighetsberäkningar, där töjning i underkant asfalt och terrass, samt den vertikala trycktöjningen på terrassen analyseras. N_{till} står för tillåtet antal standardaxlar på vägen medan N_{ekv} står för de antal standardaxlar vägen faktiskt utsätts för. Terrassens materialdata ges beroende på vilket terrassmaterial som väljs i PMS-Objekt. Tanken med att testa de framräknade styvhetererna är att få fram någon form av styvhet för ett stabiliserat lager i PMS-Objekt, då detta inte finns tillgängligt idag.

Antagande om styvhetsmoduler har gjorts. Bland annat antas E-modulen för terrassen under klimatperioden vinter vara 1000 MPa. För de framräknade styvhetererna gäller dessutom ett antagande där terrassens E-modul för tjälvinter samt tjällossning sätts till 2/3 av värdet för våren. Samma princip används för obundna lager i konstruktionen⁸. Asfaltens E-modul har korrigerats till de angivna medeltemperaturer som varje klimatperiod har enligt Trafikverket (Trafikverket, 2011). Värdet som utgåtts ifrån är den temperaturkorrigerade E-modulen för asfalt (10 °C). Med hjälp av formeln nedan (Trafikverket, 2012) har sedan styvheten för asfalten beräknats för de olika klimatperioderna. Stabiliserade lagren har ej korrigerats och har antagits vara samma under alla klimatperioder i den här beräkningen.

$$E_{justerad} = E_{10^{\circ}C} - (E_{t^{\circ}C} - E_{mätt})$$

Där $E_{10^{\circ}C}$ tidigare beräknats i PVD, $E_{justerad}$ är det som söks och $E_{mätt}$ är den styvhet som råder vid mättilfället och där $E_{t^{\circ}C}$ ges av formeln:

$$E = 1,79 * 10^4 * e^{-0,071*t}$$

⁸ Sven Agardh Ramböll – Samtal mars 2017

Här är t belägningens medeltemperatur i djupled. De temperaturer som utgått ifrån ses i figur 59 nedan.

	Klimatzon				
	1	2	3	4	5
Vinter	-1,9	-1,9	-3,6	-5,1	-7
Tjällossningsvinter	1	1			
Tjällossning	1	2,3	4,5	6,5	7,5
Senvår	4	3			
Sommar	19,8	18,1	17,2	18,1	16,4
Höst	6,9	3,8	3,8	3,8	3,2

Figur 59 - Klimatzonernas olika medeltemperaturer beroende på klimatperiod. Källa: Trafikverket 2011.

5.1.6.1 Hurva – Rolsberga

De ingående lagrens styvhetsmoduler har förts in i PMS-Objekt och anpassats efter de förutsättningar som getts i avsnitt 4.2. Det ger följande E-moduler för de olika lagren samt klimatperioderna:

	Material	Tjocklek [mm]	Vinter [MPa]	Tjäl.vinter [MPa]	Tjällossning [MPa]	Senvår [MPa]	Sommar [MPa]	Höst [MPa]
1	Asfalt	100	22759	18947	18947	15748	6662	13241
2	Stabiliserat krossmtrl	200	8530	8530	8530	8530	8530	8530
3	Stabiliserad terrass/kross	400	6748	6748	6748	6748	6748	6748
T	Terrass	0	1000	159	159	239	239	239

Figur 60 - Använda E-moduler för kontroll i PMS-Objekt.

Med hjälp av ovanstående styvhetsmoduler görs sedan en bärighetsberäkning i PMS-Objekt där konstruktionen jämförs med de laster som den utsätts för, baserat på gällande trafikflöde på delsträckan. Bärighetsutredningens resultat ses i figur 61

Antal axellaster, ackumulerat avseende			
	Ntill,bb	Nekv	
Töjning i underkant bitumenlager	15 446 941 41 4	13 810 582	
	Ntill,te	Nekv * 2	
Töjning i terrassytan	69 661 916 23 0	27 621 164	
Vertikala trycktöjningar, enstaka last			
	Största tillåtna	Beräknad	
Töjning i terrassytan [strain]	0,002500	0,000091	

Figur 61 - Kontrollberäkning i PMS-Objekt.

I figuren ovan syns förhållandet mellan tillåtet antal standardaxlar på delsträckan och det antal standardaxlar som delsträckan utsätts för. Delsträckan uppfyller de krav som ställs på vägen i förhållande till den aktuella trafiklasten. Exempelvis ligger tillåten dragtöjningen i underkant på 15,5 miljarder standardaxlar, i förhållande till utsatt antal standardaxlar som är 0,014 miljarder standardaxlar. Vägen uppfyller bärighetskraven och hade med de

framräknade styvhetsmodulerna klarat av större trafiklaster än de som belastar delsträckan i dagsläget.

5.1.6.2 Rolsberga – Fogdarp

De ingående lagrens styvhetsmoduler har förts in i PMS-Objekt och anpassats efter de förutsättningar som getts i *avsnitt 4.3*. Det ger följande E-moduler för de olika lagren samt klimatperioderna:

	Material	Tjocklek [mm]	Vinter [MPa]	Tjäl.vinter [MPa]	Tjällossning [MPa]	Senvår [MPa]	Sommar [MPa]	Höst [MPa]
1	Asfalt2	181	19302	15490	15490	12291	3205	9784
2	Obundet bärlager 2	120	1000	135	135	203	203	203
3	Stabiliserad terrass/kross 2	350	5297	5297	5297	5297	5297	5297
T	Terrass 2	0	1000	76	76	114	114	114

Figur 62 - Använda E-moduler för kontroll i PMS-Objekt.

Med hjälp av de ovanstående styvhetsmodulerna utförs sedan en bärlighetsberäkning i PMS-Objekt där konstruktionen jämförs med de laster som delsträckan utsätts för, beroende på gällande trafikflöden. Resultat av bärlighetsberäkningen ges i figur 63.

Antal axellaster, ackumulerat avseende			
Töjning i underkant bitumenlager	Ntill,bb 56 000 538	Nekv 9 687 193	
Töjning i terrassytan	Ntill,te 1 384 145 796	Nekv * 2 19 374 386	
Vertikala trycktöjningar, enstaka last			
Töjning i terrassytan [strain]	Största tillåtna 0,002500	Beräknad 0,000249	

Figur 63 - Kontrollberäkning i PMS-Objekt.

I figuren ovan syns förhållandet mellan tillåtet antal standardaxlar och det antal standardaxlar som delsträckan utsätts för på delsträckan. Även denna delsträcka uppfyller bärlighetskraven. Skillnaden mellan 56 miljoner och 9,7 miljoner standardaxlar är inte procentuellt lika stor som för delsträckan Hurva – Rolsberga men visar ändå på vägens bärlighetsegenskaper. Delsträckan hade med framräknade styvhetsmoduler klarat av betydligt högre laster än de som råder i dagsläget.

5.1.6.3 Hörby N – Linderöd

De ingående lagrens styvhetsmoduler har förts in i PMS-Objekt och anpassats efter de förutsättningar som getts i *avsnitt 4.4*. Det ger följande E-moduler för de olika lagren samt klimatperioderna:

	Material	Tjocklek [mm]	Vinter [MPa]	Tjäl.vinter [MPa]	Tjällossning [MPa]	Servår [MPa]	Sommar [MPa]	Höst [MPa]
1	Asfalt 3	100	20164	16352	16352	13154	4068	10646
2	Stab. krossmtrl 3	200	4617	4617	4617	4617	4617	4617
3	Stab terrass/kross 3	400	1927	1927	1927	1927	1927	1927
T	Terrass 3	0	1000	59	59	89	89	89

Figur 64 - Använda E-moduler för kontroll i PMS-Objekt.

Med hjälp av ovanstående styvhetsmoduler görs sedan en bärighetsberäkning i PMS-Objekt där konstruktionen jämförs med de laster som den utsätts för, baserat på gällande trafikflöde på delsträckan. Bärighetsutredningens resultat ses i figur 65.

Antal axellaster, ackumulerat avseende			
Töjning i underkant bitumenlager	Ntill,bb 1 413 318 030	Nekv 7 890 631	
Töjning i terrassytan	Ntill,te 1 427 554 161	Nekv * 2 15 781 262	
Vertikala trycktöjningar, enstaka last			
Töjning i terrassytan [strain]	Största tillåtna 0,002500	Beräknad 0,000243	

Figur 65 - Kontrollberäkning i PMS-Objekt.

I figuren ovan syns förhållandet mellan tillåtet antal standardaxlar och det antal standardaxlar som delsträckan faktiskt utsätts för. Likt delsträckan Hurva – Rolsberga, som har samma konstruktion som den här delsträckan, är förhållandet mellan N_{till} och N_{ekv} mycket stort. Den här vägen uppfyller de gällande kraven på bärighet. Det är dock ändå skillnad mellan delsträcka Hurva – Rolsberga och delsträcka Hörby N – Linderöd, när det kommer till exempelvis tillåten dragtöjning i underkant asfaltlaget. Hurva – Rolsberga tillåter nästan ett 11 gånger större antal standardaxlar än den här delsträckan, vilket visar på att de två delsträckorna, trots samma konstruktion, är något olika när det kommer till bärighetsaspekten. Den här delsträckan, likt de föregående, hade klarat av betydligt större trafiklasten än de som råder i dagsläget.

5.1.6.4 Motala – Mjölby

De ingående lagrens styvhetsmoduler har förts in i PMS-Objekt och anpassats efter de förutsättningar som getts i avsnitt 4.5. Det ger följande E-moduler för de olika lagren samt klimatperioderna:

	Material	Tjocklek [mm]	Vinter [MPa]	Tjäl.vinter [MPa]	Tjällossning [MPa]	Servår [MPa]	Sommar [MPa]	Höst [MPa]
1	Bitumenbundet slitlager	120	29030	25218	25218	22019	12933	19512
2	Obundet bärlager	370	1000	92	92	137	137	137
3	Förstärkningslager krossat mate	400	1108	1108	1108	1108	1108	1108
T	3b - Blandkornig jord <= 30%	0	1000	56	56	84	84	84

Figur 66 - Använda E-moduler för kontroll i PMS-Objekt.

Här används samma antagande för konstruktion som i tidigare PVD-beräkningar. På sträckan Motala – Mjölby förekommer nämligen många olika konstruktioner, men den som används här har valts för den förekommer på flest antal löpmeter väg.

Med hjälp av ovanstående styvhetsmoduler görs sedan en bärighetsberäkning i PMS-Objekt där konstruktionen jämförs med de laster som den utsätts för, baserat på gällande trafikflöde på delsträckan. Bärighetsutredningens resultat ses i figur 67.

Antal axellaster, ackumulerat avseende			
Töjning i underkant bitumenlager	Ntill,bb 9 316 213	Nekv 4 801 387	
Töjning i terrassytan	Ntill,te 324 359 698	Nekv * 2 9 602 774	
Vertikala trycktöjningar, enstaka last			
Töjning i terrassytan [strain]	Största tillåtna 0,002400	Beräknad 0,000383	

Figur 67 - Kontrollberäkning i PMS-Objekt.

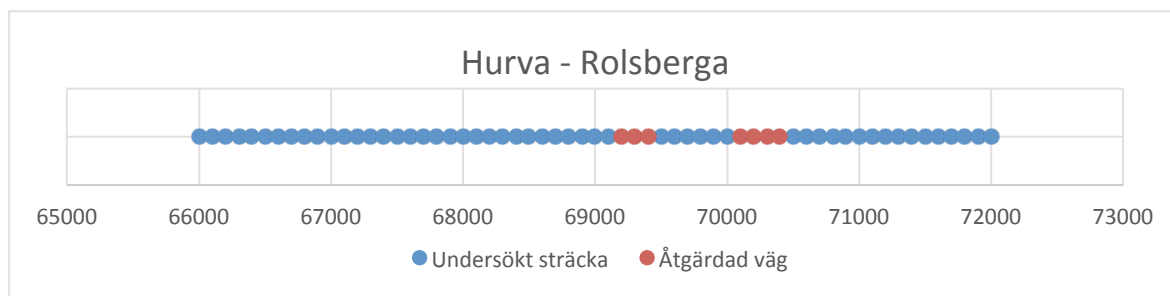
I figuren ovan syns förhållandet mellan tillåtet antal standardaxlar samt det antal standardaxlar som delsträckan utsätts för. Förhållandet mellan tillåtet antal standardaxlar och antalet standardaxlar vägen utsätts för är här inte lika stort som för övriga delsträckor. Här är dragtöjningen i underkant asfalt ”endast” dubbelt så stor för N_{till} i förhållande till N_{ekv} . Det ska dock nämnas att vägen uppfyller de krav som finns med tanke på gällande trafikflöden. Bärighetsberäkningarna visar att vägkonstruktionen uppfyller kraven och att vägen hade klarat av större laster än de som råder i dagsläget.

5.2 Vägytemätningar

5.2.1 Förutsättningar

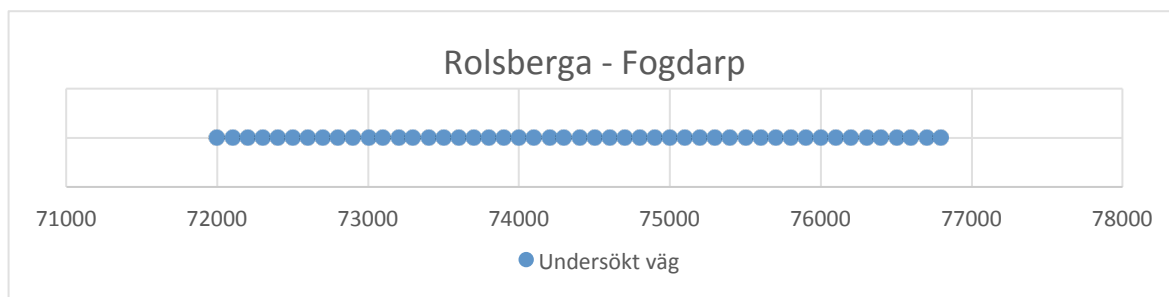
Vid undersökning av vägytemätningarna har utgångspunkt varit Trafikverkets PMSV3. Där finns årliga mätningar av objekten sedan färdigställandet. Mätningarna vi beaktat utgörs av hela de undersökta vägsträckorna med undantag för ett stycke på Motala-Mjölby som inte har stabiliserats och därför inte heller är relevant. Utöver dessa har ytterligare två stycken vägsträckor undersökts för att få ett förhållande till vägar med GBÖ.

Alla sträckorna har inte blivit helt tillfredsställande och på vissa har åtgärder behövts efter färdigställandet. Dessa delar klassas som undermåliga för projektet men vad som orsakat omläggningen är oklart. Då utvecklingen av IRI och spårdjupet undersöks tar vi därför bort dessa sträckor ur vår jämförelse. De utgående sträckorna redovisas i figur 68-71.



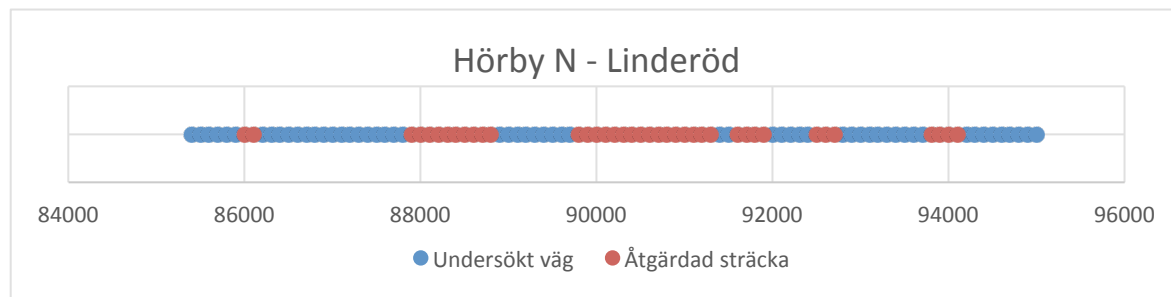
Figur 68 - Underlag för vägytemätningar Hurva - Rolsberga. Blått används. Rött borttaget.

Av Hurva – Rolsbergas ca 6,1 km väg är 0,7 km eller 11 % av beläggningen omlagd. Det utfördes mellan 2013 – 2014 dvs. ca 1 år efter färdigställandet.



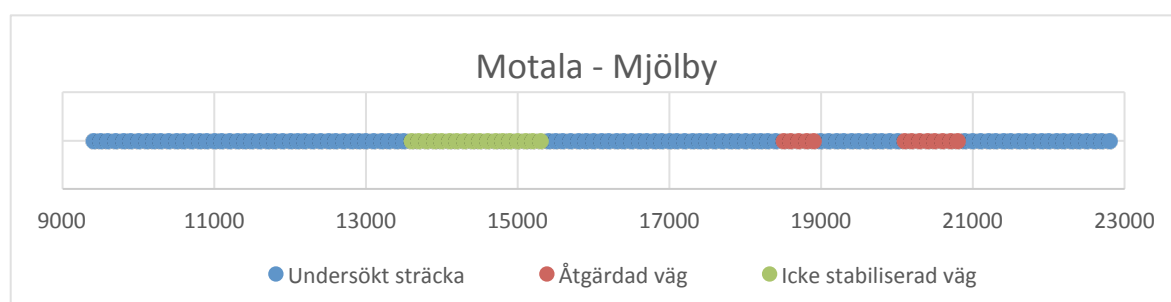
Figur 69 - Underlag för vägytemätningar Rolsberga - Fogdarp. Blått används. Rött borttaget.

Rolsberga – Fogdarps sträckan har samma beläggning sedan färdigställandet.



Figur 70 - Underlag för vägytemätningar Hörby N - Linderöd. Blått används. Rött borttaget.

Av Hörby N – Linderöds ca 9,6 km är 3,3 km eller 34 % av beläggningen omlagd. Det utfördes mellan 2013 – 2014 dvs. ca 1 år efter färdigställandet.



Figur 71 - Underlag för vägytemätningar Motala - Mjölby. Blått används. Rött borttaget.

Vid nybyggnationen av vägen mellan Motala – Mjölby utgörs den största delen av en stabiliserad terrass, som har längden 11,4 km. Av dessa har 1,1 km eller 10 % av beläggningen lagts om. Det har utförts mellan 2015 – 2016 dvs. mellan 1 – 2 år efter färdigställandet.

I jämförelsen av utvecklingen av spårdjup och IRI har två stycken referensobjekt adderats för att jämföra med var ”vanliga vägar” ligger. Referensobjekten har valts efter dess storlek och trafikmängd för att vara så lika jämförelseobjekten som möjligt. Referensobjekten är några år äldre och har därför fler mätpunkter vilket ger en tydlig bild av dess utveckling över tid. Valda referenser är E20 norr om Skara som är en 1+1 väg utan vajer med ett ÅDT på 7880 fordon varav 14 % tung trafik (Trafikverket , 2017). Det andra referensobjektet är E65 mellan Svedala - Börninge som är en 2+1, 1+1 väg med vajer och har ett ÅDT på 18220 och med samma andel tung trafik, 14 % (Trafikverket , 2017).

