

CHALMERS



Utredning av Aktiv designprojektet vid RV40

Inriktning mot utveckling av objektiv kontrollmetod med avseende på framtida funktion

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

SEBASTIAN MATTSSON & PETER SIPARI

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för geologi och geoteknik

Väg och trafik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2007

Examensarbete 2007:135

EXAMENSARBETE 2007:135

Utredning av Aktiv designprojektet vid RV40

Inriktning mot utveckling av objektiv kontrollmetod med avseende på framtida funktion

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

SEBASTIAN MATTSSON & PETER SIPARI

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Väg och trafik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2007

Utredning av Aktiv designprojektet vid RV40

Inriktning mot utveckling av objektiv kontrollmetod med avseende på framtida funktion

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

SEBASTIAN MATTSSON & PETER SIPARI

© SEBASTIAN MATTSSON & PETER SIPARI, 2007

Examensarbete 2007:135

Institutionen för bygg och miljöteknik

Avdelningen för *geologi och geoteknik*

Väg och trafik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Bilder dokumenterade i fält under försök i examensarbetet

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Göteborg 2007

Investigation concerning the Active design project at RV 40
Direction towards development of an objective control method for future function
Master's Thesis in the Master Degree Programme Civil Engineering
SEBASTIAN MATTSSON & PETER SIPARI
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of GeoEngineering
Road and Traffic group
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

This master thesis has the intention to evaluate the Active design project on RV 40. The evaluation is based partly on a literature study and a series of interviews. Beyond this, practical tests have been carried out in order to find models for bearing capacity calculations, and test methods to determine these. The series of interviews showed that the project is positively experienced but that there are ways to improve it.

The tests have been performed through bearing capacity survey where static plate load(SPL), heavy falling weight deflectometer(FWD) and continuous compaction control(CCC) have been used. In the report, SPL and FWD have been mutually compared, as well as they have been evaluated with the support of the application VägFEM. VägFEM enabled evaluations of resilient modulus in the unbound granular layers. The bearing capacity surveys were performed in points decided through CCC, where the points with the lowest bearing capacity have been used as control objects, which made it possible to compare the CCC with other models. The surveys showed that a correlation between SPL and FWD can be determined, although there may be deviations depending on the tested material. A correlation between SPL and CCC could not be proved. Calculations with vägFEM showed that FWD results in a more correct ground bearing capacity modulus than SPL.

Key words: Aktiv design, Static plate load, falling weight deflectometer, VägFEM

Utredning av Aktiv designprojektet vid RV40
Inriktning mot utveckling av objektiv kontrollmetod med avseende på framtida funktion
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad
SEBASTIAN MATTSSON & PETER SIPARI
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för *geologi och geoteknik*
Väg och trafik
Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Detta examensarbete har för avseende att utvärdera Aktiv designprojektet på RV40. Utvärderingen baseras dels på en litteraturstudie och en intervjuserie, utöver detta utförs praktiska försök för att finna modeller för bärighetsberäkningar och försöksmetoder för bestämmandet av dessa. Intervjuerien visade på att projektet upplevs som positivt men att vissa brister finns och att utvecklingsmöjligheter kvarstår.

Försöken har utförts med hjälp av bärighetsmätningar där statisk plattbelastning, tung fallviktsdeflektometer och yttäckande packningskontroll har använts. I rapporten har bärighetsmätningarna statisk plattbelastning och tung fallviktsdeflektometer jämförts inbördes men även utvärderats med hjälp av applikationen VägFEM. VägFEM möjliggjorde utvärderingar av resilientmoduler för de obundna bärlagren. Bärighetsmätningarna utfördes på punkter som bestämts genom yttäckande packningskontroll där de punkter med sämst bärighet använts som kontrollobjekt, vilket gjorde det möjligt att jämföra yttäckande packningskontroll med övriga modeller. Mätningarna visade att en korrelation mellan statisk plattbelastning och tung fallviktsdeflektometer kan bestämmas, om än med vissa avvikelser beroende på materialet som testas. En korrelation mellan statisk plattbelastning eller tung fallviktsdeflektometer och yttäckande packningskontroll kunde däremot inte påvisas. Analysen med VägFEM resulterade i att försök med tung fallvikt ger ett korrektare bärighetsvärde än analys med statisk plattbelastning.

Nyckelord: Aktiv design, statisk plattbelastning, tung fallvikt, VägFEM

Innehåll

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problembeskrivning	2
1.3 Syfte	2
1.4 Metod	2
1.5 Arbetsupplägg	2
1.6 Avgränsning	3
2 TRADITIONELL VÄGBYGGNAD	4
2.1 Entreprenadformer	4
2.1.1 Generalentreprenad/utförandentreprenad	4
2.1.2 Totalentreprenad	5
2.1.3 Funktionsentreprenad	5
2.2 Ersättningsmodeller	6
2.3 Dimensionering av vägkonstruktion	7
2.4 Bärighet	9
2.4.1 Obundna lagrens betydelse för väggroppen	9
2.4.2 Orsaker till nedbrytning av väggroppen	10
2.4.3 Materialpåverkan för minskad nedbrytning av vägen	12
3 AKTIV DESIGN	16
3.1 Teorin till Aktiv designprojektet	16
3.2 Beräkningsmodeller för framtida funktion	18
3.2.1 LCPC	18
3.2.2 Dresden	18
3.2.3 Design Guide	19
3.3 Delprojekt inom Aktiv design	19
3.3.1 Vinna - vinna	19
3.3.2 Utökad samverkan	21
3.3.3 Funktionskrav	23
3.3.4 Kunskap/Kompetens - LCC	25
3.4 Ersättningsmodeller med incitament	25
3.4.1 Fast pris med incitament	26