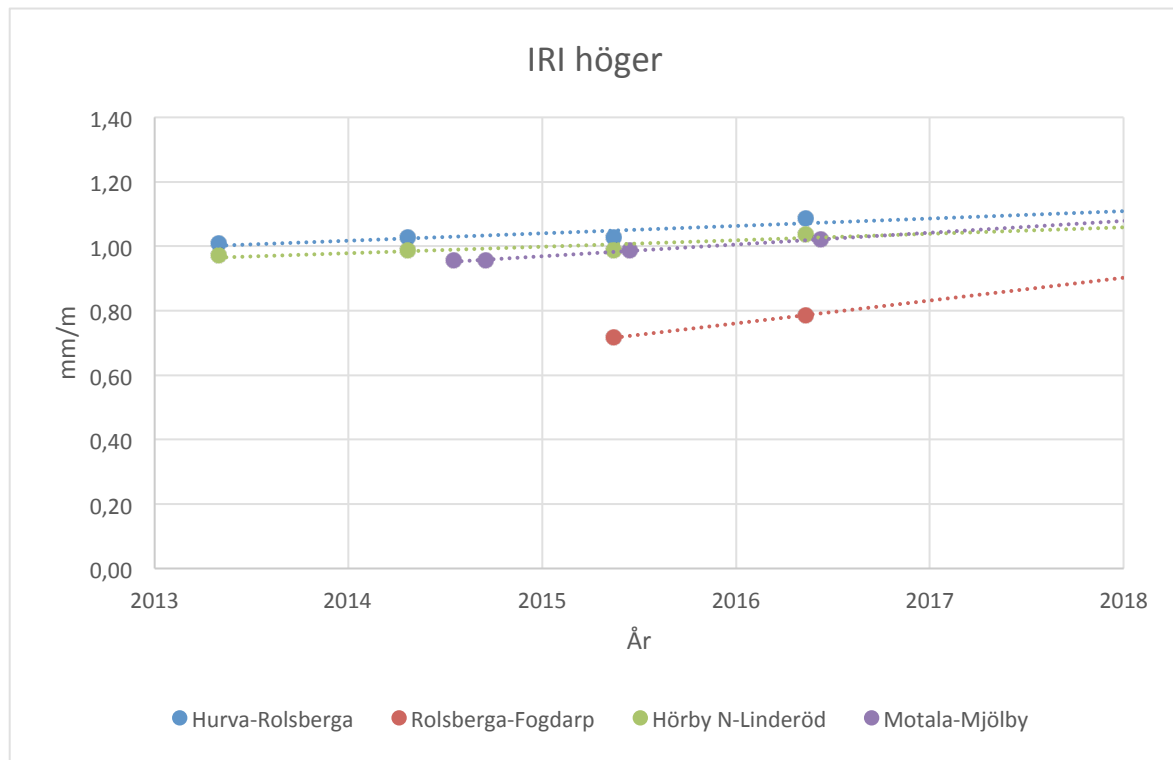
5.2.2 IRI

IRI är ett mått på den långsgående ojämnheten och beskrivs som mm/m. Sträckorna Hurva – Rolsberga, Rolsberga – Fogdarp och Hörby N – Linderöd har krav på IRI som är 1,2 eller mindre vid trafiköppning samt 2,0 eller mindre vid garantitidens utgång enligt förfrågningsunderlaget. Ett antagande om att den fjärde jämförelsesträckan, Motala – Mjölby, har samma krav som de övriga tre trots brist på källa för detta påstående. Vägen är i samma storleksordning, anlagd vid samma tid och har samma ägare (Trafikverket). Kravet för IRI är $\leq 1,2$ mm/m för 95 % av sträckorna initialt, max 2,0 mm/m för 90 % av sträckorna ända fram till garantitidens slut och att tillväxten av IRI är $\leq 0,08$ mm/m/år under åren 3-10.

Som man kan se i tabell 22 ligger alla fyra vägarna klart under kravet vid trafiköppning och enligt de framtagna projektionerna kommer kravet uppnås även vid garantitidens slut.

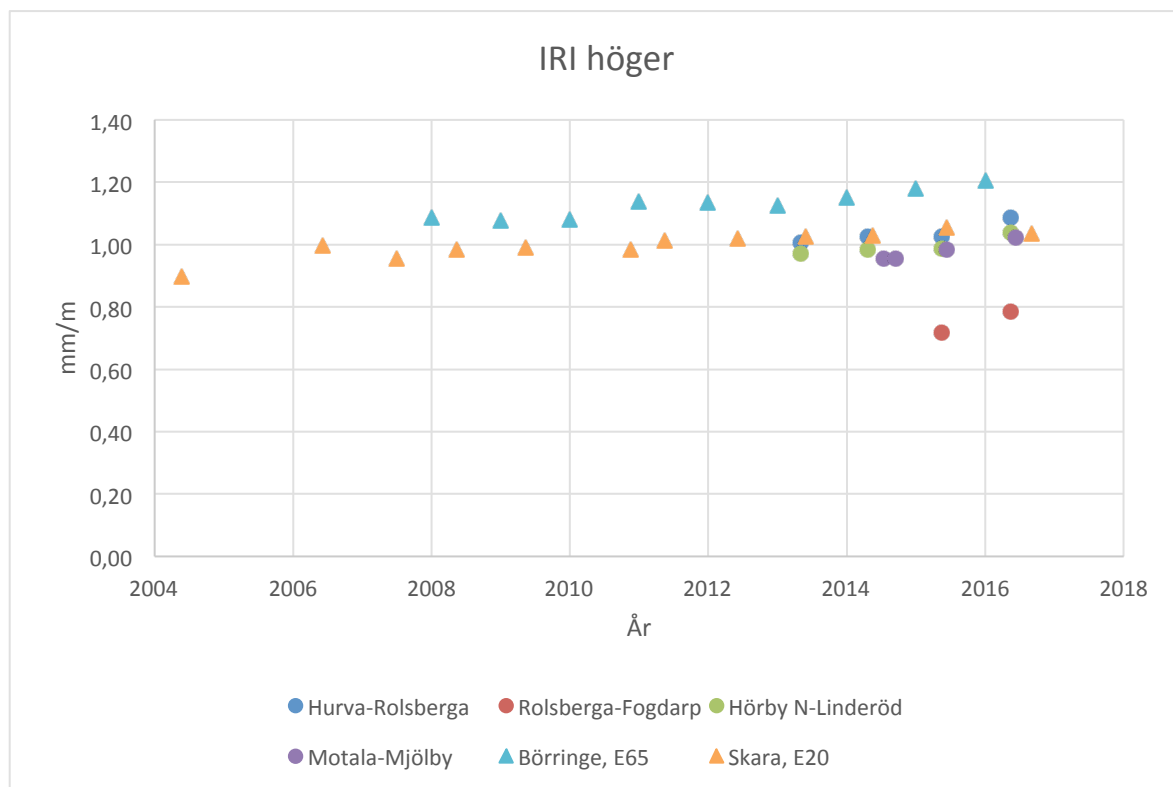
Tabell 22 - Projektion av IRI * För E65 gäller för 8 år.

Sträcka	IRI, trafiköppning	IRI, linjär projektion	Antal uppmätta år	IRI, 10 år efter färdigställandet
Hurva-Rolsberga	1,01	$y = 0,0229x - 45,173$	4	1,15
Rolsberga-Fogdarp	0,72	$y = 0,0708x - 141,97$	2	1,40
Hörby N-Linderöd	0,97	$y = 0,0201x - 39,466$	4	1,20
Motala-Mjölby	0,96	$y = 0,0366x - 72,685$	3	1,39
Böringe, R65	1,09		8	1,21*
Skara, E20	0,90		10	1,03



Figur 72 - IRI höger-utvecklingen för de fyra jämförelseobjekten. Prickade linjerna är trendlinjer.

I figur 72 kan man se hur de fyra jämförelseobjekten står sig mot varandra med hänsyn till IRI.



Figur 73 - IRI höger i förhållande till referensobjekten som markeras med trianglar.

Det som där framgår är att Hurva – Rolsberga, Hörby N – Linderöd och Motala – Mjölby har liknande värden vid färdigställandet och att Rolsberga - Fogdarp ligger klart under dessa, vilket innebär att den var jämnast vid vägöppning. Ur de följande årens mätningar kan man där också se hur IRI utvecklas. De två sträckorna Hurva – Rolsberga och Hörby N – Linderöd som består av samma konstruktion har också en liknande utveckling per år. Motala – Mjölby något mer än dessa och Rolsberga – Fogdarp utvecklingstrend är ungefär dubbelt så stor som övriga konstruktioner. Här ska det understrykas att det endast finns två mätningar för den sistnämnda sträckan.

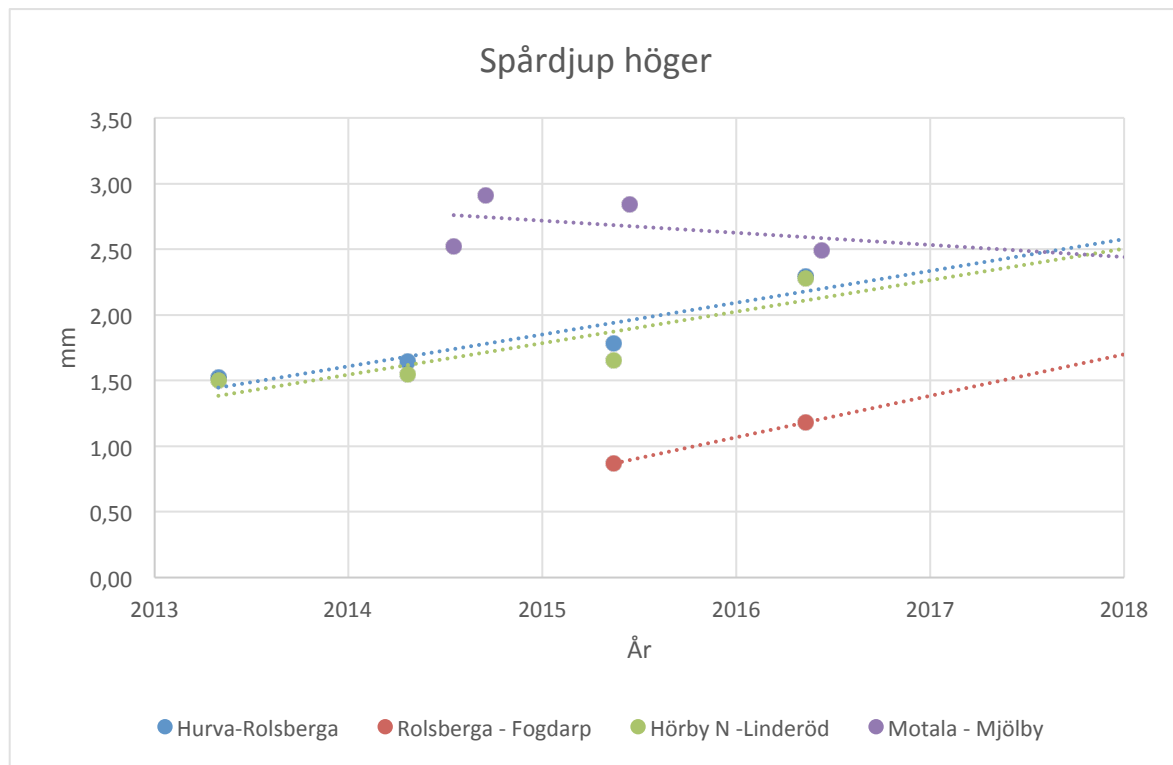
I figuren 73 (föregående sida) kan man se värdena för IRI initialt och dess utveckling genom åren för jämförelseobjekten och referensobjekten. Här visas att sträckan Rolsberga – Fogdarp ligger klart under referensobjekten och att de övriga jämförelsesträckorna initialt har liknande värden som dessa.

5.2.3 Spårdjup

Spårdjup är ett mått på den tvärsgående ojämnheten. Under mätning av spårdjupet är placeringen av mätbilen av större betydelse än för IRI, vilket medför att spårdjup har större osäkerhet och skillnaderna är större mellan de olika mätningarna. Skillnaden av spårdjup vänster och höger beror på hur och var människor kör på vägen samt vilken linje mätbilen mäter i längst vägen. Vi har kunnat se i PMSV3 att det är varierande och att mätningen "alltid" får med vänster hjulspår men ibland missar delar av det högra spårdjupet.

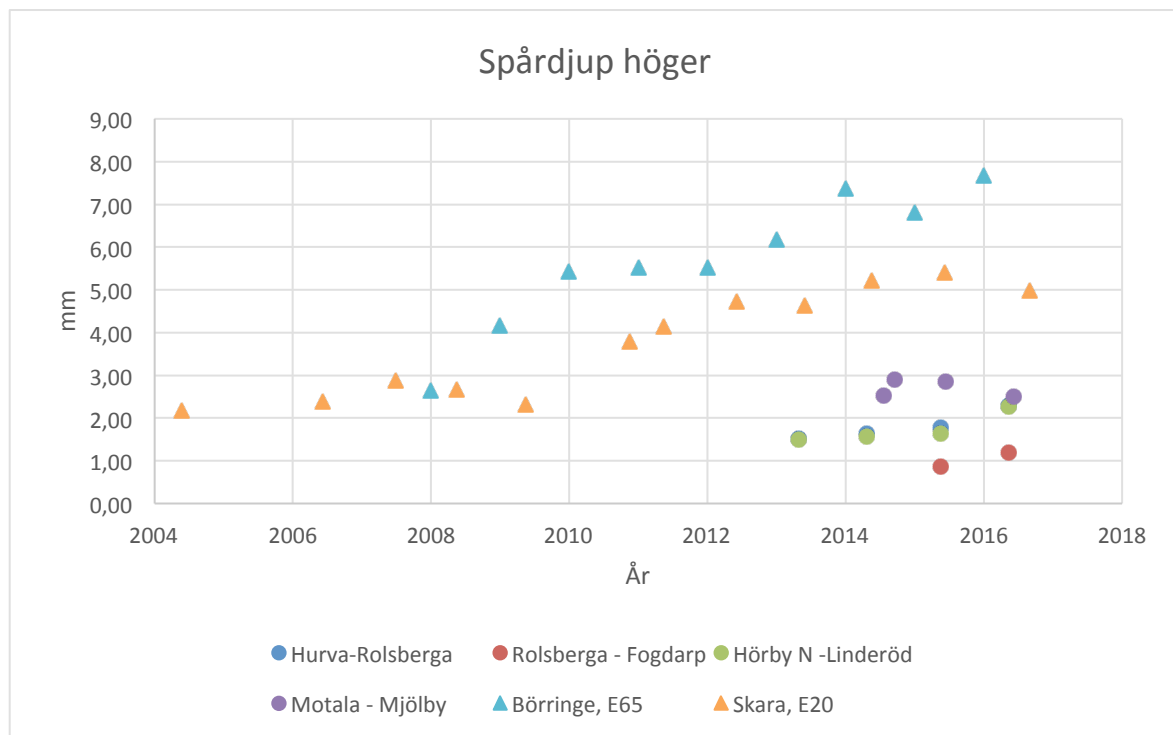
Tabell 23 - Projektion spårdjup viktat höger och vänster.

Sträcka	Spårdjup, trafiköppning	Spårdjup, linjär projektion	Antal uppmätta år	Spårdjup, Garantitidtidens slut
Hurva - Rolsberga	1,87	$y = 0,1507x - 301,55$	4	3,32
Rolsberga - Fogdarp	1,87	$y = 0,0708x - 141,97$	2	4,67
Hörby N - Linderöd	2,07	$y = 0,0201x - 39,466$	4	3,76
Motala - Mjölby	3,52	$y = 0,0366x - 72,685$	3	7,54
Börringe, R65	3,64		8	9,40
Skara, E20	2,76		10	6,74



Figur 74 - Spårdjup höger-utvecklingen för de fyra jämförelseobjekten. De prickade linjerna är trendlinjer.

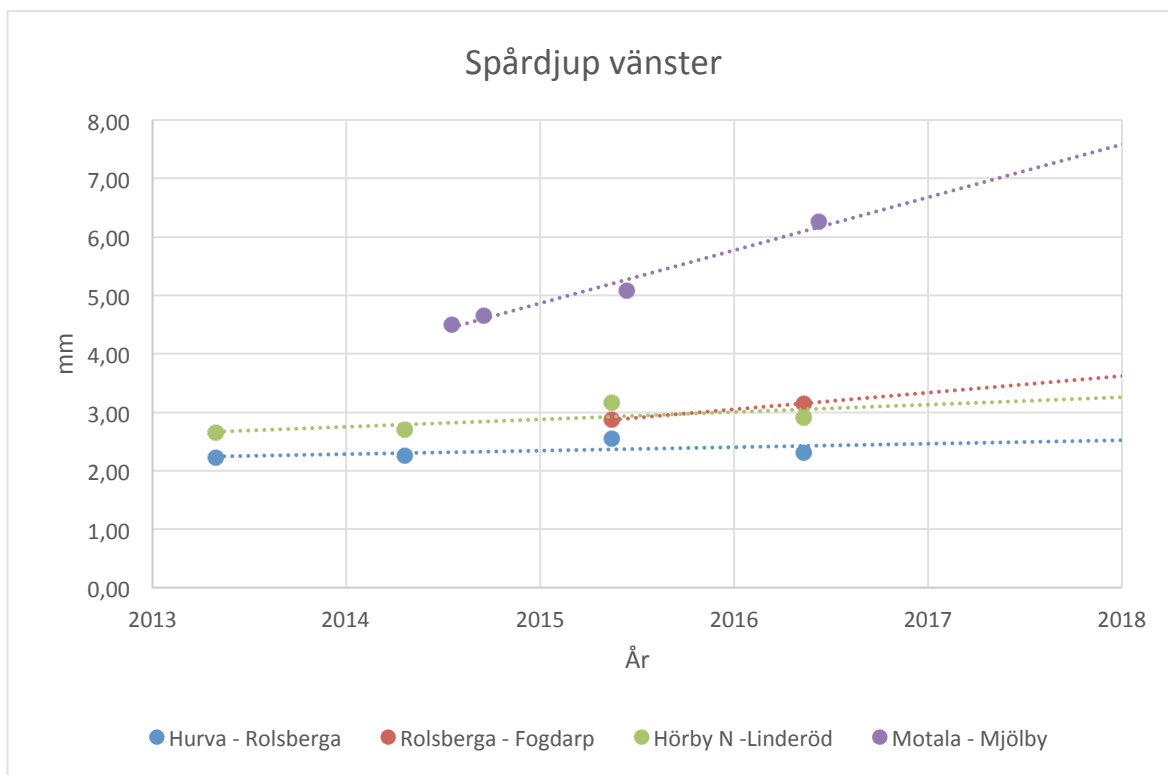
Kravet för spårdjup är initialt att 95 % av sträckan ska vara $\leq 3,0$ mm i medelvärde för 20 m och $\leq 2,5$ mm i medelvärde på 400 m. Vid garantibesiktningen ska spårdjupet på 90 % av sträckan vara $\leq 11,0$ mm i medelvärde för 20 m och $\leq 10,0$ mm i medelvärde för 400 m.



Figur 75 - Spårdjup höger i förhållande till referensobjekten som markeras med trianglar.

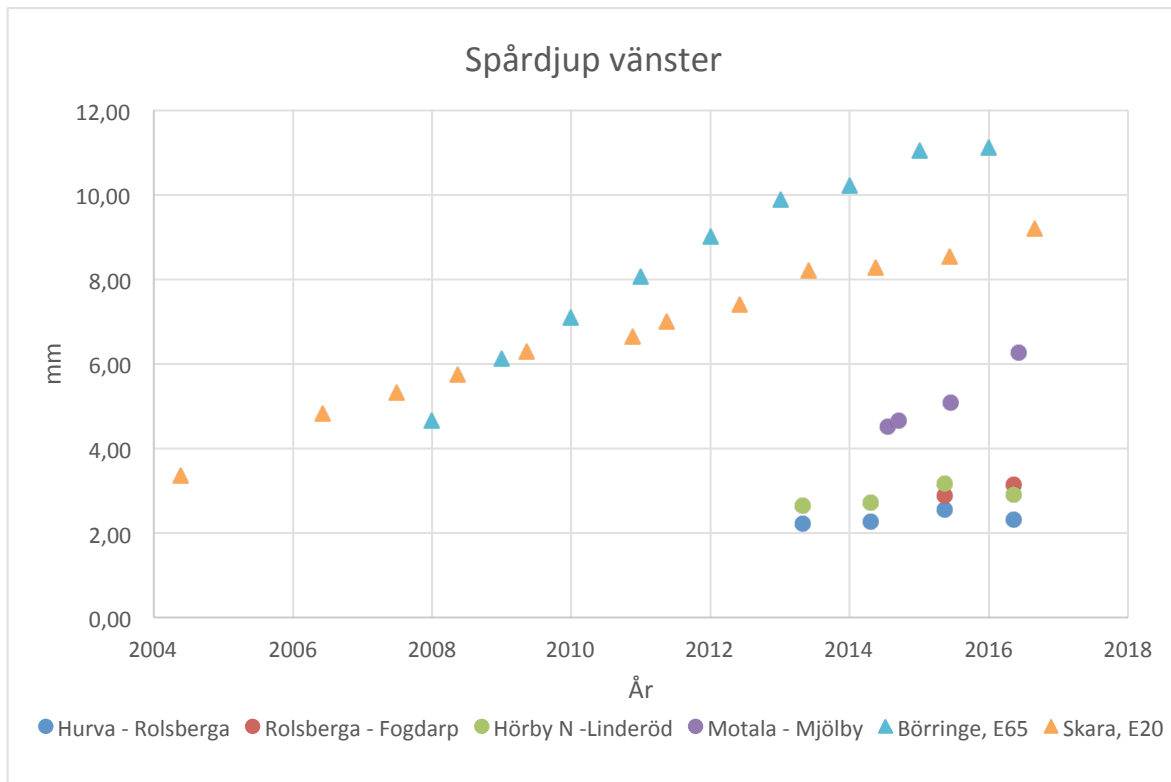
I figur 74 och 75 är det mest uppseendeväckande att Motala – Mjölbys spårdjup minskar för höger hjulspår vilket är osannolikt. För övriga sträckor är utvecklingen ökande.

I jämförelse med referensobjekten är spårdjup höger initialt lägre med undantag av Motala – Mjölby som ligger på liknande nivå.



Figur 76 - Spårdjup vänster-utvecklingen för de fyra jämförelseobjekten. Prickade linjer är trendlinjer.

Spårdjup vänster har tolkats vara en mer intressant parameter än spårdjup höger på grund av de tidigare nämnda anledningarna. Här i figur 76 kan det också ses att samtliga jämförelsesträckor ökar mer eller mindre. Det kan också ses att Hurva – Rolsberga och Hörby N – Linderöd som har samma konstruktion följer varandra och utvecklas på ett likande sätt, precis som de gjort för spårdjup höger och IRI. Det som sticker ut är att Motala – Mjölby har ett betydligt större spårdjup vänster och utveckling av det samma än vad övriga i jämförelseobjekten har.



Figur 77 - Spårdjup vänster i förhållande till referensobjekten som markeras med trianglar.

En tidig tendens enligt figur 77 pekar på att spårdjupsutvecklingen är betydligt mindre än för referensobjekten med undantag för Motala – Mjölby som utvecklas i en liknande takt som dem.

5.3 Intervjustudie

I det här avsnittet redovisas resultatet av den intervjustudie som gjorts. Inledningsvis presenteras resultatet av mer teoretiska frågor om ämnet stabilisering. Efterföljande redovisas resultatet av frågorna som berör de fyra jämförelseobjekten. Avslutningsvis redovisas jämförelser mellan de fyra vägarna intervjupersonernas åsikt om dem samma.

Alla intervjupersoner har inte svarat på alla frågor, vilket har gjort att fördelningen beställare/entreprenörer och antalet svarande per fråga kan variera från fråga till fråga.

Hela frågeformuläret finns i Bilaga C. Det består av 12 stycken frågor där generella frågor om ämnet stabilisering utgörs av fråga 3,4,5,7 och 10. Specifika frågor angående varje enskild vägsträcka utgörs av fråga 6,8,9 och 11. Fråga 11 är en fråga där samtliga vägsträckor jämförs mellan varandra.

5.3.1 Generella frågor kring stabilisering

Det här avsnittet avser de frågor som berör ämnet stabilisering i allmänhet och där karaktären på frågorna varit mer översiktlig. Frågorna vidrör bland annat dimensioneringsprinciper för stabiliserade vägkonstruktioner, vilka produktionstekniska svårigheter som finns, kompliceringen av kontroller, hur intervjupersonerna ser på drift- och underhållsbehovet samt vilka de största för- och nackdelarna med stabilisering är. Frågorna är tänkta att ge en bredare kunskap om hur stabiliseringar utförts rent praktiskt och återkoppla till den litteraturstudie som utfördes i början av examensarbetet.

5.3.1.1 Fråga 3

- Vilka är de största för- och nackdelarna med stabilisering?

Efter de två inledande frågorna som berör vilken roll och etapp som intervjupersonen varit delaktig i ställdes denna mycket precisa och visande fråga, nämligen vilka för och nackdelar vägprojekt med stabilisering i konstruktionen har. På så vis plockas det mest väsentliga fram på en gång och man får igång diskussionen.

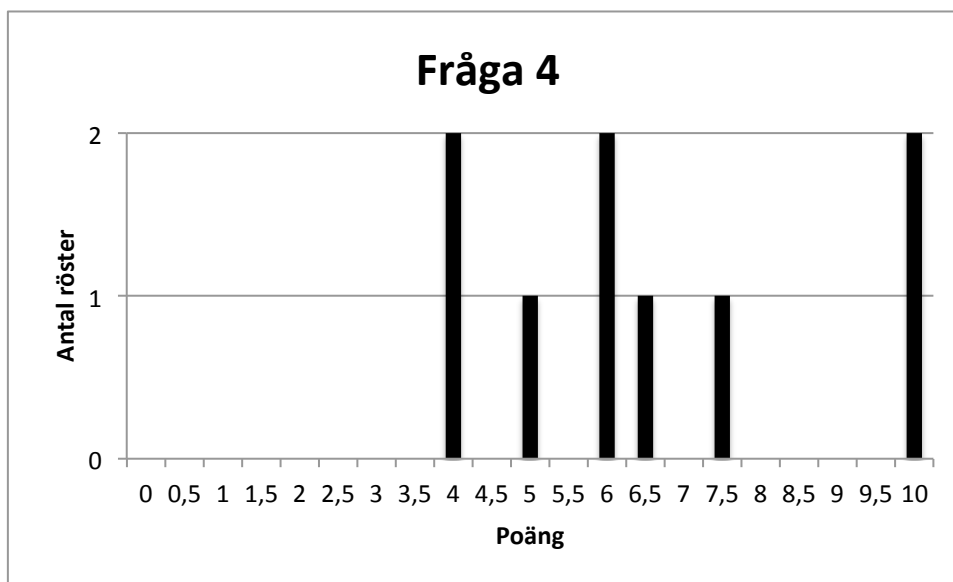
Det vanligaste svaret på frågan kring fördelar är användning av material på plats och minskningen av transporter till och från arbetsplatsen. Detta är både en ekonomisk och miljömässig vinst enligt intervjupersonerna. Även en minskad användning av asfalt och krossmaterial är en positiv bieffekt. Några av intervjupersonerna nämner även de ekonomiska aspekterna och att konstruktionen blir betydligt billigare med stabilisering. Två intervjupersoner antyder också att en stor fördel med stabiliseringar är att man kan binda förorenad jord, en så kallad solidifiering, som binder upp föroreningarna. På så vis sparas pengar på sanering in. En röst från beställarsidan nämner även fördelen att entreprenören får större frihetsgrader och kan skapa nya innovativa metoder för skapande av nya vägkonstruktioner som uppfyller de krav som satts. En sista positiv aspekt enligt många av intervjupersonerna är den uppnådda bärigheten på vägar med stabilisering.

Intervjupersonernas vanligaste synpunkt när det kommer till nackdelar är bristen på erfarenhet och kunskap inom området. En annan är att cement används som bindemedel, vilket intervjupersonerna menar har ett stort CO₂-utsläpp och på så vis är negativt för miljön. En oro kring hur vägen betar sig över tid och vad som egentligen kommer att hända i framtiden är en annan osäkerhetsparameter. En av intervjupersonerna beskrev problemet som att det finns för många frågor kring nedbrytningskriterier som ännu inte har besvarats. Många nämner även själva utförandet som en nackdel, då kraven är höga och öppningstiden för cementstabiliseringen inte är särskilt lång. En sista stor nackdel som många av intervjupersonerna nämnt är svårigheten i dimensionering av stabiliserade vägar. Det finns inte tillräckligt utvecklade dimensioneringsverktyg inom det området.

5.3.1.2 Fråga 4

- Hur fungerar dimensioneringen på en skala 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



Stapeldiagrammet ovan visar sammanställningen av antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer är 22/78 %, där entreprenörerna står för den största andelen av svaren. Det är totalt nio stycken som valt att svara på den här frågan. Medelvärdet på frågan är 6,6. I det här fallet visar det på att dimensioneringen av en stabiliserad vägkonstruktion är mer komplicerad än för en traditionell GBÖ-konstruktion.

I samband med fråga 4 ställdes en följdfråga som behandlade vilken dimensioneringsklass som används vid dimensionering av stabiliserade vägar. Det som intervjupersonerna bekräftat är att dimensioneringen sker i ett mellanting mellan DK2 och DK3, då det som tidigare nämnts inte finns några framtagna dimensioneringsprinciper från Trafikverkets sida. Generellt sett har två olika metoder för dimensionering använts. Den ena metoden är en förändring av parametrar i PMS-objekt, där ett stabiliserat lager läggs in i programmet. En annan metod som använts är analys med finita element metoden (FEM).

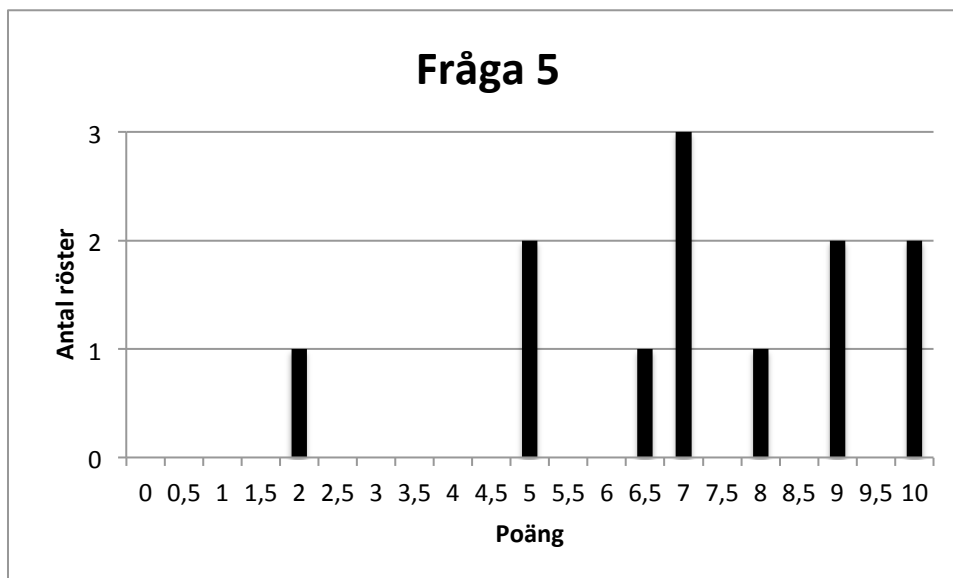
Dimensioneringen upplevs som ett svårt moment enligt de flesta av intervjupersonerna. De stora anledningarna till det är bristen i det dimensioneringsprogram som Trafikverket tillhandahåller. I PMS-Objekt finns inga inlagda lager som motsvarar stabiliseringen. Därav är det ett par av intervjupersonerna som föredrar andra metoder än PMS-Objekt då de är mer aktiva. För att återkoppla till det kvantitativa resultatet ovan så visar både intervjupersonernas kommentarer och resultatet där att dimensioneringen är svårare än för en vanlig GBÖ. Detta till stora delar på grund av bristen i indata att använda i befintliga dimensioneringsprogram.

På den andra följdfrågan, vad som kan förbättras med dimensioneringen så är intervjupersonernas svar enhälligt, då alla tycker att dimensioneringsmetoden bör utvecklas och förbättras. Ett par av intervjupersonerna nämner vikten av att få grepp om nedbrytningskriterierna och få mer förståelse kring livslängd för stabiliserade vägar. Trafikverket har mycket att jobba på avseende den biten om man lyssnar till vad intervjupersonerna haft att säga.

5.3.1.3 Fråga 5

- Hur är de produktionstekniska svårigheterna med ett stabiliserat vägbygge respektive ett traditionellt vägbygge på en skala mellan 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



I stapeldiagrammet ovan visas en sammanställning av antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer är 36/64% där entreprenörerna står för den större andelen. Antalet intervjupersoner som svarat på frågan är 12 stycken. Medelpoängen är 7,1, vilket innebär att intervjupersonerna menar på att de produktionstekniska svårigheterna är mer omfattande för en stabiliserad väg än för en traditionell GBÖ-konstruktion.

Enligt intervjupersonerna är de produktionstekniska svårigheterna betydligt större vid ett vägbygge med stabilisering jämfört med ett traditionellt vägbygge, vilket även den kvantitativa undersökningen styrker. Den stora anledningen till svårigheterna är det stora antalet kontroller som måste utföras jämfört med vid ett traditionellt vägbygge. Kontroller på vattenkvot, packningsgrad, bindemedelshalt etc. är några av de parametrar som har en

stor betydelse för stabiliseringen som slutprodukt. Det finns helt enkelt inga genvägar vid stabiliseringsprojekt. Stabiliseringen är en del av konstruktionen vilket gör att det är ytterst viktigt att den blir så homogen och bra som möjligt. Då hela konstruktionen bygger på stabiliseringens uppbyggnad och vad för material som finns i terrassen så är det av största vikt att rätt förfrågningsunderlag ges med en komplett geoteknisk undersökning. Skulle jordmaterialet skilja sig mycket från de föreskrifter som getts uppstår problem i produktionen och allt tar mycket längre tid.

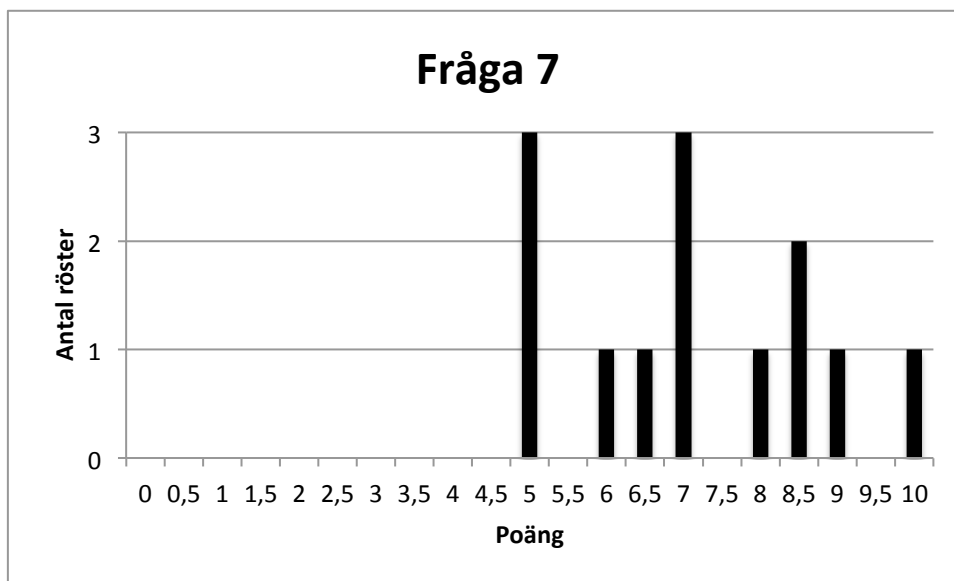
Intervjupersonerna påpekar även de logistiska bekymren som uppstår vid ett stabiliseringsprojekt och vikten av att i god tid planera för varje litet moment under byggtiden. Där finns en intervjuperson som sticker ut och menar på att det är mycket enklare att bygga en stabiliserad väg än en vanlig väg, dock fortsätter denna person med att säga att det krävs rätt kompetens och att helst en specialistentreprenör med stor erfarenhet ska utföra stabiliseringen.

De risker och svårigheter som diskuterats är framför allt med hänsyn till att rätt hållfasthet uppnås. För hög hållfasthet kan leda till reflektionssprickor medan för låg hållfasthet ger vägen en sämre bärighet samt frostproblematik. Utöver detta är det ett par av intervjupersonerna som berättat om svårigheten att vidhäfta asfalt direkt på ett stabiliserat lager, vilket kan vara en svårighet rent produktionstekniskt.

5.3.1.4 Fråga 7

- Hur komplicerad är produktionskontrollen vid stabilisering i relation till ett vanligt vägbygge på en skala mellan 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



I stapeldiagrammet ovan visas fördelningen av antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer är 38/62 % till entreprenörernas

fördel. Antalet svarande på frågan är 13 stycken. Medelpoängen är 7,1, vilket tyder på att intervjupersonerna anser att produktionskontrollen är svårare än vid ett traditionellt vägbygge.

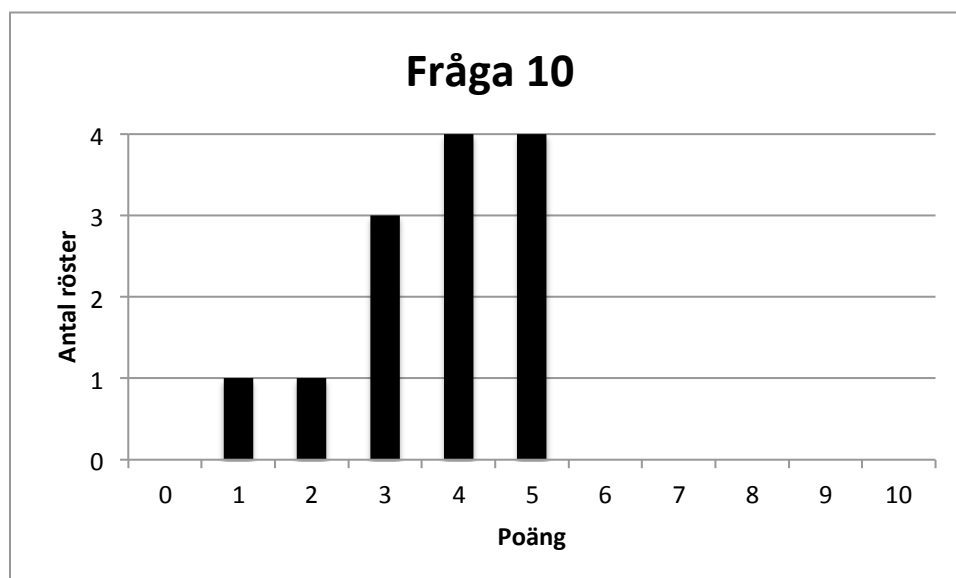
Precis som i den kvantitativa undersökningen så råder det något spridda meningar med produktionskontrollen. Enligt ett par stycken är kontrollerna likvärdiga med motsvarande vid ett traditionellt vägbygge, medan resterande menar på att produktionskontrollen är betydligt svårare än för ett traditionellt vägbygge. Ett par av de intervjuade entreprenörerna menar på att Trafikverket tack vare valet av totalentreprenad blivit bättre på att kräva vad de vill ha. Därför är produktionskontrollerna viktiga och de ska säkerställa att Trafikverket får rätt slutprodukt. Svårigheterna i produktionskontrollen ligger i mängden provtagningar och kontroller under processen. En av intervjupersonerna poängterar vikten av detta genom att förklara att fel resultat av provtagningar kan leda till att hela processen stannar upp och försenas.