3.4.2	Löpande räkning med incitament	26
3.4.3	Riktkostnad med incitament	26
4	TILLSTÅNDBEDÖMNING AV BÄRIGHET	27
4.1	Kontrollmetoder	27
4.2	Statisk plattbelastning	27
4.3	Tung fallvikt	30
4.4	Yttäckande packningskontroll	31
4.4.1	Vältnätvärde	31
4.4.2	Vältnets funktion	32
4.4.3	Utveckling av formler för bärighetsberäkning	35
4.4.4	Framtida utrustning och metod för olinjär modul	39
4.5	Tillståndsbedömning av färdig väg	40
4.5.1	Okulärbesiktning	40
4.5.2	Digitalbesiktning	40
4.5.3	Mekaniskbesiktning	41
5	AKTIV DESIGNPROJEKTET VID RV40	42
5.1	Utmattningskriteriet	42
5.2	Området	44
5.3	Grundläggande bestämmelser	45
6	INTERVJUER	47
6.1	Val av intervjuobjekt	47
6.2	Ettapp 2 och 3	47
6.2.1	Beställaren Göran Hedblom	48
6.2.2	Platschefen Rune Abrahamsson	50
6.3	Ettapp 5	51
6.3.1	Beställaren Arne Lundin	52
6.3.2	Platschef Stefan Gustavsson	53
6.4	Intervjuresultat	54
6.4.1	Intervjuserie	54
6.4.2	Vinna - vinna	55
6.4.3	Utökad samverkan	55
6.4.4	Funktionskrav	56
6.4.5	LCC kunskap/kompetens	56
7	ANALYS AV INTERVJURESULTAT	57
7.1	Vinna – vinna	57
7.2	Engagemang	57
7.3	Samverkan	57
7.4	Funktion	58

7.5	LCC – Kompetens/kunskap	58
8	ELASTICITETSMODULSUTVÄRDERING	60
8.1	Metod	60
8.2	VägFEM	60
8.2.1	Information om program	60
8.2.2	Användning av programmet	61
8.3	Fältförsök	64
8.3.1	Vältnätvärde	64
8.3.2	Statisk plattbelastning	66
8.3.3	Försök med tung fallvikt	66
8.4	Resultat från fältförsök	68
8.4.1	Peab - terrass	68
8.4.2	Peab – obunden överbyggnad	69
8.4.3	Vägverket produktion - terrass	69
8.4.4	Vägverket produktion – obunden överbyggnad	70
8.5	VägFEManalys av resultat från fältförsök	70
8.5.1	Peab - terrass	70
8.5.2	Peab – obunden överbyggnad	73
8.5.3	Vägverket produktion – terrass	76
8.5.4	Vägverket produktion – obunden överbyggnad	79
9	ANALYS AV ELASTICITETSMODULSUTVÄRDERING	82
9.1	CDS-mätning	82
9.2	Jämförelse mellan bärlighetsmodulerna E_0 och E_{V2}	82
9.2.1	Peab	82
9.2.2	Vägverket	83
9.3	Jämförelse mellan resilientmodul och bärlighetsmodul	84
9.3.1	Peab	84
9.3.2	Vägverket produktion	85
9.4	Problem med analysen	87
9.4.1	Inpassning av deflektionskurvorna	87
9.4.2	Påverkan av undergrunden	87
9.4.3	Inblandning av skjuvkrafter	87
10	SLUTSATSER	91
10.1	Aktiv design	91
10.2	Elasticitetsmodulsutvärdering	92
11	FÖRSLAG TILL FORTSATT UTVECKLING	93
11.1	Aktiv design	93
11.2	Elasticitetsmodulsutvärdering	95

12	REFERENSER	96
13	BILAGOR	1

Förord

Detta examensarbete har utförts vid Institutionen för bygg- och miljöteknik, Avdelningen för geologi och geoteknik, Grupp väg och trafik vid Chalmers på uppdrag av Vägverket. Projektet har finansierats av Vägverket och har utförts under sommar och höst 2007.

Vi vill tacka alla personer som medverkat i vårt examensarbete och gett oss värdefulla synpunkter. Ett stort tack riktas främst till:

Anders Huvstig (handledare)

Vägverket regionkontor väst, Göteborg, Avdelning för specialiststöd,

Universitetslektor Gunnar Lannér (handledare och examinator)

Chalmers, Institutionen för bygg- och miljöteknik, Avdelningen för geologi och geoteknik.

Göran Hedblom, Arne Lundin (Beställarombud rv40)

Vägverket

Rune Abrahamsson (Platschef)

PEAB

Stefan Gustavsson (Platschef)

Vägverket produktion

Micke Bladlund (Fallviktsoperatör)

VTI

Per Ljungkvist (Plattbelastning)

Geomiljö Väst KB

Beteckningar

Förkortningar

AB = Allmänna bestämmelser för byggnads-, anläggnings- och installationsentreprenader.

ABK = Allmänna bestämmelser för konsultuppdrag.

ABT = Allmänna bestämmelser för totalentreprenader avseende byggnads-, anläggnings- och installationsarbeten.

CDS = Compaction Documentation System

CMV = Compaction Meter Value

FWD = Falling weight deflectometer

GBÖ = Grusbitumenöverbyggnad

PMS = Pavement management system

SPB = Statiskplattbelastning

VMV = Vältmätar värde

VTI = Statens väg-och transportforskningsinstitut

YPK = Ytpackningskontroll

ÅDT = Årsdygnstrafik

Latinska versaler

A_i = Amplituden vid frekvensen f

D_0 = Deflektion [μm] inunder belastningsplattan

D_r = Deflektion [μm] på avståndet r från belastningcentrum

E_0 = Modul [MPa] under belastningsplattan

E_V = Medelmodul [MPa] på ekvivalent djup motsvarande r

E_{V1} = Plastiska deformationen efter första belastningscykeln

E_{V2} = Elastisk deformation efter andra belastningscykeln

M_R = Resilientmodul

N = Ekvivalent antal standardaxlar

Latinska gemener

a	= Belastningsplattans radie [mm], vanligtvis 150 mm
f	= Frekvens, 2 för segmenterad platta
k_1	= Regressionskoefficient
k_2	= Regressionskoefficient
l	= Längd
r	= Avstånd från deflektionsmätare och belastningscentrum [mm]
ν	= Tvärkontraktionstal [-]

Grekiska versaler

τ_{oct}	= Skjuvspänning
φ_i	= Vinkeln mot horisontalplanet som trumman slår ner i marken med.
σ_o	= Kontakttryck under belastningsplattan [kN]
σ	= Summan av huvudspänningarna ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) [kPa]

Figurer

Figur 2-1 Organisationsschema för Generalentreprenad, (Peter Molin, Harri Spoof, 2006).

Figur 2-2 Organisationsschema för Totalentreprenad, (Peter Molin, Harri Spoof, 2006).

Figur 2-3 Organisationsschema för Funktionsentreprenad, (Peter Molin, Harri Spoof, 2006)

Figur 2-4 Vanlig uppbyggnad av väg (ATB VÄG, 2005)

Figur 2-5 Nötning (Huvstig, 2007)

Figur 2-6 För tung last på vägen (Huvstig, 2007)

Figur 2-7 Dålig undergrund (Huvstig, 2007)

Figur 2-8 Lastöverföring i stenskelett (Huvstig, 2007)

Figur 2-9 Materialbetende vid shake down (Werkmeister, 2003)

Figur 2-10 Töjningsbeteenden (Werkmeister, 2003)

Figur 3-1 Livslängd hos färdig väg (Huvstig, 2007)

Figur 3-2 Livslängd med Aktiv design (Huvstig, 2007)

Figur 3-3 Kostnader under byggnation (Huvstig, 2007)

Figur 3-4 Funktionsstegen (Huvstig, 2007)

Figur 4-1 Plattbelastningsutrustning med deformationsmätare (Rosengren, Senohradski, 2007)

Figur 4-2 Deformation under statisk plattbelastning (Huvstig, 2007)

Figur 4-3 Modell på tung fallvikt (VVMB 112, 1998)

Figur 4-4 Vältens verkan mot underliggande material (Rosengren, Senohrdaski, 2007)

Figur 4-5 Vältens teoretiska verkningsätt (Rosengren, Senohrdaski, 2007)

Figur 4-6 Fortlöpande dynamisk provbelastning (Geodynamik)

Figur 4-7 Kalibrering mellan SPB och CMV (Rosengren, Senhoradski, 2007)

Figur 4-8 Jämförelse mellan CMV, HMV och SPB (Rosengren, Senhoradski, 2007)

Figur 4-9 Kraftdeformationsdiagram där packningsenergin är markerad (Rosengren, Senhoradski, 2007)

Figur 4-10 Förhållande mellan jordens reaktionskraft, markförskjutningen och E-modulen (Rosengren, Senhoradski, 2007)

Figur 5-1 Ekvivalent standardaxel, dubbelmonterad (ATBväg 2005).

Figur 5-2 Kartbild över konstruktionsområdet (FB Engineering, 2005)

Figur 5-3 Kartbild över vägsträckningen och etappindelning(FB Engineering, 2005)

Figur 8-1 Maximal vertikal förskjutning efter varje laststeg (från 170-0,12)

Figur 8-2 CDS-resultat från Vägverket produktions vänstra sida

Figur 8-3 Profilbild över CDS-värden i stråk 7

Figur 8-4 Dragbil och vagn med tung fallviktsutrustning från VTI

Figur 8-5 Dynatests fallviktsutrustning

Figur 8-6 SPB och FWD mot VägFEM

Figur 8-7 SPB och FWD mot VägFEM

Figur 8-8 SPB och FWD mot VägFEM

Figur 8-9 SPB och FWD mot VägFEM

- Figur 8-10 Deflektionskurvor för VägFEM och FWD, SPB*
- Figur 8-11 Deflektionskurvor för VägFEM och FWD, SPB*
- Figur 8-12 Deflektionskurvor för VägFEM och FWD, SPB*
- Figur 8-13 Deflektionskurvor för VägFEM och FWD, SPB*
- Figur 8-14 SPB och FWD mot VägFEM*
- Figur 8-15 SPB och FWD mot VägFEM*
- Figur 8-16 SPB och FWD mot vägFEM*
- Figur 8-17 SPB och FWD mot VägFEM*
- Figur 8-18 Punkt 1, Utvärdering av M_R - Obunden överbyggnad hos Vägverket produktion*
- Figur 8-19 Punkt 2, Utvärdering av M_R - Obunden överbyggnad hos Vägverket produktion*
- Figur 8-20 Punkt 3, Utvärdering av M_R - Obunden överbyggnad hos Vägverket produktion*
- Figur 8-21 Punkt 4 Utvärdering av M_R - Obunden överbyggnad hos Vägverket produktion*
- Figur 9-1 E_0 och E_{V2} för terrass och obundet bärlager hos PEAB*
- Figur 9-2 E_{V2} och E_0 för samma punkter hos Vägverket produktion*
- Figur 9-3 Resilientmodul M_R och E_{V2} , E_0 för terrassen*
- Figur 9-4 Resilientmodul M_R och E_0 , E_{V2} vid obundna överbyggnaden*