Enligt intervjupersonerna hör många av svårigheterna ihop med de produktionstekniska svårigheterna vid ett stabiliserat vägbygge. Kontroll av packning, vattenkvot, bärighet etc. är några av de svårigheter som finns genom processens gång. Ett par av intervjupersonerna förklarar även hur ett omfattande arbete med seismik-kontroller kan vara en viktig del för att säkerställa att konstruktionen har de egenskaper som krävs. Erfarenheter från intervjuerna tyder på att produktionskontrollerna tagits på största allvar och att entreprenörerna för de olika projekten följt upp produktionen med regelbundna och noggranna kontroller. Stora mängder med labb-prover och mätningar har gjorts längs de olika delsträckorna.

5.3.1.5 Fråga 10

- Hur stort är drift- och underhållsbehovet på en stabiliserad väg i förhållande till en traditionell väg på en skala 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



I stapeldiagrammet ovan visas fördelningen mellan antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer är 38/62 % till entreprenörernas fördel. Antalet svarande på frågan är 13 stycken. Medelpoängen är 3,7, vilket i det här fallet innebär att intervjupersonerna anser drift- och underhållsbehovet för att vara något lägre än för en traditionell väg.

I den här frågan är samtliga intervjupersoner överens om att drift- och underhållsbehovet antingen är mindre, eller lika stort som på en traditionell grusbitumenöverbyggnad (GBÖ). Den stora anledningen till den gemensamma åsikten bland intervjupersonerna är den förväntade minskade nedbrytningen av vägen, framför allt gällande vägens bärighet. En styvare väg ger mindre spårdjupsutveckling och på så vis kommer det gå fler år innan underhållsbehov behövs. En vanlig kommentar bland intervjupersonerna är ”om vägen byggs på rätt sätt, bör drift- och underhållsbehovet bli mindre”. Detta innebär en återkoppling till vikten av att få till alla parametrar under produktionen så att rätt slutprodukt fås.

”Rätt dränering är a och o för en lyckad väg” är en annan kommentar som intervjuerna har gett. Flera av intervjupersonerna förklarar att en väl dimensionerad dränering är nyckeln till en fungerande väg under många år framöver. Avvattningen är komplicerad men ett måste och vikten av att hålla terrassen dränerad är av stor vikt med hänsyn till stabiliseringen. Då intervjupersonerna inte vet vad som händer med stabiliseringen över tid, är de extra tydliga när det kommer till hanteringen av vatten. Intervjupersonerna är till största delen eniga kring att om vattnet kan tas bort från stabiliseringen, så kommer vägen att hålla betydligt längre.

I samband med de fyra totalentreprenaderna arbetades olika drift- och underhållshandböcker fram. Dessa har diskuterats vid intervjutillfällena och de berörda intervjupersonerna har förklarat handböckernas omfattning. Det är tydligt och noggrant fördelat vem som ska sköta vad när det kommer till förhållandet entreprenör/beställare. Trafikverket vill ha en form av underhållsgaranti på 10 år då totalentreprenad är förhållandevis nytt för dem. En kommentar som kan vara värd att ta med sig är vikten av att om vägen skulle gå sönder, så är de flesta av intervjupersonerna eniga om att stora problem kommer att uppstå och större ombyggnationer/reparationer kommer att behövas.

5.3.2 Specifika frågor för de olika vägsträckorna

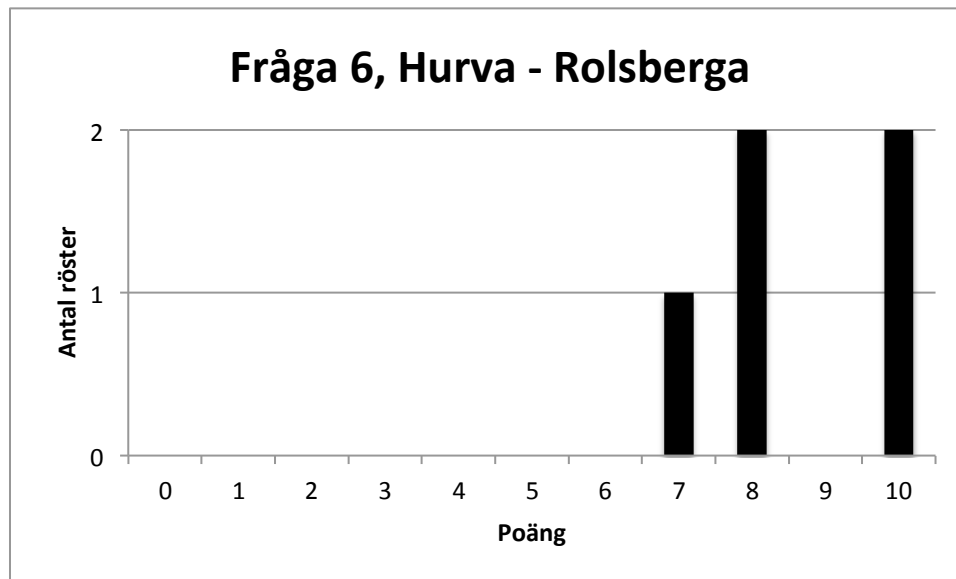
I det här avsnittet diskuteras de olika delsträckorna mer ingående och intervjupersonerna har fått svara på frågorna om de etapper som de varit delaktiga i. Precis som med de tidigare mer allmänna frågorna består varje fråga av en kvantitativ del där poängskalan 0-10 används, där en rent graderad skala gäller, där 0 är det sämsta och 10 det bästa, samt en kvalitativ del där intervjupersonerna fått utveckla sina svar och förklara varför de poängsatt som de gjort.

5.3.3 Hurva – Rolsberga

5.3.3.1 Fråga 6

- Hur fungerade uppföljningen i produktionen på en skala mellan 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



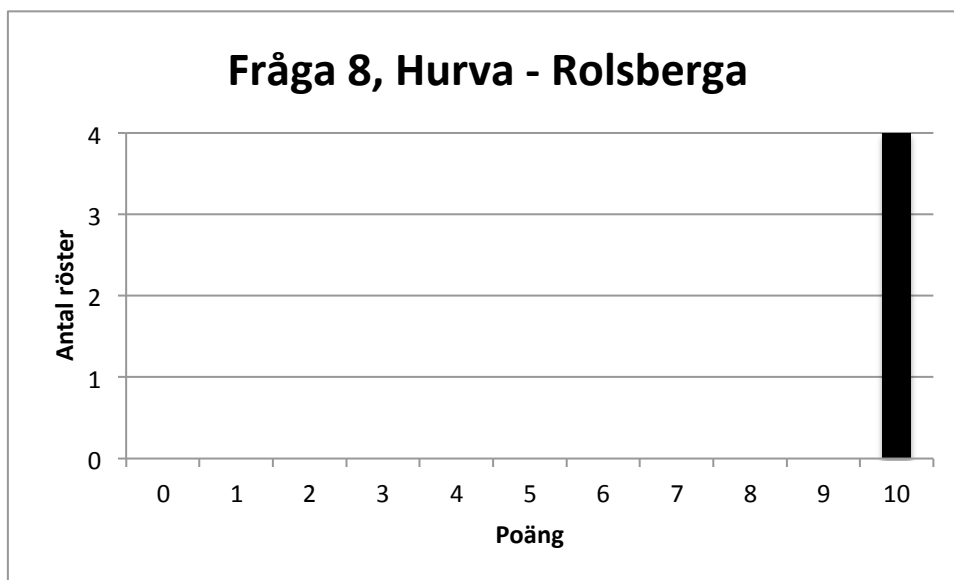
I stapeldiagrammet ovan visas fördelningen mellan antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer är 40/60 % till entreprenörernas fördel. Antalet svarande på frågan är fem stycken. Medelpoängen är 8,6.

En vanlig kommentar bland de berörda intervjupersonerna för den här delsträckan visar på skillnaden på innan expertis kallats in och efter. När entreprenören på delsträckan fick in rätt expertis kunde processen förbättras och efter det gick projektet precis som det var tänkt på den här delsträckan. En röst från beställarsidan berömmar även det arbete som entreprenören gjorde och sa vid ett tillfälle att det är de mest detaljerade och noggranna uppföljningar den personen någonsin sett inom ett vägbygge. Egenkontrollerna var många och bra. Kommentarererna från den kvalitativa delen överensstämmer ganska väl med det kvantitativa resultatet för frågan.

5.3.3.2 Fråga 8

- Hur väl uppfyllde stabiliseringen sitt syfte på en skala 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



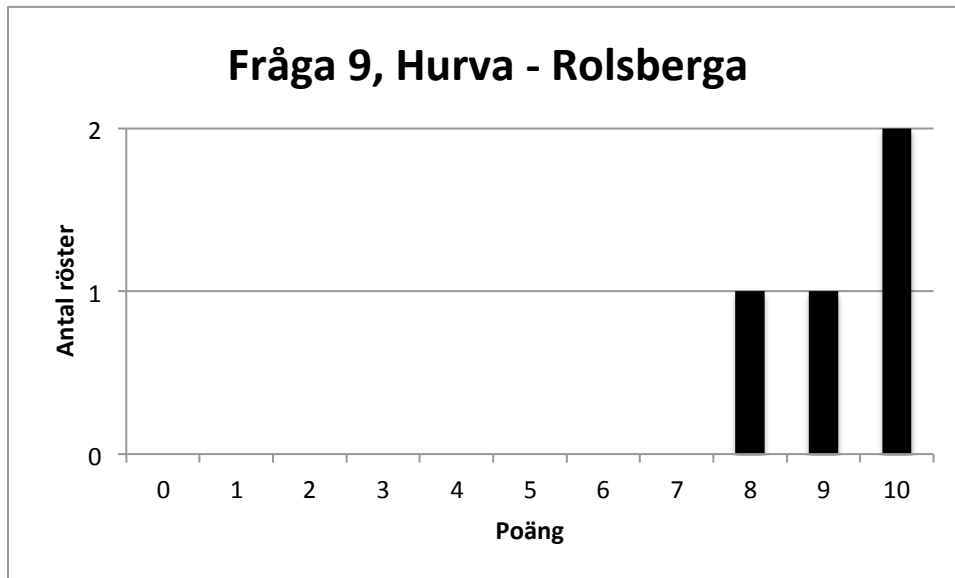
I stapeldiagrammet ovan visas fördelningen mellan antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer är 50/50 %. Antalet svarande på frågan är fyra stycken. Medelpoängen är 10.

Det största syftet med den här delsträckan var att bygga en så bra motorväg som möjligt som skulle klara kraven för teknisk livslängd, bärighet samt jämnhet. Ett annat syfte var att använda så mycket av befintligt material längs väglinjen som möjligt och på så vis kunna göra en ekonomisk vinst. Intervjupersonerna menar på att dessa syften har uppfyllts på ett mycket tillfredställande sätt, vilket också det kvantitativa resultatet visar. Beställarsidan är mycket nöjd och anser att de har fått mycket väg för pengarna som de tror kommer att hålla i många år framöver. Funktionskraven uppfylls helt enkelt. Entreprenören är också mycket nöjd med resultatet och de anser att de levererat efter de krav som sattes upp. Dessutom anser entreprenörerna att de har levererat en stabilisering som kommer att bidra till vägens bärighetsegenskaper i många år.

5.3.3.3 Fråga 9

- Hur lyckat var projektet i sin helhet på en skala 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet för den kvantitativa delen av frågan.



I stapeldiagrammet ovan visas fördelningen mellan antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer är 50/50 %. Antalet svarande på frågan är fyra. Medelpoängen är 9,3.

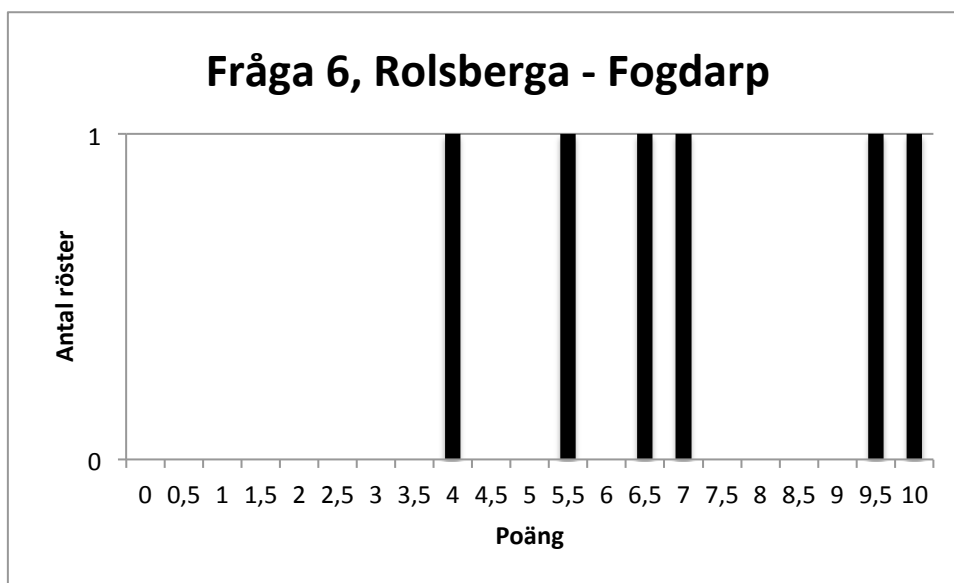
Helhetsbetyget är generellt sett mycket bra enligt de berörda intervjupersonerna. Helhetsbilden innefattar både produktionen samt resultatet av den färdiga vägen. Det är fortfarande tidigt att utvärdera vägen, men det går att se tendenser och förväntad utveckling. Precis som i fråga 8 är beställare/entreprenör väldigt eniga om hur lyckat projektet har varit, vilket också gav ett högt kvantitativt resultat. Det som framför allt lyfts fram är vägens höga bärighet, som intervjupersonerna anser vara en av de viktigaste parametrarna i helhetsbilden.

5.3.4 Rolsberga – Fogdarp

5.3.4.1 Fråga 6

- Hur fungerade uppföljningen av produktionen på en skala mellan 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



I diagrammet ovan illustreras fördelningen mellan antalet röster och de motsvarande poängen. Fördelningen mellan beställare/entreprenörer i svarsfrekvens ligger på 50 % vardera. Det är sex personer som har svarat på frågan. Medelvärdet för poängen är 7,1.

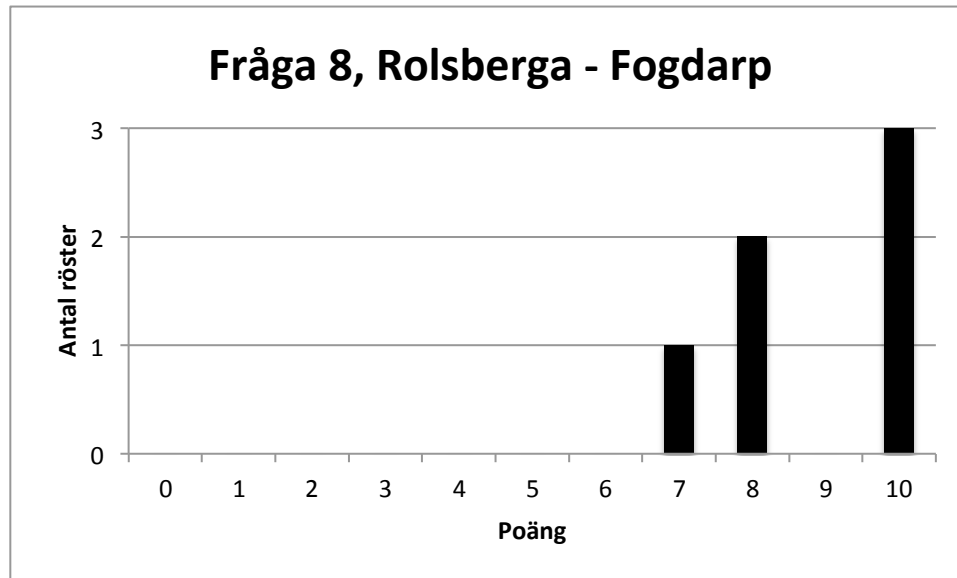
De berörda intervjupersonerna från entreprenörens håll är eniga om att uppföljningen fungerade minde bra i inledningen av projekten, men att den sedan förbättrades avsevärt efter några justeringar. En stor mängd kontroller gjordes vid uppföljningen, framför allt med hjälp av seismik⁹. Kontrollerna var viktiga och därför pekar intervjupersonerna på vikten av en fungerande logistik. Beställarsidan var också nöjd med hur uppföljningen fungerade och vilka provtagningar som gjordes. Helhetsintrycket från intervjupersonerna är att uppföljningen fungerade bra och att de som arbetade med vägen lärde sig mer och mer efterhand.

⁹ Seismik är en fältundersökningsmetod där ljudvågor mäts och analyseras för att bestämma jordens egenskaper.

5.3.4.2 Fråga 8

- Hur väl uppfyllde stabiliseringen sitt syfte på en skala 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



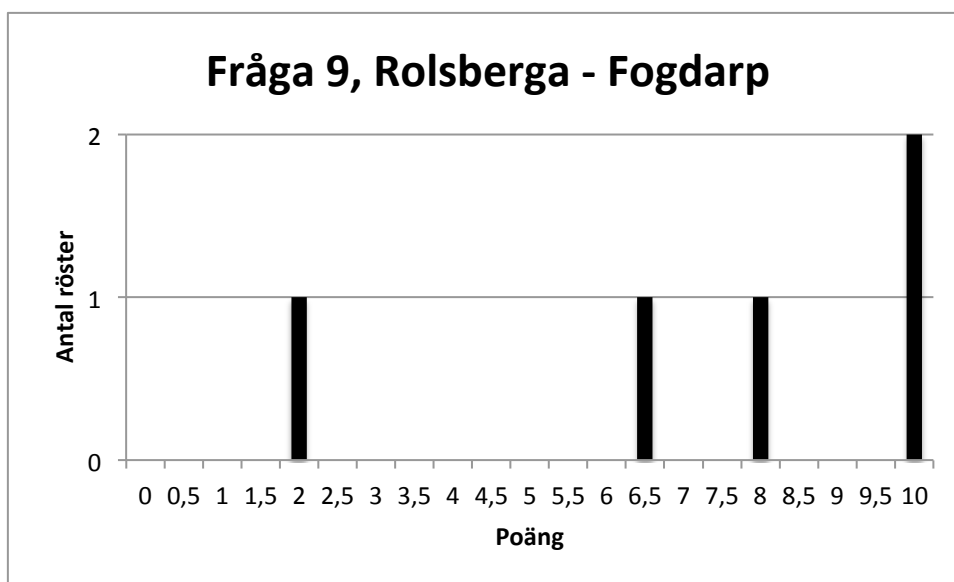
Stapeldiagrammet visar fördelningen mellan antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer i den här frågan var 50 % vardera. Det är sex personer som har svarat på frågan. Medelvärdet för poängen är 8,8.

Syftet med stabiliseringen var att utnyttja befintligt material och skapa en plattform för det obundna materialet. Dessutom skulle terrasstabiliseringen vara en del av konstruktionen och tanken var även att minska mängden transporter och inköp av nytt material. I förhållande till dessa syften upplever intervjupersonerna att de uppfyllt syftena på ett tillfredsställande sätt. En intressant kommentar berörde utvecklingen av vägbranschen, där en av intervjupersonerna menade att projektet var en del i utvecklingen och att på lång sikt skulle liknande projekt vara miljövänligare och mer ekonomiska än dagens traditionella vägbyggen. Beställarsidan är nöjda med stabiliseringens inverkan på vägkonstruktionen och dess förbättrande bärighetsegenskaper.