Tabeller

<i>Tabell 2-1 Dimensioneringsperiod, nybyggnad (ATB VÄG 2005)</i>	<i>7</i>
<i>Tabell 2-2 Dimensioneringsförutsättningar för RV40 (Werner, 2004)</i>	<i>8</i>
<i>Tabell 2-3 Lageruppbyggnad (Werner, 2004)</i>	<i>8</i>
<i>Tabell 2-4 Dimensioneringsresultat hos konstruktion vid RV40 (Bilaga II)</i>	<i>9</i>
<i>Tabell 5-1 Dimensioneringsparametrar för dimensioneringstiden 20 år vid RV40 (Werner, 2004)</i>	<i>43</i>
<i>Tabell 5-2 Resultat från dimensioneringsberäkningar och jämförelse med krav från ATB VÄG.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabell 8-1 Nedböjning av marken vid VägFEM.....</i>	<i>62</i>

<i>Tabell 8-2 VägFEM deflektioner (ordnade)</i>	62
<i>Tabell 8-3 Nedböjning av marken i mm vid användning av k_1 och k_2 för terrass vid bärlager utvärdering</i>	63
<i>Tabell 8-4 Jämförelse mellan olika k_2</i>	63
<i>Tabell 8-5 Beskrivning av interpoleringsförfarandet</i>	68
<i>Tabell 8-6 Framtagna CDS-värden</i>	69
<i>Tabell 8-7 Ytmodul och modul hos terrassen hos PEAB</i>	69
<i>Tabell 8-8 E_{V2} och E_0 utvärderat för punkterna hos PEAB</i>	69
<i>Tabell 8-9 CDS värde från respektive punkt tagna med CAT vält</i>	70
<i>Tabell 8-10 Ytmodul och modul hos terrassen hos Vägverket produktion</i>	70
<i>Tabell 8-11 E_{V2} och E_0 utvärderat för punkterna hos Vägverket produktion</i>	70
<i>Tabell 8-12 k_1 och k_2 hos respektive punkt och kontrollmetod</i>	73
<i>Tabell 8-13 k_1 och k_2 utvärderat för obundet bärlager hos PEAB</i>	76
<i>Tabell 8-14 k_1 och k_2 samt resulterande resilientmodul M_R för terrass hos Vägverket produktion</i>	78
<i>Tabell 8-15 k_1, k_2 samt beräknad M_R för respektive punkt</i>	81
<i>Tabell 9-1 Skillnad mellan E_{V2} och E_0</i>	82
<i>Tabell 9-2 Skillnadstillväxt mellan FWD och SPB beroende på underlag</i>	83
<i>Tabell 9-3 Skillnad mellan E_0, E_{V2} och M_R</i>	84
<i>Tabell 9-4 Skillnader mellan SPB, FWD och respektive resilientmodul</i>	86
<i>Figur 9-5 E_0, E_{V2} och M_R för terrassen hos Vägverket produktion</i>	86
<i>Figur 9-6 M_R, E_{V2} och E_0 för obunden överbyggnad hos Vägverket produktion</i>	87
<i>Tabell 9-7 Ingångs och materialdata till permanenta deformationer</i>	89
<i>Tabell 9-8 Huvudskjuvspänningar med lite och normalt med asfalt</i>	89
<i>Tabell 9-9 Beräknade effektivspänningar vid försöket</i>	89
<i>Tabell 9-10 Ingångsdatat till resilientmodulsberäkning</i>	89
<i>Tabell 9-11 Resilienmodul M_R för försök med och utan asfalt</i>	90

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Infrastrukturen är en viktig del av Sverige för såväl privata som den offentliga sektorn. För att utveckla Sverige är infrastrukturen i ständig förändring, nybyggnationer och underhåll förekommer varje dag. Underhåll är en stor utgift för samhället och därmed vägverket, vilken skulle kunna minskas genom att bygga bättre och mer uthålliga vägar.

Användningen av utförandeentreprenad där entreprenören skall nå en minsta krav nivå är den dominerande entreprenadmodell som används inom vägbyggande idag. Utförandeentreprenaden leder inte till utveckling av branschen eftersom ökad kvalitet inte efterfrågas, entreprenören genomför därför inte mer arbete än vad som krävs. För att förändra tankegången inom entreprenadbranschen har ett projekt kallat aktiv design startats. Tanken bakom aktiv design är att bygga billigare vägar till lägre konstruktionskostnad, med bättre kvalitet för att även sänka underhållskostnader och tillslut livscykelkostnaderna.

Anders Huvstig vid vägverkets avdelning för specialiststöd i Göteborg har startat ett testprojekt med användning av aktiv design vid nybyggnationen av rv40. Projektet ger entreprenören möjlighet att minska beläggningstjockleken på de bitumenbundna lagren om en ökad bärighet på de obundna materialen uppnås. En minskad beläggningstjocklek innebär minskade utgifter för bygget med upp till 20 kr/m² då tjockleken minskas med 2 cm. För att få entreprenören intresserad används ett bonus system för att förmå denne till att genomföra utökat kvalitetsarbete.

PMS Objekt heter beräkningsmodellen som ligger till grund för utformningen av väggroppen vid rv40. Programmet har även använts för att bestämma kravgränserna för en eventuell beläggningsminskning vid testprojektet. Programmet använder elasticitetsmodulen hos de ingående materialen för sina beräkningar, vid fältkontroll används statisk plattbelastning som inte resulterar i en elasticitetsmodul utan ett kontrollvärde kallat bärighetsmodul. Finns det möjlighet att finna en mätmetod där bärighetsresultatet stämmer väl överens med elasticitetsmodulen skulle det leda till ökade möjligheter att påverka konstruktionens utformning under konstruktionsskedet, därmed kan aktiv design tillämpas på fler lager i uppbyggnaden av väggroppen.

1.2 Problembeskrivning

Projektet som genomförts har varit ett testprojekt och aktiv design har varit styrt till att handla om möjlighet för entreprenören att anpassa tjockleken hos asfaltbeläggningen. För att i framtiden kunna använda sig av aktiv design behöver testprojektet utvärderas för att dra lärdom inför ett eventuellt införande i förfrågningsfasen vid upphandling av ett projekt.

För att kunna arbeta med aktiv design krävs kontrollmetoder för inhämtning av information om kvaliteten hos de ingående materialen. För att kunna påverka utformningen av väggroppen behövs även tillförlitliga beräkningsmodeller för att behandla den insamlade informationen. Idag används statisk plattbelastning för att ta reda på bärighetskvaliteten, resultatet blir en bärighetsmodul som inte är lämplig att använda i en beräkningsmodell. För att genomföra denna typ av beräkning behöver en ny metod utvecklas för att kunna beräkna den egentliga elasticitetsmodulen hos de ingående lagren. Detta för att kunna genomföra beräkningar som kan leda till anpassning av överliggande skikt i väggroppen.

1.3 Syfte

Arbetet med aktiv design har resulterat i beläggningsminskning på flera kontrollobjekt, men information om hur arbetet genomförts och vad som behöver åtgärdas inför framtiden har ännu inte kontrollerats. Examensarbetet genomförs för att ta reda på orsaker som lett till problem eller påverkat utgången av projektet. Inför ett eventuellt införande i förfrågningsunderlaget behöver information från de olika parterna i projektet samlas in för att forma en fortsättning på aktiv designprojektet.

Beräkningsprogrammet PMS Objekt som legat till grund för beläggningsminskningen använder sig av elasticitetsmoduler för de ingående materialen. Idag utvärderas inte elasticitetsmodulen utan en form av bärighetsmodul som används för kvalitetskontroll. För att föra utvecklingen framåt krävs en mätmetod eller analysprogram som resulterar i en modul som går att använda till beräkningar.

1.4 Metod

Utvärderingen av Aktiv designprojektet sker genom intervjuer med personer som medverkat i projektet på olika sätt. Intervjuerna förväntas ge en bild av hur konceptet tagits emot och hur kvalitetsarbetet har spridits i leden på arbetsplatsen.

En undersökning av de bärighetskontrollmetoder som kan användas på en arbetsplats genomförs för att samla ihop indata till beräkningsprogrammet vägFEM. En jämförelse mellan respektive metods bärighetsmodul och elasticitetsmodulen som utvärderas i vägFEM genomförs. Jämförelsen sker för att finna vilken kontrollmetod som stämmer mest överens verkligheten, vilket resultaten från beräkningsprogrammet vägFEMs anses vara.

1.5 Arbetsupplägg

Arbetet inleddes med två möten där examensarbetarna Sebastian Mattsson och Peter Sipari blev informerade om uppgiften av handledaren Anders Huvstig. Innan arbetets

start hölls ett möte på Vägverkets kontor där examinator Gunnar Lannér närvarade och problembeskrivning och syftet med rapporten fastställdes.

Efter det att arbetet sattes igång och tidpunkter för försök utförda i fält fastslagits påbörjades litteraturstudien inom området. Litteraturen bestod till större delen av gamla examensarbeten, bygghandlingar, utvecklingstexter och skrifter hämtade från Anders Huvstig.

Inledningsvis påbörjades arbetet med att skapa ett underlag för de intervjuer som skulle genomföras med personalen på arbetsplatserna utmed RV40. Laborationer i fält kom att genomföras kontinuerligt under sommaren för att slutligen utvärderas i augusti då den sista laborationen genomförs. Laborationerna genomförs med hjälp av fallviktsdeflektometrar från VTI och Dynatest, Statiskplattbelastning har utförts av Pär Ljungkvist (Geomiljö väst) som ansvarar för bärighetskontroll på både Peab och Vägverket produktions respektive etapper.

1.6 Avgränsning

Aktiv design behandlar flera områden av ett vägbygge, men examensarbetet avgränsas till studier av den del av projektets som behandlar minskning av beläggningstjocklek och dess fördelar.

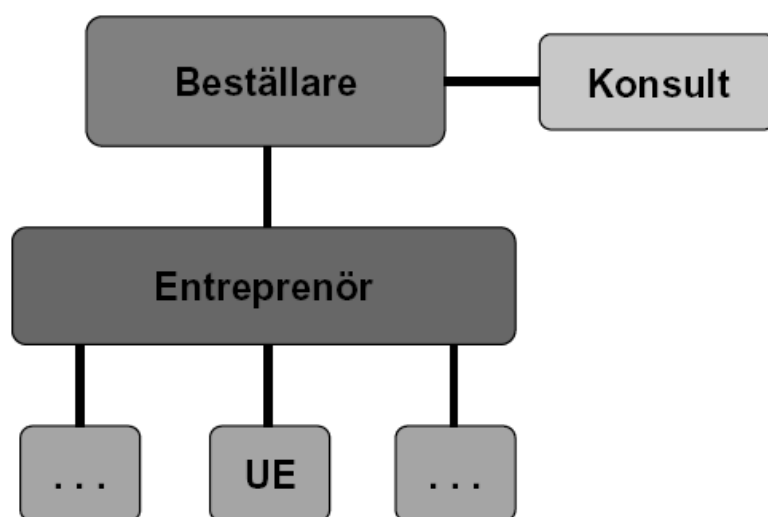
2 Traditionell vägbyggnad

2.1 Entreprenadformer

Dagens anläggningsbransch arbetar allt mer ifrån den traditionella entreprenadformen där beställaren anlitar olika entreprenörer för olika delar av projekten. För att underlätta beställarens arbete, och i vissa fall bidra till ökade vinster, utvecklas entreprenadformerna kontinuerligt. Idag kan man se former som inte bara innefattar byggnationen, även drift och underhåll såväl som finansiering kan ingå i en entreprenad.