5.3.4.3 Fråga 9

- Hur lyckat var projektet i sin helhet på en skala 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



I diagrammet ovan visas fördelningen mellan antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen på svarande i förhållandet beställare/entreprenör ligger på 60/40 % till beställarens favör. Antalet svarande på den här frågan är fem stycken. Medelvärdet av poängen är 7,3.

Helhetsbedömningen är gjord på både hur produktionen fungerat samt hur resultatet av vägen har blivit. Överlag är intervjupersonerna nöjda med helheten kring projekten och från beställarsidan anser man att man fått mycket väg för pengarna. En kommentar lyder, ”den bästa vägen jag upplevt i mitt liv, det gick väldigt snabbt att ta till sig hur bra den var”.

Det förekommer en del självkritik bland entreprenörerna i den här frågan. Bland annat nämns för höga finjordshalter i krossmaterialet, vilket dock inte kan belasta stabiliseringen i sig, men även problem i projekteringen samt för dåligt geoteknisk underlag i inledningen av arbetet. En av intervjupersonerna upplevde att undersökningarna inte stämde överens med verkligheten.

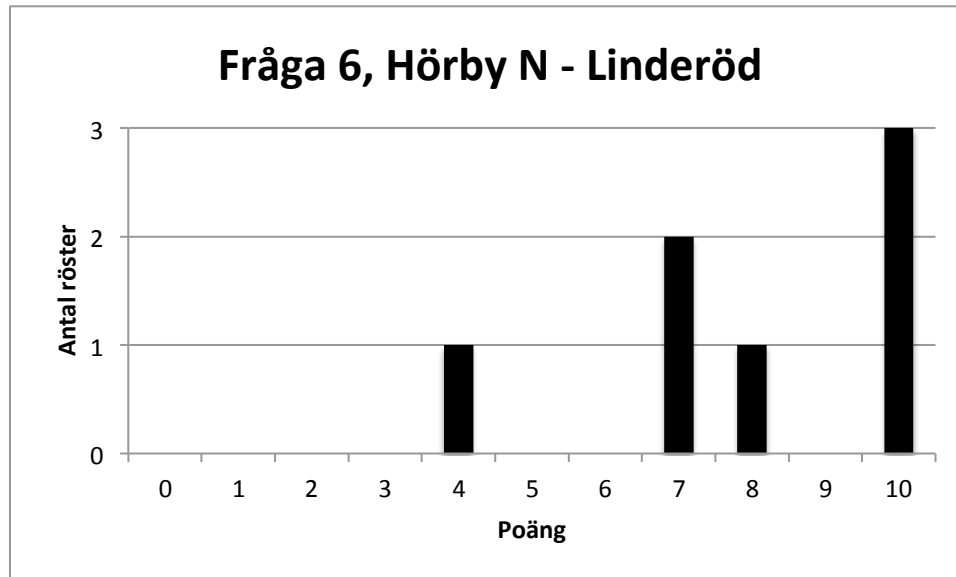
En annan viktig aspekt i förhållande till att en röst endast gett vägen betyget 2 är till stora delar beroende på att vägen blev dyrare än det som räknats hem. Rent vägtekniskt är vägen bra men det finns helt enkelt fler vinklar i ett projekt av den här storleken, där ekonomi är en stor del.

5.3.5 Hörby N – Linderöd

5.3.5.1 Fråga 6

- Hur fungerade uppföljningen i produktionen på en skala mellan 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



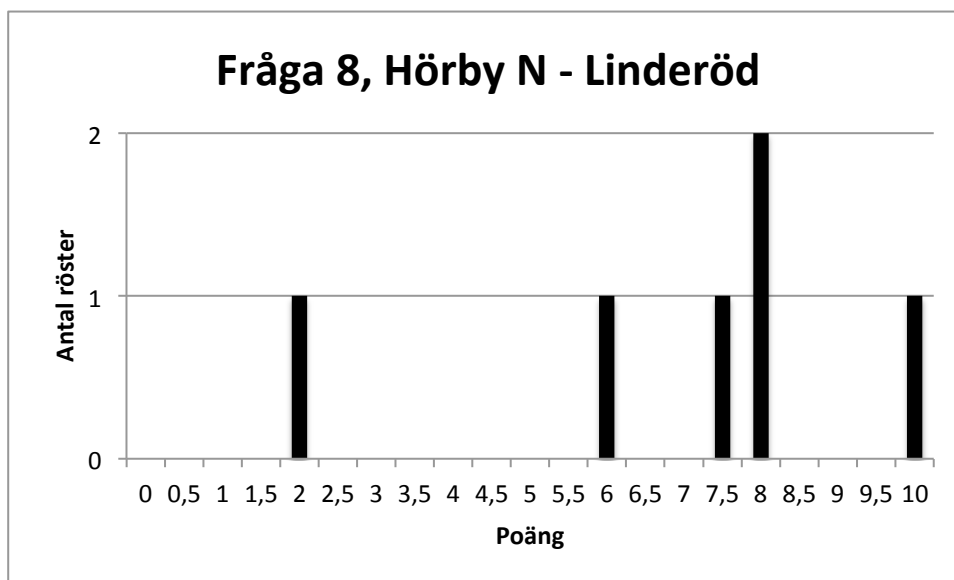
I stapeldiagrammet ovan visas fördelningen av antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer är 57/43 % till beställarens fördel. Antalet svarande på frågan är sju. Medelpoängen är 8.

Likt etappen Hurva – Rolsberga var intervjupersonerna eniga om att antalet kontroller under processen var mycket stort. En av entreprenörerna förklarar att expertisen först kom in i projektet då en kilometer väg rämnat och asfalten spruckit upp på grund av att vatten tagit sig in konstruktionen och löst upp stabiliseringen. Trots ett par missöden konstaterade intervjupersonerna dock att kontrolldelen och uppföljningen i projektet fungerade tillfredsställande och på ett sådant vis att förändringar gjordes om provresultaten inte ansågs vara tillräckligt bra.

5.3.5.2 Fråga 8

- Hur väl uppfyllde stabiliseringen sitt syfte på en skala mellan 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



I stapeldiagrammet ovan visas fördelningen mellan antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer är 80/20 % till beställarens fördel. Antalet svarande på frågan är 5 stycken. Medelpoängen är 8,9.

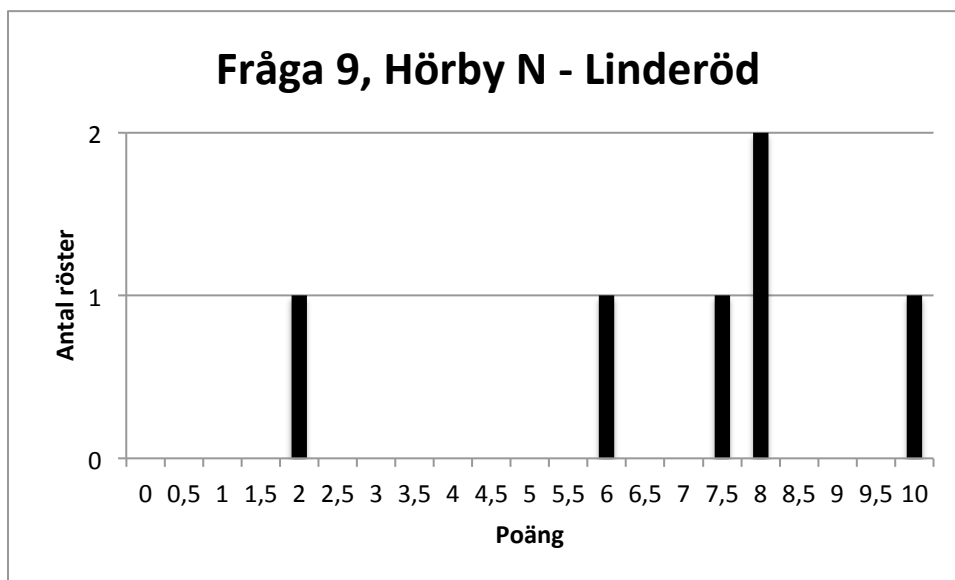
Syftet med stabiliseringen var att utnyttja befintligt material, bygga in förorenad jord samt leverera en beständig och stark konstruktion som skulle klara de tekniska kraven och hålla i många år framöver. Intervjupersonerna verkar eniga om att de första provresultaten visar på att vägen klarar av de krav som sattes och att stabiliseringen på så vis uppfyller sitt syfte. Det finns dock lite tvivel hos en av intervjupersonerna, som menar på att det är alldeles för tidigt att avgöra redan nu hur pass bra konstruktionen står sig och framför allt över en längre tid. Ett önskemål där är att vänta med att bedöma stabiliseringen tills konstruktionen har fler år på nacken.

Intervjupersonerna är överens om att de första mätningarna på vägen visar på att konstruktionen är mycket styv och har en bra hållfasthet. Även spårdjups- och sprickkriterium diskuteras och där är de eniga om att de uppfylls på ett tillfredsställande sätt.

5.3.5.3 Fråga 9

- Hur lyckat var projektet i sin helhet på en skala mellan 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



I stapeldiagrammet ovan visas fördelningen mellan antalet röster och motsvarande poäng. Fördelningen mellan svarande beställare/entreprenörer är 67/33 % till beställarens fördel. Antalet svarande på frågan är sex. Medelpoängen är 6,9.

Helhetsbedömningen är gjord på både produktion och med tanke på hur vägen faktiskt blev. Intervjupersonerna är relativt eniga om att vägen blivit ett lyckat projekt, framför allt med tanke på att den uppfyller de funktionskrav som Trafikverket satt upp. En röst ifrågasätter avvattningen på sträckan och pekar på att där kan uppstå bekymmer i framtiden. En annan röst påpekar den stora tidspressen som fanns i projektet. Intervjupersonerna är också eniga om att de stora problem som uppstod med vägen under den första vintern, då vägen lyfte 1 dm vid en bro, är svåra att förklara. De anser också att vägen återhämtat sig efter detta relativt bra och att den fortfarande har bra bärighet. Ett annat problem som fanns under processen var bekymren med att vidhäfta asfalten vid det stabiliserade materialet och det bidrar till att helhetsbilden blir något sämre.

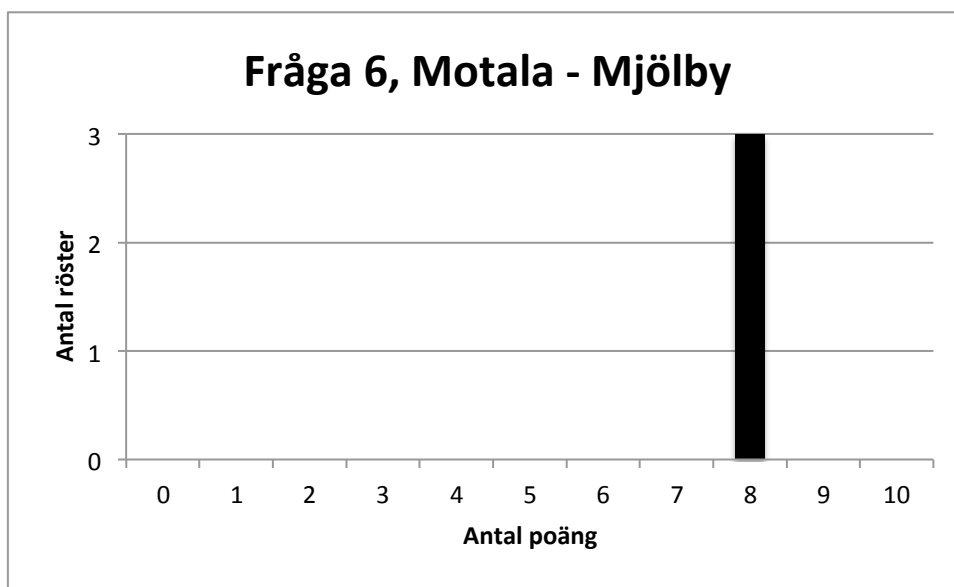
En intressant kommentar i samband med frågan är, ”vi fick ta mycket av problemen och det gjorde att de lösningar vi tog fram bidrog till att skapa en fungerande produktionsapparat, som delsträcka Hurva – Rolsberga sedan kunde ta vidare ifrån”. En annan intressant kommentar var att en av anledningarna till att betyget för vägen drogs ner var att entreprenören gick back på projektet. Delsträckan har blandade intryck hos intervjupersonerna men rent vägtekniskt står den sig bra.

5.3.6 Motala – Mjölby

5.3.6.1 Fråga 6

- Hur fungerade uppföljningen i produktionen på en skala mellan 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



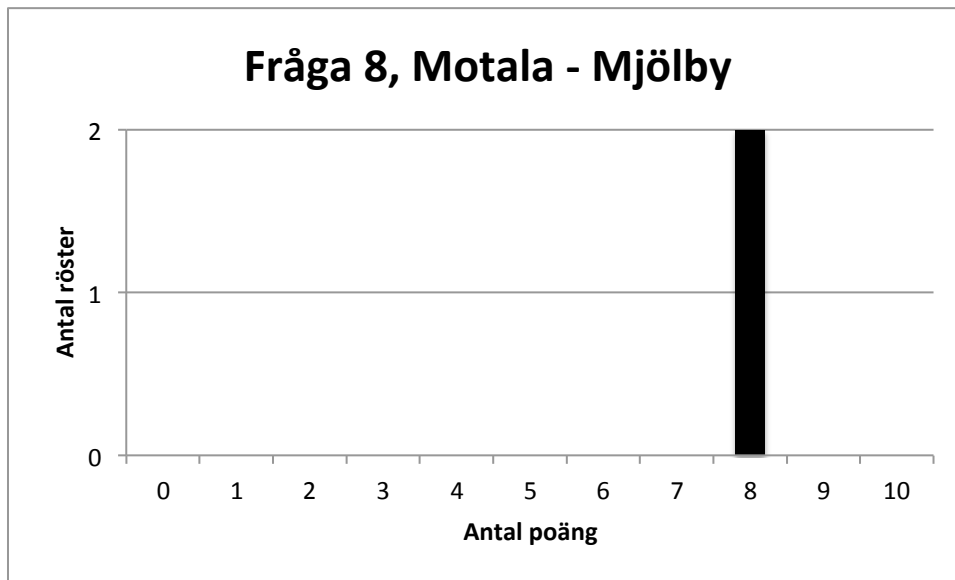
I diagrammet ovan visas fördelningen mellan antalet röster och respektive poäng. Fördelningen på svarande mellan beställare/entreprenörer är 33/67 %. Antalet svarande på frågan är tre stycken och genomsnittsbetyget är 8.

Då det varit svårare att få tag i intressanta intervjupersoner med anknytning till sträckan Motala – Mjölby har svarsfrekvensen varit något lägre för den här delsträckan. De som intervjuats har dock menat på att uppföljningen fungerade bra och att den utrustning som finns bidrar till ett bra resultat. Den utrustningen innebär bland annat olika laborationsmetoder, men även bra maskiner som sköter infräsning, bindemedelsutläggning osv. En kommentar kring uppföljningen lyder, ”Det är svårt att följa upp något som brunnit fyra veckor senare” vilket innebär att det är för kort tid att följa upp på. Beställarsidan är nöjd med hur entreprenören uppfyllde sitt kontrollprogram.

5.3.6.2 Fråga 8

- Hur väl uppfyllde stabiliseringen sitt syfte på en skala mellan 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



I diagrammet ovan visas fördelningen mellan antalet röster samt respektive poäng. Fördelningen på antalet svarande i förhållandet beställare/entreprenörer ligger på 50/50 %. Antalet svarande på den här frågan är två stycken. Medelpoängen är 8.

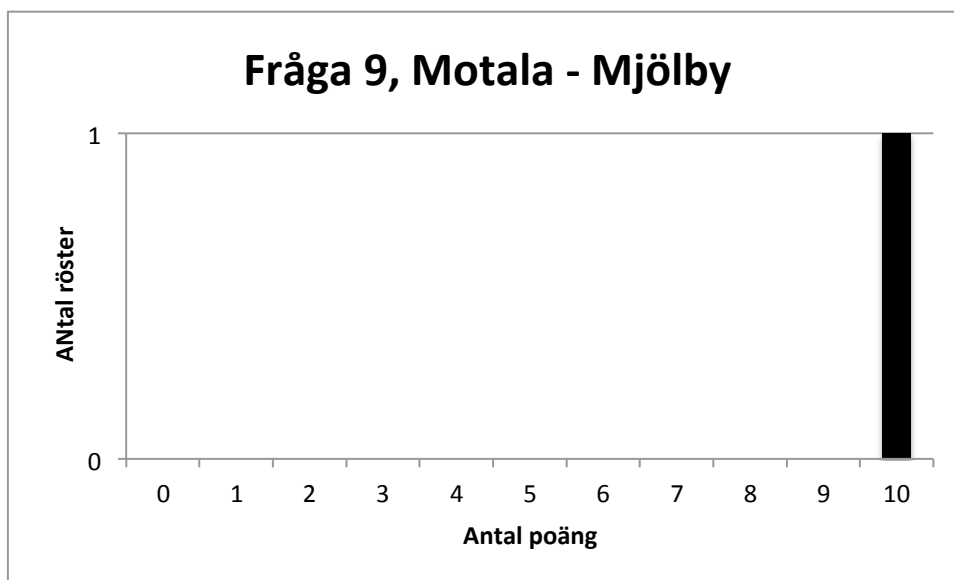
Syftet med stabiliseringen på den här sträckan var att det var underskott i jordmassor och därför användes stabilisering som en åtgärd. Dessutom skulle stabiliseringen stärka konstruktionen och bidra till att konstruktionen skulle klara av de tjäldjup som råder i området. Syftet var även att minska på överbyggnadskonstruktionens tjocklek.

Stabiliseringen har fungerat bra enligt intervjupersonerna och de första resultaten visar på att vägen klarar de funktionskrav som satts upp. En av intervjupersonerna nämner dock att det har uppstått lite problem på en av de stabiliserade sträckorna, vilket har åtgärdats. Stabiliseringen har uppfyllt sitt syfte enligt intervjupersonerna.

5.3.6.3 Fråga 9

- Hur lyckat var projektet i sin helhet på en skala mellan 0-10?

I diagrammet nedan visas en sammanställning av resultatet på den kvantitativa delen av frågan.



I diagrammet ovan visas fördelningen mellan antalet röster och respektive poäng. Fördelningen beställare/entreprenör är 0/100 % till entreprenörens favör. Antalet svarande på frågan är en person. Genomsnittspoängen blir på den här frågan 10. Svarsfrekvensen har varit mycket låg på den här frågan, vilket gör att endast en röst getts. De som varit inblandade i delsträckan har inte velat sätta ett helhetsbetyg ännu, utan de väntar till ett par år har gått innan de avgör helhetsbetyget för delsträckan.

Det har inte uppstått några större problem med delsträckan enligt intervjupersonerna. Från entreprenören ges positiv feedback. En av intervjupersonerna menar på att det är för tidigt att betygsätta hur lyckat projektet blev och att det krävs mer kunskap kring nedbrytning och förändring över tid. Det är viktigt att utvecklingen följs av alla inblandade.