2.1.1 Generalentreprenad/utförandeentreprenad

Generalentreprenad och utförandeentreprenad är två benämningar på samma entreprenadform. Vid denna form av entreprenad har beställaren ansvar för projektering av bygghandlingen. Beställaren sluter avtal med en entreprenör, som får huvudansvar och som i sin tur får sluta avtal med eventuella underentreprenörer, se Figur 2-1. (Peter Molin, Harri Spoof, 2006).

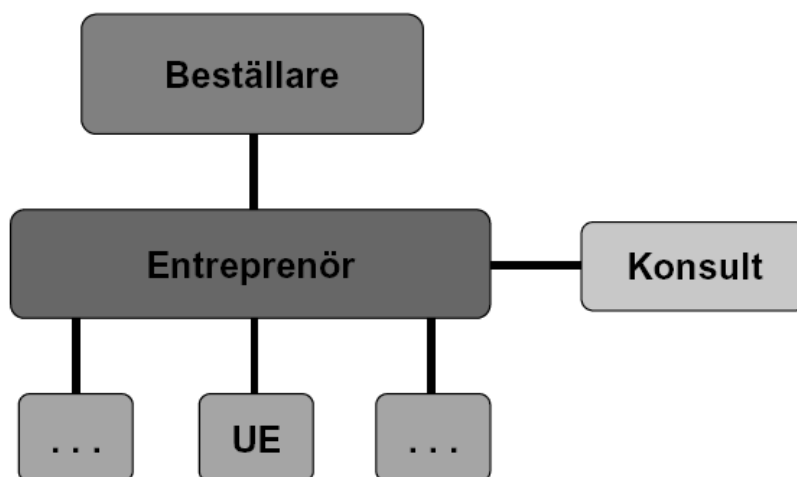


Figur 2-1 Organisationsschema för Generalentreprenad, (Peter Molin, Harri Spoof, 2006).

Fördelen med generalentreprenad är att problem med risker och ansvar begränsas för beställaren, jämfört med en traditionell delad entreprenad där beställaren upphandlar samtliga entreprenörer. Huvudentreprenören har möjligheter att minska kostnader genom att efter avklarad upphandling ta in fler offerter eller pressa sina befintliga alternativ (Byggledarna, 2004).

2.1.2 Totalentreprenad

Vid en totalentreprenad har beställaren bara ett avtal med en huvudentreprenör. Beställaren ansvarar för förstudien och vägplaneringen, entreprenören ansvarar därefter för både projekteringen och utförandet av entreprenaden, se Figur 2-2. (Peter Molin, Harri Spooft, 2006)

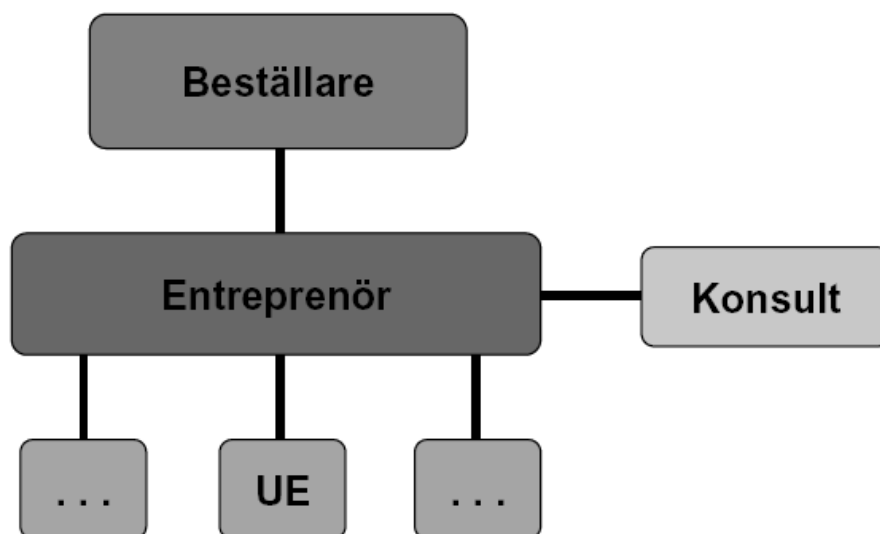


Figur 2-2 Organisationsschema för Totalentreprenad, (Peter Molin, Harri Spooft, 2006).

Entreprenadformen ställer krav på samarbete mellan projektör och entreprenör eftersom prissättning på detaljprojektering i vissa fall måste bestämmas innan anbudet lämnas. Det finns vissa invändningar mot entreprenadformen då den anses som dyrare då entreprenörer måste projektera innan anbudet är lagt. Detta kan vara fallet vid komplicerade konstruktioner men vid enklare konstruktioner kan ofta tidigare projekteringar och erfarenheter var tillräckligt för att kunna lämna ett anbud. Anbudet behöver inte vara juridiskt bindande utan det kan räcka om statliga krav och behov täcks (Bygglidarna, 2004).

2.1.3 Funktionsentreprenad

Vid funktionsentreprenader ansvarar entreprenören för projektering av bygghandling och för byggandet i sig, se Figur 2-3 nedan. Entreprenören blir även ansvarig för att upprätthålla funktionen på vägen under en bestämd tid, längre än den garantitid som enligt lag lämnas vid till exempel total- och generalentreprenad. I vissa fall ingår även underhållsansvar, vilket innebär att vägen förväntas underhållas med ett visst intervall och hålla en viss standard under garantitiden (Peter Molin, Harri Spooft, 2006).



Figur 2-3 Organisationsschema för Funktionsentreprenad, (Peter Molin, Harri Spoof, 2006)

Funktionsentreprenaden är en av de mer komplicerade entreprenadformerna. Svårigheter med avgränsningar och omfattningen av projektet kan förekomma i upphandlingsskedet. Det finns även ett visst behov av resurser i uppföljningsskedet (Byggledarna, 2004).