5.3.7 Jämförelse mellan de olika konstruktionerna

I det här avsnittet diskuteras skillnader och likheter mellan de olika konstruktionerna som bygger på de tankar och åsikter som intervjupersonerna nämnt i samband med *fråga 11* under intervjuerna. Konstruktionerna ser ut enligt följande:

Hurva-Rolsberga	Rolsberga-Fogdarp	Hörby N-Linderöd	Motala-Mjölby
Slitlager 35 mm	Slitlager 36 mm	Slitlager 35 mm	Slitlager 25 mm
Bindlager 65 mm	Bindlager 55 mm	Bindlager 65 mm	Bindlager 45 mm
Stabilisering krossat material 200 mm	Bundet bärlager 90 mm	Stabiliserat krossmaterial 200 mm	Bundet bärlager 50 mm
	Obundet bärlager 120 mm		Obundet bärlager 100 mm
Stabiliserad terrass 400 mm	Stabiliserad terrass 350 mm	Stabiliserad terrass 400 mm	Förstärkningslager 270 mm
			Stabiliserad terrass 400 mm

Figur 78 - Konstruktionerna i skalenligt förhållande.

5.3.7.1 Fråga 11

- Jämför de olika vägkonstruktionerna och visa på för- och nackdelar.

Hurva – Rolsberga etappen får en del anmärkningar när det kommer till tjockleken på det stabiliserade lagret då flera av intervjupersonerna menar på att det är svårt att få ett så pass tjockt lager homogent. En annan synpunkt på den typen av konstruktion, med två stabiliserade lager ovanpå varandra, är att vidfästning kan försämrats. Ett par av intervjupersonerna har även påpekat att den oerhört styva konstruktionen får svårt att ta upp rörelser då den inte innehåller något obundet lager. Ett par röster är också en aning oroliga kring hur konstruktionen reagerar om vatten lyckas att ta sig in i konstruktionen. Några menar även på att det är svårare att få en jämn väg när stabiliseringen sker hela vägen upp till asfialtlaget. En intervjuperson hade önskat att man vänt på de två stabiliserade lagren och haft det mindre lagret längst ner och det tjockare lagret högst upp. I övrigt anser intervjupersonerna att konstruktionen är oerhört styv och att det är den mest extrema konstruktionen av de olika alternativen, det är här som man gått längst. Ett par av intervjupersonerna hade gärna sett ett utförande av mikro-cracking på den här delsträckan, för att minimera risken för reflektionssprickor i konstruktionen.

Rolsberga – Fogdarp har en annan form av konstruktion, där den stora skillnaden mot delsträckorna Hurva – Rolsberga och Hörby N – Linderöd är det obundna lagret mellan stabiliseringen och asfalten. En röst från intervjuerna säger att det finns bekymmer när ett obundet lager ska packas ovanpå en stabilisering. Intervjupersonerna är eniga i frågan kring vidhäftningsförmågan mellan asfalt och underliggande lager. Här är det en positiv ton gällande det obundna lagret som anses vara lättare att vidhäfta asfalten och sedan få en jämn vägyta. En intervjuperson påpekar att terrassmaterialet på delsträckan skulle ha haft större krav på sig och att problemen som fanns på sträckan hade kunnat minimeras. Det obundna lagret i konstruktionen är bra när det kommer till att ta upp rörelse, enligt intervjupersonerna. Den konstruktionen som använts på den här delsträckan får ofta epitetet ”den mest säkra vägen”, där intervjupersonerna syftar på att konstruktionen har minst risk för att utsättas för problem.

Hörby Norra – Linderöd har samma konstruktion som etappen Hurva – Rolsberga och därav har kommentarerna kring själva konstruktionen varit samma som för delsträckan Hurva – Rolsberga. Därför tas det upp mer platsspecifika tankar i det här avsnittet. Ett par av intervjupersonerna har påpekat att asfalteringen av delsträckan skedde för långt in i vinterperioden och att det kan ha varit en av orsakerna till att asfalteringen inte gick bra. Asfialtläggaren gled runt och det var svårt att få till en jämn yta. Intervjupersonerna har även varit något oroliga kring dräneringen på delsträckan och framför allt runt Ekerödsrasten. Mycket vatten i vägkanterna som kan bli ett bekymmer i framtiden.

Motala – Mjölby har det tredje alternativet av konstruktion, där det obundna lagret är något större och även innefattar ett förstärkningslager. Konstruktionen ger ett säkert intryck enligt intervjupersonerna, framför allt då den påminner om en traditionell GBÖ där terrasegenskaperna förbättras. Terrasstabiliseringens mäktighet är för stor enligt ett par av intervjupersonerna. Istället hade de önskat ett mindre lager på ungefär 350 mm för att kunna packa stabiliseringen på bästa möjliga sätt. Dräneringen på sträckan verkar vara väldimensionerad anser två av intervjupersonerna. En gemensam tanke från de flesta av

intervjupersonerna är att den här konstruktionen anses vara den dyraste av alla konstruktioner, framför allt då den trots ett stabiliserat lager har en näst intill full överbyggnad ovanpå.

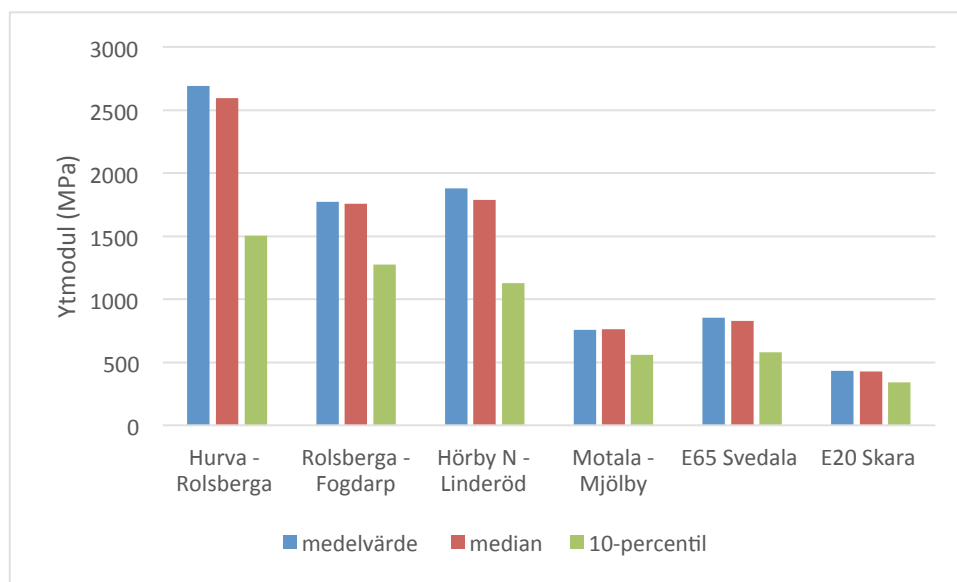
6 Diskussion och slutsats

Nedan diskuteras resultatet av fallstudien samt intervjustudien som sedan följs upp i *avsnitt 6.3 Slutsatser*.

6.1 Diskussion om fallstudie

I rapporten har en stor del byggts på arbetet med fallstudien där de olika vägsträckorna analyserats och undersökts. Syftet har varit att utreda vägsträckorna och visa på stabiliseringars för- och nackdelar. Bärighetsutredningen har gett intressanta resultat och analyserna visar på goda framtida möjligheter när det kommer till hållfasthet. Även vägytemätningarna styrker detta då resultaten där visar på ytterst små förändringar gällande nedbrytning.

Fallviktsstudierna har gett höga värden på ytmodulerna, som kan ses i figur 79 nedan, vilket är direkt kopplat till deflektionerna. Ytmodulerna visar på extremt starka vägar i förhållande till en traditionell väg i ungefär samma storlek gällande mängden trafik. En traditionell GBÖ ligger mellan 400-600 MPa i ytmodul, medan de stabiliserade vägarna ligger en bra bit över 1000 MPa. Enda undantaget är Motala – Mjölby som liknar en traditionell GBÖ-konstruktion. Detta kan antas bero på att stabiliseringen ligger långt ner i konstruktionen och inte bidrar lika mycket som för de andra vägarna. Detta har också beskrivits tidigare i *avsnitt 3.11.3*.



Figur 79 - Jämförelse mellan ytmoduler.

Intressant ur figur 79 är skillnaden mellan medelvärde och 10-percentil för de olika vägarna. Den största avvikelserna finns i sträckan Hurva – Rolsberga. Även Hörby N – Linderöd har en procentuellt stor skillnad mellan medelvärde och 10-percentil. Motala – Mjölby och Rolsberga – Fogdarp har en mindre procentuell skillnad och är mer lik traditionella GBÖ-konstruktioner. Felkällor till att Motala – Mjölby kan vara något

avvikande, kan vara på grund av problem vid mätning och att denna utförts i minusgrader. Vägen har dessutom många olika konstruktioner vilket gjort att en typkonstruktion valts vid den djupare analysen av sträckan. En annan intressant detalj ur figur 40, *avsnitt 5.1.1*, om ytmodulen på Hurva – Rolsberga är den stora skillnaden på medelvärde före och efter 69300 (löpmeter). Skillnaden där är upp emot 1000 MPa i medelvärde. Vad det kan bero på vet vi inte men det är anmärkningsvärt och en möjlighet skulle kunna vara bank respektive skärning.

Bärförmågeindex och bärighetsklass är också något som analyserats i rapporten. Generellt sett har alla vägar och mätpunkter som analyserats uppfyllt de krav som ställs för att nå högsta möjliga bärighetsklass. De tre skånska etapperna är mest extrema och även här är Motala – Mjölby den delsträcka som avviker något. BK 1 uppfylls på alla delsträckor om man utgår från bärförmågeindexets medelvärde, se tabell 8. Detta visar på att samtliga vägar är bra ur bärighetssynpunkt.

Beräkningarna av förhållandet N_{till} och N_{ekv} i fallstudien har byggts på en jämförelse mellan tillåtet antal standardaxlar och det faktiska antal standardaxlar som vägarna utsätts för. Förhållandet ger ett värde som går att jämföra mellan de olika konstruktionerna. Metoden bygger på uppskattad dragtöjning i underkant asfalt som kan beräknas med hjälp av deflektionsmätningarna. Varje delsträcka är ett unikt fall då mängden trafik och hur pass styv konstruktionen är varierar, detta tar metoden hänsyn till. Anledningen till att de två helstabiliserade sträckorna får bra värden är på grund av de extremt styva konstruktionerna och på grund av frånvaron obundet material nära vägytan.

Bakåtkalkyleringen har gjorts med hjälp av programmet PVD. Programmet är inte anpassat för stabiliserade konstruktioner och programmet har oftast det styvaste lagret i toppen, vilket inte är fallet med de stabiliserade vägarna. Dessutom kan endast konstruktioner med fyra lager beräknas. För bättre resultat hade ett program med fler beräknade lager varit att önska. Resultatet av bakkalkyleringarna visar på höga E-moduler för de stabiliserade lagren men de skiljer sig något i storlek mellan varandra. Hurva – Rolsberga och Hörby N – Linderöd som har samma konstruktionsmodell har väldigt olika E-moduler på lagren. Vad det kan bero på är oklart, men en obekräftad misstanke är att delsträcka Hörby N - Linderöd blivit behandlad med mikro-cracking, vilket kan ha sänkt hållfastheten på de stabiliserade lagren på den delsträckan. Detta har uppmärksammats i samband med intervjuerna. Vid arbetets inledning utnyttjades kontakten *Olle Tholén* på KUAB för att få en bra anpassning i PVD. Den sträcka som Olle passerat för är Hurva – Rolsberga. Vi uppfattar det som att detta kan vara en anledning till att Rolsberga – Fogdarp samt Motala – Mjölby fått högre RMS-värde. I samband med beräkningarna i PVD har en känslighetsanalys utförts. De osäkra parametrarna har testats för att visa på hur stor skillnad det blir i resultatet som ges. Denna känslighetsanalys redovisas i Bilaga A.

Om en jämförelse mellan de terrasstabiliserade lagren görs, är delsträcka Hurva – Rolsberga den sträckan med störst E-modul på det stabiliserade lagret. Tätt efter följer Rolsberga – Fogdarp. Spridningen mellan medelvärde och 10-percentil för terrasstabiliseringen är stor för alla delsträckor. Störst 10-percentil har Rolsberga – Fogdarp, vilket kan tyda på att den delsträckan har högst lägstanivå. Ett försök till att förklara detta är den högre mängden cement i terrasstabilisering, utan att känna till mängden cement i stabiliseringen på sträckan Motala – Mjölby. Detta syftar alltså inte på

den ovanliggande stabiliseringen som två av sträckorna har. En annan intressant detalj med Motala – Mjölby är det låga medelvärde för de sammanslagna obundna materialen. En styvhet på endast 120 MPa får anses vara orimligt med tanke på de standardvärden Trafikverket presenterar i TRVK väg. Resultatet för endast ett lager i sig säger inte hela sanningen, utan skillnaderna kan bero på genomförandet samt vad man velat uppnå, vilket vi inte kunnat ta del av. Entreprenörerna har tillgång till tester utifrån laboratorieförsök, medan vi endast kunnat använda fallviktsdata på färdig väg och sedan räknat bakåt för att få fram styvheter.

I analysen har en del av den data som använts utgått ifrån jordartskartor hämtade på SGU. Där kan det nämnas att en delsträcka har samma jordart längs hela sträckan, nämligen Hurva – Rolsberga. Givetvis kan lokala variationer förekomma men som helhet är det delsträckan med minst förändring i terrassen vilket också underlättar dimensionering och hantering av avvikelser. Det kan jämföras med Motala – Mjölby som har en mosaik av olika jordarter. Om detta har en stor betydelse för resultatet är oklart men det har genererat mer arbete vid dimensionering och utförande. Terrassens styvhet är viktig för hela vägens bärlighet och vid packning av stabiliseringen. Exempelvis har Hurva – Rolsberga högst E-modul på terrassen, vilket kan bero på att terrassen ”stulit” styvhet från ovanliggande lager i PVD, medan entreprenören på Rolsberga – Fogdarp etappen delvis fick kalkstabilisera terrassen då den ansågs vara undermålig. Resultatet visar på att terrassen i Motala – Mjölby har låga E-moduler vilket kan bero på att passningen i PVD varit undermålig för den sträckan. Hörby N- Linderöd är i princip uppdelad i två delar beroende på jordart, sandig morän och isälvsavlagringar, med vissa delar som utskiftats på grund av torv. Där har delen med sandig morän något högre styvhetsmodul.

Bakkalkylering har oändligt många möjligheter för att passa ett resultat vilket är en felkälla i sig. För att på ett bättre och mer sanningstroligt sätt få fram styvheter på de ingående lagren hade laboratorieförsök varit att önska. Fallviktsberäkningarna ger rätt deflektioner i provpunkten, men mindre exakta värden för deflektioner längre ner i konstruktionen. Programmet som använts vid bakkalkylering är inte exakt, vilket kan visas genom att programmet underskattar de obundna lagrens E-moduler.

Vägytemätningarna pekar på att de stabiliserade vägarna står sig mycket bra i förhållande till ”vanliga vägar”. Stabiliserade vägar är bättre när det kommer till utvecklingen av spårdjup och likvärdig gällande IRI. Initialt står sig de stabiliserade vägarna ganska likt en traditionell GBÖ, undantaget Rolsberga – Fogdarp som har ett mycket lågt värde på IRI. Hurva – Rolsberga och Hörby N – Linderöd, som har samma konstruktion, har en mycket lik utveckling. Förändringshastigheten är extremt långsam för dessa sträckor. Detta är intressant med tanke på de stora skillnaderna på styvhetsmodulerna i de stabiliserade lagren. Rolsberga – Fogdarp har något högre IRI-utveckling vilket kan förklaras av bristen i antalet mätningar samt att det är den enda delsträckan som har samma beläggning sedan färdigställandet. Övriga vägar har bitar som på något sätt gjorts om, exempelvis slitlager. Att vissa av vägarna fått göras om i någon utsträckning, behöver inte vara på grund av stabiliseringen. För mer information, se figur 68-71. Att utvecklingen av spårdjup skiljer sig mellan referensvägarna kan bero på att den ena vägen är nybyggd, E65, medan den andra är en gammal väg med ny topp, E20.

Alla vägarna har få antal mätningar vilket är en brist hos undersökningen. Det gör att prognoserna är något osäkra. Det är möjligt att de vägarna med obundet material i konstruktionen kommer efter packning från trafiken avta något i förändringshastighet. Spårdjup höger bedöms vara mindre intressant på grund av att det finns brister i mätningarna som framkommit då mätbilen inte alltid får med hela höger hjulspår. Bättre mätningar fås i vänster hjulspår. Detta bekräftas i tendensen för Motala – Mjölby där spårdjupets utveckling blir negativ, vilket anses vara omöjligt. Det som kan förbättras med prognosberäkningarna är fler mätningar, vilket kräver tid. Om ett par år kan en mer rättvis bild av spårdjups- och IRI-utvecklingen ges. På de sträckor där det gjorts lite fler mätningar visar utvecklingen på mycket bra prognoser. Motala – Mjölby liknar en traditionell väg med avseende på utvecklingen.

6.2 Diskussion om intervjuerna

I intervjustudien har en blandning mellan en kvantitativ och en kvalitativ del gjorts. Detta har ökat förståelsen för stabiliseringar i allmänhet men också bidragit till att visa på skillnader mellan de olika vägsträckorna. Intervjuerna har varit en viktig del gällande erfarenheter och arbete med stabilisering.

Svaren på intervjufrågorna har bidragit till att stärka den uppfattning som fåtts kring resultatet av fallstudien. Även många av de tillvägagångssätt som studerats i litteraturstudien har bekräftats under intervjuerna. Vägarna som är stabiliserade är extremt starka och är enligt alla som intervjuats en viktig del inom vägteknikens utveckling. Erfarenheter kring var det har gått snett i produktion och hur problemen löstes är erfarenheter som är viktiga för framtida stabiliseringsarbeten.

Intervjupersonerna har haft en roll i byggnationerna på ena eller andra sidan, beställare eller entreprenör (undantag för två externa specialister), vilket i viss mån kan medföra nyanserade svar. Vi har dock uppfattningen att de flesta svarat sakligt, objektivt och uttömmande men intervjupersonernas bakgrund och inblandning finns med i bakhuvudet i analysen. Ämnet har i vissa fall varit en känslig fråga då det förekommit tvister mellan parterna på vissa av sträckorna. När det kommer till fördelar och nackdelar med stabilisering överensstämmer i princip alla av intervjupersonernas svar med de som ges i litteraturstudien.

Trafikverkets mål med totalentreprenader är att bli mer av en renodlad beställare och utveckla branschen (Andersson U. , 2012). Detta har dem lyckats med på så sätt att nya vägkonstruktioner kommit till med hjälp av stabiliseringar. Angående dimensioneringsprinciperna finns det både för- och nackdelar med att det inte existerar någon allmän sådan. Detta då det gett större frihetsgrader och vissa av vägkonstruktionerna som finns idag hade kanske inte uppkommit annars.

Den allmänna inställningen är något av en paradox. De flesta är överens om att de stabiliserade vägarna har längre livslängd än de konventionella GBÖ vägarna men samtidigt är en stor osäkerhet beständigheten av de stabiliserade lagren. Utifrån detta anser vi att om vägarna har en längre livslängd skulle dessa gynnas av att kostnaden granskades

under hela livslängden och inte bara vid investeringen. En sådan granskning kan utföras ur både ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv. Det är viktigt att även titta på det miljömässiga då Trafikverket även har som mål att skapa ett långsiktigt hållbart transportsystem (Trafikverket, 2016). En livscykelanalys har också rekommenderats i *Nilsson och Hallbergs (2012)* examensarbete. För att genomföra den rekommendation som de förespråkar krävs också en utredning för att undersöka de stabiliserade lagrens beständighet över tid. Hur lång tid tar det innan stabiliseringarna är helt uppsluckna?