2.2 Ersättningsmodeller

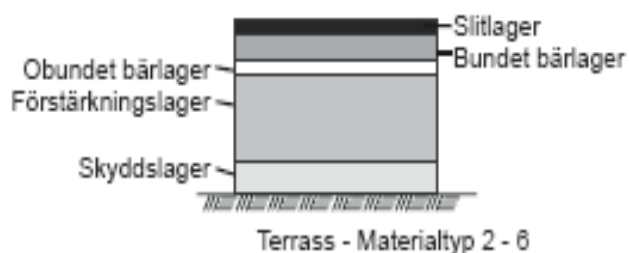
Ersättning vid entreprenader kan ske på flera olika sätt:

- Fast pris – Entreprenören lämnar ett fast pris på ett arbete som skall genomföras, det fasta priset kan vara under reservation och ändras med indexreglering. Löpande indextal tillhandahålls av Statistiska Centralbyråns BYGGINDEX.
- Löpande räkning – Beställaren betalar för arbete uträttat av entreprenören. Entreprenören redovisar sina självkostnader, materialkostnader, kostnader för arbetsledning och ett entreprenörarvode. För att begränsa kostnaderna kan beställaren ange ett tak för ersättningen som inte får överskridas. Det finns också möjlighet att erbjuda entreprenören ett incitament om byggkostnaden blir betydligt mindre än riktpriiset.
- Å-pris uppdrag – används för att bestämma ersättning för arbeten som uträttats löpande under byggnadstiden, entreprenören får efter hand betalt för till exempel:
 - Mängd förflyttat material
 - Antal borttagna stubbar mm

(SABO, 2007)

2.3 Dimensionering av vägkonstruktion

Vid dimensionering av en väg används PMS Objekt för att beräkna funktionsparametrar hos väggroppen. Programmet bygger på ATB VÄG som reglerar hur väggroppens konstruktion utförs och vilka krav som gäller för byggnadsmaterialen. ATB VÄG är uppbyggt på tabeller där projektören kan se kravnivån som gäller för materialet och sedan dimensionera väggroppen för att nå denna. En typisk väggrossuppbyggnad består av obundna lager för att forma underbyggnaden och bundna lager för att bilda asfaltytan, se Figur 2-4.



Figur 2-4 Vanlig uppbyggnad av väg (ATB VÄG, 2005)

För att ta reda på tjockleken på de ingående lagren utgår dimensioneringsprocessen ifrån vägens tekniska livslängd. De bundna lagren har en kortare dimensionerande livslängd än de obundna eftersom ett brott på undergrunden resulterar i större och tätare underhållsåtgärder för att hålla god kvalitet på överytan hos vägen. En vanlig dimensioneringsperiod ses i Tabell 2-1.

Tabell 2-1 Dimensioneringsperiod, nybyggnad (ATB VÄG 2005)

Konstruktionsdel	Dimensioneringsperiod, år	
	Nationell och regional väg	Lokal väg
Bundet bärlager i överbyggnad som inte är betongöverbyggnad	20	-
Underbyggnad och undergrund: Bärförmåga och beständighet	40	40

För att slutligen bestämma lagertjocklek och hur uppbyggnaden skall se ut krävs information om trafikmängden och hur stor andel som är tung trafik för att kunna beräkna antalet ekvivalenta standardaxlar som kommer att påverka konstruktionen under dess dimensioneringsperiod.

För att illustrera detta används ingångsdata för nybyggnationen av RV40 mellan Borås och Ulricehamn i PMS Objekt. Inledningsvis beräknas antal ekvivalenta standardaxlar (N_{ekv}) utifrån ingångsdata i Tabell 2-2. Informationen beskrivs även i Bilaga I.

Tabell 2-2 Dimensioneringsförutsättningar för RV40 (Werner, 2004)

Parameter	Värde
ÅDT _k	5500 f/d
Referenshastighet	110 km/h
Akkumulerad trafiklast per körfält: N _{ekv} per 20 år	11 000 000

Därefter finns möjlighet att ange hur väggroppen skall se ut för att slutligen genomföra beräkningar i programmet. Väggroppen vid RV40 kommer se ut som väggroppsuppbyggnaden i Tabell 2-3.

Tabell 2-3 Lageruppbyggnad (Werner, 2004)

Lager	Tjocklek (mm)	Namn
1	40	Bitumenbundet slitlager
2	60	Bindlager
3	70	Bitumenbundet bärlager
4	80	Obundet bärlager
5	500	Förstärkningslager krossat material
6	0	4a – Blandkornig jord > 30 %

Kraven på konstruktionen utgår ifrån de ackumulerade töjningarna som sker i olika delar av väggroppen under dimensioneringsperioden på grund av antalet ackumulerade standardaxlar. PMS Objekt beräknar påkänningen på terrass och underkant av de bundna lagren för att se om de obundna lagren kommer att klara kraven från ATB VÄG nedan. (ATBväg, 2005)

- Flexibla konstruktioner skall konstrueras så att underkanten av de bundna lagren klarar de ackumulerade töjningar som trafiklasten orsakar ($N_{till,bb} \geq N_{ekv}$).
- Flexibla konstruktioner skall konstrueras så att terrassen klarar minst 2 ggr den ackumulerade lasten under den dimensioneringsperiod som gäller för bundet lager i vägöverbyggnad som inte är betongöverbyggnad ($N_{till,te} \geq 2 * N_{ekv}$).

Tabell 2-4 redovisar töjningar från PMS Objekt med lageruppbyggnaden enligt Tabell 2-3 ovan. Lagerföljden som föreslogs klarar de krav som ATB VÄG ställt och kommer att användas på de områden där Blandkornig jord > 30 % används som terrass material. Beräkningsgången ses även i Bilaga II.