Många av de svårigheter som intervjupersonerna nämner angående produktionen är sådana problem som vi antar tillhöra "läroperioden" t.ex. logistikproblem kopplade till cementens öppettider och problem med att få asfalten att fästa direkt på stabiliseringen. Många av dessa problem har man löst efterhand och tagit lärdom från. Däremot tycks de flesta vara överens om att kontrollen över produktionen är mer omfattande och innefattar även, för vägbyggare, en del nya moment så som provning med seismik. Att den är mer omfattande kan enligt intervjuobjekten bero på att Trafikverket har varit duktiga på att ställa krav i upphandlingen kombinerat med att det är en obeprövad metod i Sverige de senaste åren.

Drift- och underhållsbehovet bedöms vara samma eller mindre än för en GBÖ-väg på så vis att de stabiliserade vägnas större styvhet minskar spårdjup-/IRI-utvecklingen. Men för att bibehålla den låga nedbrytningen av vägen ökar kontrollen och underhållet av dräneringen som bedöms vara en risk för ökad nedbrytning. Enligt intervjupersonerna kommer en stabilisering som är dålig och måste åtgärdas under dess livslängd att resultera i stora och omfattande ingrepp. Av detta framgår det hur viktigt det är, både för beställare och entreprenör, att det är en välkontrollerad och väl genomförd produkt som överlämnas. Kostnaderna för både entreprenörer och samhället vid en stor oplanerad ombyggnad skulle bli omfattande. Det finns en risk att stora delar av vinsten för ett vägprojekt går förlorade om man skulle bli tvungen att omarbete vägen.

6.2.1 Hurva – Rolsberga

Att kontrollerna är mycket omfattande och noggranna är något som ofta framkommer men först efter att experter kallats in från Tyskland/Österrike. Denna sträcka kom något efter Hörby N – Linderöd rent tidsmässigt, vilket gav dem en möjlighet att tillgå erfarenheter från det vägbygget då båda utfördes av samma företag. Beställaren är väldigt nöjd med resultatet av denna vägsträcka och man tror också att vägen är något överdimensionerad. Det skulle i sådana fall kunna resultera i att om konstruktionen kommer att användas igen så kommer den att "slimmas", dvs. optimeras närmre den garantitid som gäller. Detta är dock inte något som enbart gäller Hurva -Rolsberga utan även Rolsberga – Fogdarp och även Hörby N – Linderöd då det är samma konstruktion.

Något som inte anses vara helt säkert är det faktum att mitträckena har slagits in i stabiliseringen då denna går sammanhängande i med- och motriktning. Även om de har tätats är det en risk att vatten kan ta sig in där.

Tjockleken på stabiliseringarna som utförts på samtliga sträckor förutom Rolsberga – Fogdarp är 400 mm och samtliga av dessa är utförda av samma underentreprenör. Det

finns åsikter om att det är för djupt och att en stabilisering helst inte ska vara mer än 350 mm för att uppnå en hög homogenitet i hela det stabiliserade lagret (Franzén et al., 2012).

Detta är en extrem konstruktion men där man verkligen använder sig av fördelarna med stabilisering, har dem högt upp nära ytan och får därför en oerhört styv väg.

6.2.2 Rolsberga – Fogdarp

En stor del av efterkontrollen har utförts med seismik och har varit en betydande del av densamma. Detta har gjort att beställare har känt sig nöjda med uppföljningen av projektet. Det kan bero på att det är relativt enkelt att följa P-vågens hastighet mot vilken tryckhållfasthet stabiliseringen har (Rydén et al., 2006). Seismik har använts på andra sträckor också men här har en utvecklad metodik för återkoppling resulterat i en nöjdare kund. Detta är intressant då denna nygamla metod på så sätt kan illustreras enkelt och förståeligt.

Att använda sig av ett obundet lager ovanpå en stabilisering kan ha stora fördelar. Lagret behöver inte vara särskilt tjockt men tar upp ojämnheter från stabiliseringen och rörelser som kan komma att ske under dess livslängd. Dessutom blir asfaltläggningen mer lik den situation som råder när man anlägger asfalt på en GBÖ och därigenom slipper man extra emulsioner etc. för att skapa fästyta mot stabiliseringen. Majoriteten av intervjupersonerna, inklusive de som inte varit en del av entreprenaden, har framhävt detta som positivt och skulle även beaktat detta vid en nybyggnation. Ett problem med att lägga ett tunt obundet material mot stabiliseringen är vid packningen och att den efter packning riskerar att luckras upp när man fortsätter packningsarbetet med vibrerande vält. Det tycks dock ha löst sig då man provat sig fram med olika vältar.

Kritik mot bristande geoteknisk rapport i upphandlingsstadiet har framkommit, detta gäller även för andra sträckor. En mer utförlig rapport hade gett mindre frågetecken och man hade kunnat räkna fram om en GBÖ eller en stabiliserad överbyggnad är mest fördelaktigt ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv.

6.2.3 Hörby Norra – Linderöd

Många likheter finns så klart med Hurva – Rolsberga då det är samma konstruktion och samma entreprenör men även platsspecifika skillnader råder. Från Ekerödsrasten och norrut blir terrängen kulligare och en stor del av vägen ligger i skärning. Det resulterar i ett högt grundvattentryck ner mot vägen och en risk att dräneringen inte klarar av sin uppgift.

I samband med första vintern efter stabiliseringen inträffade något som ingen riktigt har kunnat förklara än. Det handlar om att det var en kall vinter som resulterade i en ojämn väg men också att vägen höjdes upp emot 10 cm intill en bro. Detta skulle kunna undvikas om man gjort som på sträckan mellan Rolsberga - Fogdarp och övergått till en konventionell GBÖ-väg strax innan broarna. Det gör att man slipper den stora industrin av maskiner när man kommer in nära en bro med mindre utrymme. Att använda sig av vägkonstruktioner där de är bäst lämpade för sin uppgift kommer också göra helheten bättre.

Intervjuobjekten har också tagit upp att vägen har varit något ojämn och som skulle kunna bero på att man lagt asfalt direkt på stabiliseringen vars ojämnheter då kan slå igenom. Själva asfaltläggningen var inte problemfri då man stötte på flera problem bland annat med fäste mot stabiliseringen och att man tryckte asfalten framför sig. Underentreprenören i det här fallet fick också byta asfalt mellan Hörby N – Linderöd och Hurva - Rolsberga. Här skulle ett tunt lager av obundet bärlager eller liknande kunna underlätta båda dessa problem samtidigt som man tar till sig fördelarna med stabiliseringens bärighet.

Stabilisering och asfaltering har utförts delvis under årets kalla månader. Stabilisering är väder-/klimatkänslig vid utförandet (Franzén et al., 2012) och att man i detta projekt har utmanat gränserna kan ha varit det som gett förutsättningarna för de extravaganta omständigheterna under första vintern. Enligt Franzén et al. är det rekommenderat att stabiliseringen härdras i 90 dagar innan den påfrestas med en frysning för första gången. Det kan anses vara en svaghet hos stabiliseringar då säsongen för stabiliseringsarbeten blir mer tidsbegränsad än för en traditionell GBÖ-konstruktion. Det skulle dock kunna lösas med andra bindemedel.

6.2.4 Motala – Mjölby

Denna sträcka avviker något i jämförelse med de andra då de obundna lagren som ligger ovanför stabiliseringen nästan utgörs av en traditionell GBÖ. Något smalare konstruktionstjocklek men det är enligt intervjuobjekten ett måste då Trafikverkets tjälkrav beaktades. Detta medför att stabiliseringen bidrar mindre än vad den har gjort för de andra konstruktionerna.

Denna konstruktion är enligt intervjuobjekten den som uppfattas som säkrast. Det kan bero på att med en full överbyggnad ovanpå stabiliseringen ger möjlighet att den kan spricka upp fullt innan det blir genomslagseffekt. Det är på grund av att konstruktionen är som en fullgod GBÖ-konstruktion med en förbättrad terrass då intervjupersonerna anser då att de vet vad de får.

Denna sträcka har varit svår att få grepp om bland annat på grund av det geografiska läget som inneburit att vi dessvärre inte kunnat samtala med intervjupersonerna genom en fysisk intervju. Tyvärr har vi inte heller fått tag på tillräckligt många intervjupersoner vilket gett en något mindre kunskapsbredd kring det här projektet.

6.3 Slutsatser

Vägar med stabilisering har i den här studien visat på extremt bra resultat gällande deformation och bärighet. I förhållande till en traditionell GBÖ-konstruktion är stabiliserade vägar starka och visar på mycket långsam spårdjupsutveckling (läs 4-5 gånger större ytmodul och i bästa fall 1/7 av utvecklingshastigheten gällande spårdjup). IRI-utvecklingen är mer lik den för en traditionell GBÖ-konstruktion. Var i konstruktionen stabiliseringen ligger och dess tjocklek är då av betydelse. De två etapperna Hurva – Rolsberga och Hörby N – Linderöd som har de två tjockaste stabiliseringarna samt de konstruktioner där stabiliseringen är närmast vägytan, visar också på den långsammaste utvecklingen av IRI och spårdjup.

Obundna lager förekommer i några av etapperna vilket har visat på liknande resultat angående IRI vid trafiköppning. I etappen Rolsberga – Fogdarp har ett obundet bärlager lagts mellan stabilisering och asfalt för att kunna ta upp rörelse och för att asfalten ska kunna bli så jämn som möjligt. Denna har också överlägset bäst IRI-värde vid trafiköppning. Motala – Mjölby är i det avseendet också bra i förhållande till de helstabiliserade vägarna och referensobjekten. Ett obundet lager i toppen ökar möjligheterna för att få en jämn väg och ur intervjuerna kan man också dra slutsatsen att asfaltutläggningen blir betydligt enklare.

E-modulerna för de stabiliserade lagren är mycket höga vilket har visats i PVD-beräkningarna. Trots att programmet har sina brister, se *avsnitt 6.1*, har sannolika värden framtagits för de olika lagren. Dessa visas i tabell 24 nedan. Förstärknings- och bärlager kan i en traditionell GBÖ aldrig uppnå liknande styvhetsmoduler. Värden på förstärkningslager är 450 MPa enligt TRVK väg (Trafikverket, 2011).

Tabell 24 - De stabiliserade lagrens E-moduler.

Sträcka	Hurva – Rolsberga	Rolsberga – Fogdarp	Hörby N – Linderöd	Motala – Mjölby
Överbyggnadsstabilisering (MPa)	8530	-	4617	-
Terrasstabilisering (MPa)	6748	5297	1927	1452

Det ska beaktas att förutsättningarna för vägarna varit olika. De skånska vägarna har haft relativt homogena korridorer gällande jordarter, medan Motala – Mjölby haft en mosaikliknande jordartssituation. Detta kan ha haft betydelse för framgången med stabiliseringen då receptframtagningen förmodligen varit svårare på grund av den stora variationen. Konkurrenssituationen inom totalentreprenader leder till nya metoder där billigare konstruktioner, avseende investering och drift, är att önska för både beställare och entreprenörer. Ett önskemål där är bättre och mer omfattande geotekniska förundersökningar i inledningsskedet då synen på dessa förundersökningar varit något negativ i intervjustudien. Med bättre undersökningar i tidigt skede kan många av de problem som uppstod i de analyserade objekten minimeras i kommande nybyggnationer.

Dessutom kan pengar sparas och metoden blir konkurrenskraftig i den mån att entreprenörerna enklare kan välja billigast och miljövänligast metod. Med avseende på miljön menas hur exempelvis vald metod skiljer sig gällande koldioxidutsläpp.

Svagheterna med metoden är osäkerhet med nedbrytningshastighet av stabiliseringen. Hur mycket olika faktorer påverkar så som inträngande vatten och frys/tö. Vatten har varit ett återkommande samtalsämne i intervjustudien och det är något som inte ska förekomma i konstruktionen.

Stabilisering är ett bra komplement till traditionella GBÖ-konstruktioner när omständigheterna tillåter det. Dessutom uppnås fullgoda vägkonstruktioner som får en lång förväntad livslängd. Möjligheten för framtida projekt med stabilisering i Sverige anses därför vara stor. I projekt där bristen på krossmaterial råder anser vi att stabilisering ska beaktas. Om vägarna håller längre finns en samhällsvinst att hämta då man slipper stänga körfält eller vägar för drift, underhåll och ombyggnader. Ett pålitligt och driftsäkert vägnät skapas.

Då de flesta anser att den stabiliserade vägen kommer att klara sig längre, kan en miljö och ekonomisk analys göras över hela vägens livslängd i form av en LCA, livscykelanalys. Precis som Nilsson & Hallberg (2012) rekommenderar vi att ur ett vidare forskningsperspektiv ska hela vägens livslängd beaktas i form av en livscykelanalys. Dessutom anser vi att nedbrytningen av stabilisering studeras vidare. Vad beror nedbrytningen av stabiliseringen på och hur lång tid tar den?

7 Referenser

- Agardh, S., & Parhamifar, E. (2014). *Vägbyggnad* (1 uppl.). Lund, Sverige: Liber AB.
- Andersson, L. (1960). *Clay Chemistry in Soil Stabilisation*. Society for clay research.
- Andersson, U. (den 21 02 2012). *Entreprenad*. Hämtat från Entreprenad: http://www.entreprenad.com/article/view/390866/trafikverket_satsar_pa_totalentreprenader#den18042017
- Anon. (1999). *Unbound and hydraulically bound mixtures - part 42. test method for the determination of the indirect tensile strength of hydraulically bound mixtures*. Brussels: CEN.
- Assarsson, K. (1968). Stabilisering av kohesionsnära jordarter med kalk. *Norsk veftidsskrift nr2.*, 2-16.
- Babasaki et al. (1996). Factors influencing the strength of improved soil. *Conference on ground improvement geosystems - IS Tokyo'96*. 2, ss. 913-918. Tokyo: JGS TC Report.
- Brittish lime association. (2011). *Lime stabilisation of cohesive soils for capping layers using quicklime*. Brittish lime association.
- Dolk, E. (2016). *Byggnads- och underhållsmetoder för CBÖ-vägar*. Linköping : VTI.
- Franzén et al. (2012). *Terrasstabilisering*. Linköping: VTI.
- Höbeda, P. (1985). *Stabilisering av vägars bärlager med cement. En inventering av erfarenheter i Sverige*. Linköping : VTI.
- Kitazume, M., & Terashi, M. (2002). *The deep mixing method - Principle, design and construction*. Coastal development institute of technology. Tokyo: A.A. Balkema Publishers.
- KUAB . (2014). *KUAB PVD, Road data presentation, FWD data analysis*. Rättvik: KUAB.
- Kujala, K. (1984). Faktorer som inverkar på djupstabiliserade jordars mekaniska egenskaper. *IX Nordiskt Geoteknikermöte*, 2, ss. 895-902. Linköping.
- Kvale, S. (2009). *Den kvalitativa forskningsintervjun* (3:3 uppl.). Lund: Studentlitteratur Lund AB.
- Lindh. (2004). *Compaction- and strength properties of fine grained tills*. Lunds Tekniska Högskola, Division of soil mechanics and foundation engineering. Lund: Lunds University.
- Lindh, P. (2000). *Soil stabilisation of fine-grained till soils - The effect of lime and hydraulic binders on strength and compaction properties*. Department of Geotechnology. Lund: Lund University.
- Little, D. (1995). *Handbook for stabilization of pavement subgrades & base course with lime*. Kendal/Hunt publishing company.
- Little, D., & Nair, S. (2009). *Recommended practice for stabilization of subgrade soils and base materials*. Transportation Research board. National cooperative Highway Research Program.

-
- Nilsson, C., & Hallberg, M. (2012). *Anläggning av väg med stabiliserade lager*. Teknik och samhälle, Trafik och väg. Lund : Lunds Tekniska Högskola .
- Ramböll. (2014). *Jämmt hela vägen*. Borlänge: Ramböll Sverige AB.
- Rogbeck et al. (2008). *Kalkrik aska som bindemedel i markstabilisering*. Linköping: Statens geotekniska institut.
- Rydberg, T., & Andersson, R. (2003). *Miljöeffektbedömning (LCA) för markstabilisering*. Svensk djupstabilisering. Linköping: Statens geotekniska institut.
- Rydén et al. (2006). Quality control of cement stabilised soil using non-destructive seismic tests. *Advanced testing of fresh cementitious materials*. . Stuttgart: DGZfp.
- Sayers, M., & Karamihas, S. (1998). *Little book of profiling*. Michigan: University of Michigan .
- Setra. (2007). *Treatment of soils with lime and/or hydraulic binders*. Service d'Études techniques des routes et autoroutes. Setra .
- SGU. (2016). *Grus, sand och krossberg 2015*. SGU.
- Smith, J. (1996). *Construction of lime or lime plus cement stabilised cohesive soils*. London: Thomas Telford .
- Svensk standard . (2006). *Hydraulically bound mixtures - Specifications - Part 11: Soil treated by lime*. Swedish standards institute . Stockholm : SIS Förlag AB.
- Svensk Standard . (2010). *Byggkalk - Del 1: Sammansättning och fordringar*. Swedish standards institute. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Taylor, H. (1997). *Cement Chemistry*. London: Thomas Thelford.
- Trafikverket . (2011). *TRVK väg*. Borlänge : Trafikverket .
- Trafikverket . (2012). *TRVMB 114*. Borlänge : Trafikverket .
- Trafikverket . (den 18 03 2016). *Miljö och hälsa* . Hämtat från Trafikverket.se : <http://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/Miljo-och-halsa/> den 18 04 2017
- Trafikverket . (den 01 04 2017). *Trafikverkets trafikflödeskartor* . Hämtat från Trafikverket.se : <http://vtf.trafikverket.se/SeTrafikinformation#> den 01 04 2017
- Vejdirektoratet . (2010). *Utbudsforskrifter kalkstabilisering*. Vejregelrådet . Köpenhamn: Vejdirektoratet.
- Vägverket . (2005). *Kapitel G Cementbundna lager*. Vägverket .
- Åhnberg, H. (2006). *Strength of stabilised soils. A laboratory study on clays and organic soils stabilised with different types of binders*. Avdelningen för konstruktionsteknik. Lund: Lunds University.
- Åhnberg, H. (2007). *On yield stresses and influence of curing stresses on stress paths and strength measured in triaxial testing of stabilized soils*. Canadian Geotechnical Journal.

Bilagor

Bilaga A – Känslighetsanalys

Bilaga B – Jordartskartor

Bilaga C – Intervjufrågor

Bilaga A - Känslighetsanalys

I analysen av fallviktsmätningarna är det många parametrar som uppskattas och det är inte alltid som mätningarna är sanningsenliga, beroende på yttre omständigheter så som exempelvis att en mätning utförts rakt på en spricka, eller under en bro. Alla dessa parametrar kan leda till att det framtagna resultatet får en viss osäkerhet. Att bedöma denna osäkerhet kan bland annat göras genom en känslighetsanalys. Det som sker är att olika indata byts ut inom rimliga spann och skillnad i resultatet kan sedan analyseras och jämföras med de värden som antagits vara riktiga från början.

PVD

I känslighetsanalysen av PVD har valet fallit på Rolsberga – Fogdarp etappen då den anses vara jämnast samtidigt som den ligger mellan de andra skånska etapperna. Tanken är att på ett par olika indata-parametrar justera värdet procentuellt, för att sedan se hur det ändrar sig i resultatet. De olika indata-parametrarna ändras var och en för sig. Tex ändras inte värdet på k-exponenten och Poissons tal under samma försök.

Konstruktionen:

Asfaltlager (slitlager, bindlager, bundet bärlager)	181 mm
Obundet bärlager	120 mm
Terrasstabilisering	350 mm
Terrass	5 m

 = En förändring på mer än 5%

K-exponenten

Värdet på k-exponenten har tidigare varit fasta värden satta till 5,62, 4, 4 och 4. Nu ändras värdet på k-exponenten för asfaltlagret från 5,62 till både 4 och 7. Detta ger följande förutsättningar:

K-exponent	4 (-29%)			5,62	7 (+25%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	0	0	0		0	0	0
Ecorr	0	0	0		0	0	0
E2	0	0	0		0	0	0
E3	0	0	0		0	0	0
Esub	0	0	0		0	0	0
RMS	0	0	0		0	0	0
Livslängd	-30,5	0	-26,0		18,4	-100,0	12,4

Som tabellen ovan visar är det livslängden som berörs av k-exponenten. Kännedomen kring k-exponenten är i det här fallet dock mycket begränsad. För säkerhetens skull görs även en ändring av k-exponenterna för lager 2-4 här nedan.

K-exponent	2 (-50%)			4	6 (+50%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	0	0	0		0	0	0
Ecorr	0	0	0		0	0	0
E2	0	0	0		0	0	0
E3	0	0	0		0	0	0
Esub	0	0	0		0	0	0
RMS	0	0	0		0	0	0
Livslängd	-31,5	0	-23,4		0	0	0

Eseed

Värdet på Eseed kommer att ändras för de olika lagren i konstruktionen. Ursprungsvärdet ges i mitten av tabellen och de testade värdena för procentuell minskning och ökning visas på respektive sida av grundförutsättningen.

Asfaltlagret:

Eseed	5000 MPa (-50%)			10000MPa	15000 MPa (+50%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	-1,3	0,8	-1,9		1,7	4,7	-6,2
Ecorr	-1,2	-0,5	-0,4		1,8	5,4	-6,0
E2	13,1	6,0	-38,5		18,8	18,5	40,1
E3	-5,8	-0,8	-11,8		-12,2	-12,3	-13,1
Esub	14,3	14,0	3,0		-2,0	-3,0	-5,3
RMS	-2,6	0	-4,8		5,8	0	5,5
Livslängd	8,0	0	6,6		20,5	0	-3,4

E2:

Eseed	250 MPa (-50%)			500MPa	750 MPa (+50%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	-8,6	-6,3	-9,6		4,4	4,7	2,2
Ecorr	-8,5	-9,0	-6,4		4,5	4,2	4,2
E2	-34,2	-0,6	-33,2		76,2	40,8	126,9
E3	90,4	32,1	105,4		-32,6	-28,0	-37,9
Esub	-13,3	-4,3	-42,4		9,2	6,2	-1,7
RMS	17,9	0	71,8		9,6	0	7,5
Livslängd	-60,9	-100,0	-35,1		66,4	130,0	-2,8

E3:

Eseed	3000 MPa (-50%)			6000MPa	9000 MPa (+50%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	5,4	5,3	6,2		-5,9	-4,5	-5,2
Ecorr	5,4	3,4	7,7		-5,7	-6,8	-1,9
E2	104,1	67,8	144,5		-24,1	-0,6	-19,7
E3	-38,3	-27,0	-49,8		73,8	13,5	142,5
Esub	17,0	13,1	10,5		-17,8	-6,2	-59,8
RMS	8,3	0	12,4		7,1	0	15,4
Livslängd	80,8	300,0	-11,2		-39,9	-100,0	-11,4

E4:

Eseed	25 MPa (-50%)			50MPa	75 MPa (+50%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	-4,5	-2,2	3,7		0,6	2,4	-7,0
Ecorr	-4,4	-5,3	5,9		0,7	1,3	-4,4
E2	-30,0	1,4	-32,2		25,6	21,1	44,3
E3	73,8	23,3	136,9		-15,8	-9,6	-18,1
Esub	-35,9	-24,0	-71,1		17,8	16,6	15,7
RMS	16,7	0,0	39,3		-2,6	0,0	3,4
Livslängd	-47,4	-100,0	-18,7		23,0	0,0	0,7

Poissons tal

Värdet för Poissons tal brukar sättas till 0,35 som standardvärde enligt Trafikverkets normer. Dock kan Poissons tal variera, vilket gör en analys intressant. Enligt danska Vejregler, kan Poissons tal ibland vara upp emot 0,5. De skriver även att Poissons tal kan ökas om hydrauliska bindemedel används, vilket det gör i en stabilisering. Därför testas endast andra värden på terrasstabilisering och inte de övriga lagren. De övriga lagen har de standardvärden som Trafikverket förespråkar.

Poissons tal	0,20 (-43%)				0,5 (+43%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	-2,2	-0,2	-11,2		0,3	2,2	-0,3
Ecorr	-2,1	-1,9	-9,7		0,3	3,6	0,7
E2	4,7	25,8	-2,3	0,35	-11,8	0	14,3
E3	4,3	-14,5	3,4		13,9	-10,0	55,5
Esub	2,3	0,9	3,4		-8,7	-3,0	-21,9
RMS	0,6	0	-2,5		-1,3	0	-7,6
Livslängd	2,7	-70,0	-2,0		-17,5	-100,0	-4,7

Referens μ -strain

Värdet för den referensdragtöjning som finns på de olika lagren, μ -strain, ändras också för att visa på dess känslighet. Här ändras både referensdragtöjningen för asfaltlagret, men även för lager 2-4.

Lager 1

Ref μ -strain	100 (-48,7%)			195	300 (+53,8%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	0	0	0		0	0	0
Ecorr	0	0	0		0	0	0
E2	0	0	0		0	0	0
E3	0	0	0		0	0	0
Esub	0	0	0		0	0	0
RMS	0	0	0		0	0	0
Livslängd	-98,3	-100,0	-90,1		83,6	600,0	-25,5

Lager 2-4

Ref μ -strain	600 (-32,2%)			885	1200 (+35,6%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	0	0	0		0	0	0
Ecorr	0	0	0		0	0	0
E2	0	0	0		0	0	0
E3	0	0	0		0	0	0
Esub	0	0	0		0	0	0
RMS	0	0	0		0	0	0
Livslängd	-20,7	0	-19,0		0	0	0

Trafikbelastning

Då det förekommer osäkerhet i Trafikverkets trafikflödesmätningar kan trafikbelastningen på de olika sträckorna variera något jämfört med det valda värdet i beräkningarna. Siffror på 10-20% osäkerhet har uppmärksamats av Trafikverket själva. Nedan visas de procentuella förändringarna för ökad och minskad trafikbelastning.

Trafikbelas.	1000 (-16,6%)			1200	1400 (+16,6%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	0	0	0		0	0	0
Ecorr	0	0	0		0	0	0
E2	0	0	0		0	0	0
E3	0	0	0		0	0	0
Esub	0	0	0		0	0	0
RMS	0	0	0		0	0	0
Livslängd	11,7	0	4,1		-10,0	-100,0	-3,6

Nedan visas resultatets procentuella förändringar när ökningen av antalet belastningar per år (%) förändras.

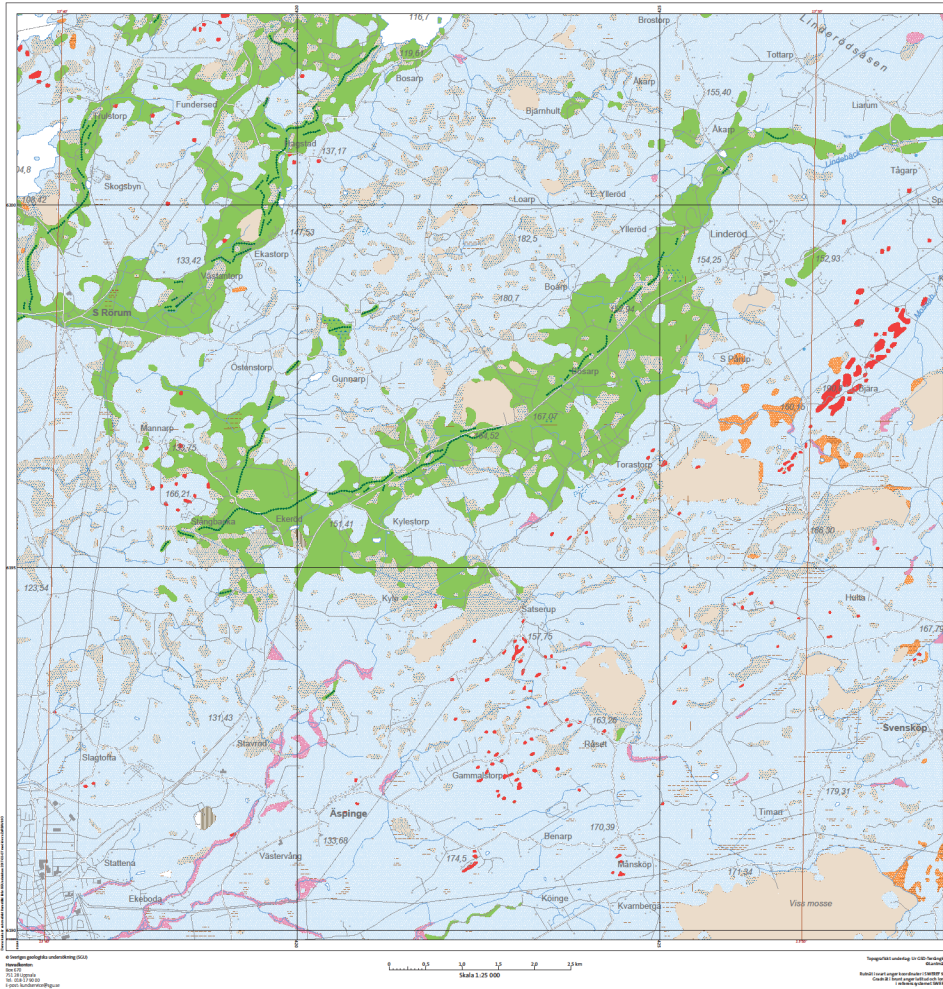
Belastningsökning	0,5 (-50%)			1,0	1,5 (+50,0%)		
	Förändring i %				Förändring i %		
	Medel	10perc.	Stdavv.		Medel	10perc.	stdavv.
E0	0	0	0		0	0	0
Ecorr	0	0	0		0	0	0
E2	0	0	0		0	0	0
E3	0	0	0		0	0	0
Esub	0	0	0		0	0	0
RMS	0	0	0		0	0	0
Livslängd	2,7	0	2,6		-3,8	0	-2,5

PMS-Objekt

Även i programmet PMS-Objekt har en känslighetsanalys gjorts för att kunna visa på tydliga skillnader i resultat då indatan förändras i olika riktningar med en viss procents förändring.

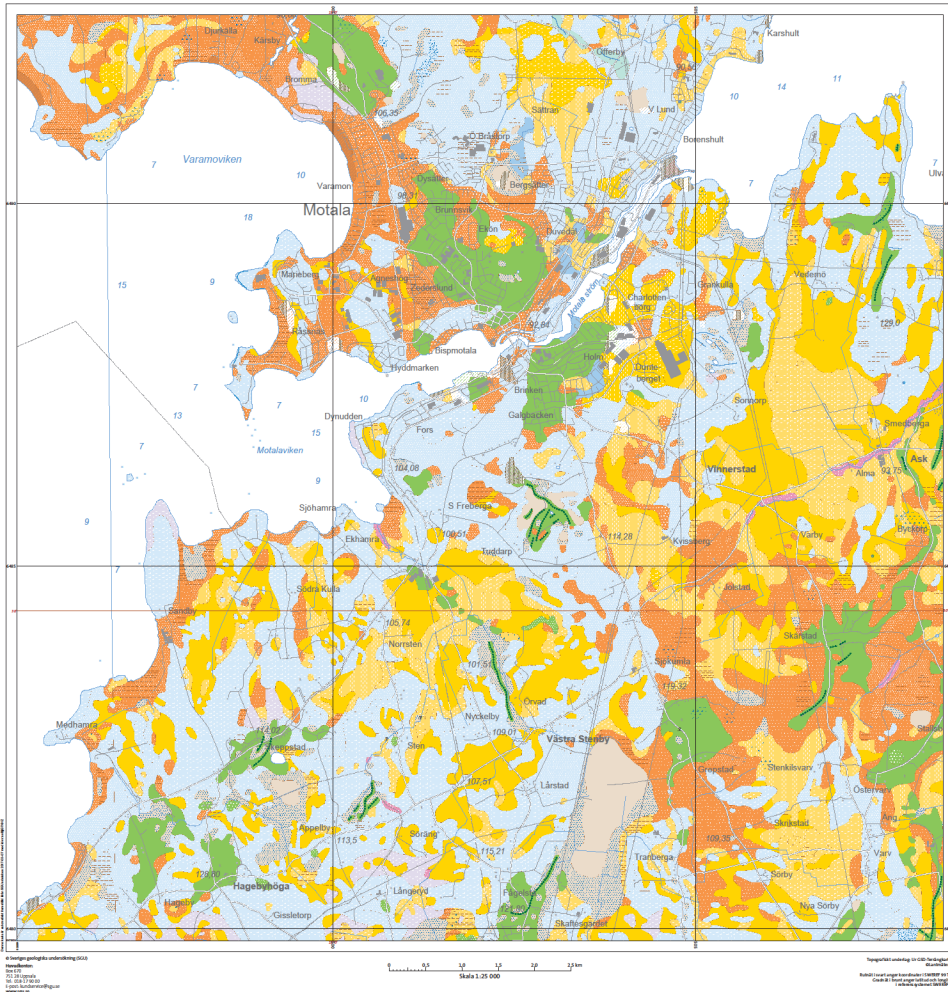
I tabellen nedan finns de förändringar som gjorts för de olika indata-parametrarna och vilken förändring det gav i resultatet.

Parameter	Förändring in	Original in	Förändring i % in	Förändring ut	Original ut	Förändring i % ut	Test (föränd/föränd)
ÅDTk	5263	6120	-14	8330670	9687193	-14	1,000
ÅDTk	6977	6120	14	11043717	9687193	14	1,000
Trafikförändring, lastbil	0,5	1	-50	9184006	9687193	-5	0,104
Trafikförändring, lastbil	1,5	1	50	10223549	9687193	6	0,111
Trafikförändring,persbil	0,5	1	-50	9687193	9687193	0	0,000
Trafikförändring,persbil	1,5	1	50	9687193	9687193	0	0,000
Andel tungafordon	10	15	-33	6458129	9687193	-33	1,000
Andel tungafordon	20	15	33	12916258	9687193	33	1,000
Stdaxlar per tungtfordon	1	1,3	-23	7451687	9687193	-23	1,000
Stdaxlar per tungtfordon	1,6	1,3	23	11922699	9687193	23	1,000
ä	0,9	1	-10	8718474	9687193	-10	1,000
ä	1,1	1	10	10655913	9687193	10	1,000
ä	0,9	1	-10	8718474	9687193	-10	1,000
ä	1,1	1	10	10655913	9687193	10	1,000
ë	0,9	1	-10	8718474	9687193	-10	1,000
ë	1,1	1	10	10655913	9687193	10	1,000



Jordartskarta 1:25 000-1:100 000 visar jordarternas utbredning i eller nära markytan samt förekomsten av tilläggsmaterial. Vissa jordarter med en tillräckligt tunn underlagsskikt och höjd till en meter mätbar i vissa fall. Även underliggande jordlager i en skivskiktning under ler, mjuklera i vissa fall. Även någon typ av jordlager i vissa fall. Även vissa jordarter som inte är klassificerade enligt jordartskartans klassificeringssystem. Jordartskartans klassificering är baserad på jordartens kemiska och fysikaliska egenskaper. Jordartskartans klassificering är baserad på jordartens kemiska och fysikaliska egenskaper. Jordartskartans klassificering är baserad på jordartens kemiska och fysikaliska egenskaper. Jordartskartans klassificering är baserad på jordartens kemiska och fysikaliska egenskaper.

- Utsträckt
- Källa på närsättning
- Moränngyp
- Vattn och stranddjupa
- Hög klassificering på annan plats än i mark
- Block & gya
- Tuff eller sammanhängande plågor av tuff
- Morast
- Klänov
- Submediment
- Submediment, ler-utt
- Submediment, sand
- Periglacial flint
- Periglacial sand
- Submediment
- Lång morän
- Lång morän
- Lång morän
- Fyllning
- Vattn



Jordartskarta
1:25 000-1:100 000

SGU
Sveriges geologiska undersökning

Jordartskarta 1:25 000-1:100 000 visar jordarternas utbredning efter data från fyra landets geologiska undersökningar. Utgåva från 2014. Kartan är utarbetad av SGU och är en del av Sveriges geologiska undersökning. Kartan är utarbetad av SGU och är en del av Sveriges geologiska undersökning. Kartan är utarbetad av SGU och är en del av Sveriges geologiska undersökning.

- Kärlf
- Järnåsk
- Källa
- Käll på kalkavlagring
- Moräregg
- Sedimentär berg
- Vatten och strandlinje
- Hög blockhalt på annan produkt än morän
- Blockyta
- Stenblockyta
- Tunn eller oömskarhängande yttager av torv
- Underliggande lager av torv
- Underliggande lager av volvediment
- Underliggande lager av ler- och silt
- Underliggande lager av porfyllad sand-grus
- Underliggande lager av kalkavlagring
- Underliggande lager av morän
- Moräret
- Kalkmorän
- Sandavlagring, ler- och silt
- Sedimentär sand
- Flögelsand
- Gyltjärns (eller kungärd)
- Prengiala finkera
- Prengiala grovare
- Prengiala lilla
- Prengiala flinad
- Prengiala sand
- Sedimentär grus
- Clastiska
- Clastisk grovare
- Clastisk lilla
- Kalkavlagring
- Kalkavlagring, sand
- Kalkavlagring, grus
- Moräret
- Savelig siltig morän
- Savelig morän
- Savelig morän
- Grusig morän
- Fyllning
- Vatten

Bilaga C – Intervjufrågor

Frågor för intervjun

1. Vilken sträcka har du varit delaktig i, Hörby N – Linderöd, Hurva – Rollsberga, Rollsberga – Fogdarp eller Motala - Mjölby?
2. Vilken var din roll i byggnationen av sträckan X-Y?
– Vad var dina huvudsakliga uppgifter under den tiden?
3. Generellt vad uppfattar du vara de största fördelarna respektive nackdelarna med stabilisering.
– Varför?
4. *Hur fungerar dimensioneringen på en skala mellan 0 10?*
– Dimensionerades vägen i DK2 eller DK3?
– Hur kan dimensioneringen av stabilisering förbättras?
5. *Hur är de produktionstekniska svårigheterna med ett stabiliserat vägbygge respektive ett traditionellt vägbygge mellan 0 10?*
– Var ligger svårigheterna och vilka är riskerna vid stabilisering?
6. *Hur fungerade uppföljningen i produktionen (produktionskontrollen) på en skala mellan 0 10?*
7. *Hur komplicerad är produktionskontrollen vid stabilisering i relation till ett vanligt vägbygge på en skala mellan 0 10?*
– Vilken del av uppföljningen är mest komplicerad, krävs särskild utbildning för att utföra den?
8. *Hur väl uppfyllde stabiliseringen sitt syfte på en skala mellan 0 10?*
– Vad var syftet med stabiliseringen?
9. *Hur lyckat var projektet i sin helhet på en skala mellan 0 10?*
– Varför?

10. *Hur stort är drift och underhållsbehovet på en stabiliserad väg respektive för en vanlig väg på en skala mellan 0 10?*
 - Hur ska en stabiliserad väg underhållas?

11. Jämförelse mellan de olika vägkonstruktionerna, vad för- och nackdelarna är.
Titta på sektionsritningar, för väg 50 och E22s olika etapper.

12. Har du jobbat med annan typ av stabilisering?
 - När och till vad?