Tabell 2-4 Dimensioneringsresultat hos konstruktion vid RV40 (Bilaga II)

Parameter	Enhet	RV40	Krav
Antal axellaster, bitumenlagret	[-]	14 653300	$\geq 11\ 000000$
Antal axellaster, terrassytan	[-]	41 678164	$\geq 22\ 000000$
Maximal trycktöjning, terrass	[-]	0,0006	$\leq 0,0024$
Tjällyftning	[mm]	0	< 20
Tjäldjup	[mm]	590	-

Dimensioneringen är styrd efter att olika material möter minimikrav, det stimulerar inte till vidare utveckling av bättre vägar. Vägverket vill därför ge entreprenörerna möjlighet att arbeta fram nya arbetsmetoder för att i slutändan nå bättre kvalitetsresultat. Tanken är att den dimensionerande processen i framtiden skall fortgå under bygget för att istället optimera konstruktionen när bärighetskontroll genomförs på arbetsplatsen.

2.4 Bärighet

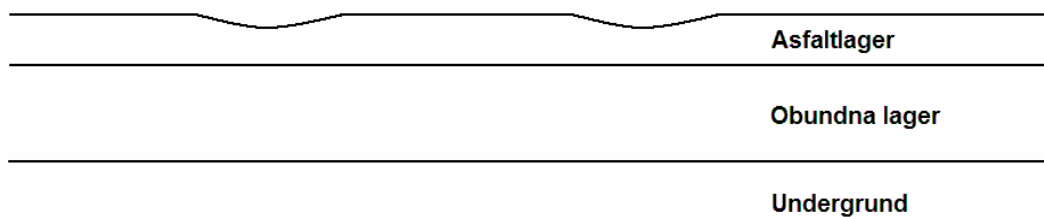
2.4.1 Obundna lagrens betydelse för väggroppen

För att kunna bedöma bärigheten hos en vägöverbyggnad krävs en förståelse för hur alla lager i konstruktionen beter sig. Välpackade bär- och förstärkningslager är bra men om terrassen och undergrunden inte håller god standard så kommer det ändå att utvecklas deformationer. Genom att fördela materialet i terrassen på rätt sätt kan ökad bärighet uppnås, om även materialet på effektivt sätt packas med vält kan goda förutsättningar för minskat underhållsbehov uppnås.

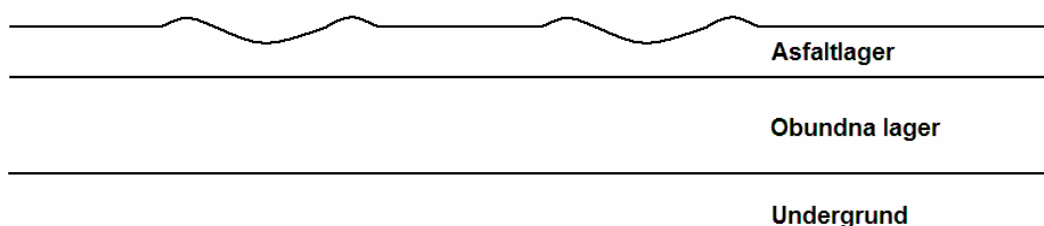
Terrassens bärighet beror på materialvalet och dess känslighet för fukt. Om materialet till stora delar består av finkornigt material bör vikt läggas vid att utföra god dränering. Förekomsten av lera i terrassen uppvisar stabila värden hos resilientmodulen men låg hållfasthet och hög sensitivitet och kan i kombination med vibrationer från trafiken få lerpartiklar att vandra i konstruktionen. Moränleror är mycket känsliga för fukt men uppvisar god bärighet i torrt tillstånd. Material av denna sort kan med fördel förstärkas för att minska riskerna och öka livslängden.

En annan möjlighet att öka terrassens bärighet är att förstärka den genom så kallad stabilisering, ett vanligt sätt att öka bärigheten vid geotekniska arbeten. Stabiliseringen kan utföras på många sätt, men de vanligaste metoderna är tillsatts och utblandning av cement, kalk eller bitumen.

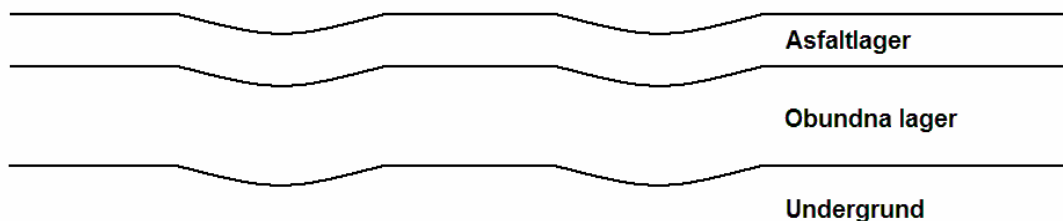
Figurerna 2-5 till 2-7 nedan visar tre olika orsaker till uppkomsten av spårbildning. Första figuren visar spårbildningen på grund av nötning från dubbdäck. Andra figurens spårbildning uppkommer då lasten från ett fordon överskrider den maximala bärigheten hos de bundna bärlagren. Den sista figuren visar uppkomsten av spår då undergrundens bärighet underskrider pålagd last vilket påverkar hela konstruktionen negativt.



Figur 2-5 Nötning (Huvstig, 2007)



Figur 2-6 För tung last på vägen (Huvstig, 2007)



Figur 2-7 Dålig undergrund (Huvstig, 2007)

Är undergrunden dålig, se Figur 3-3, räcker det inte med att, som i de fall där nötning orsakat spårbildning, lägga ny asfalt. Istället behöver konstruktionen grävas upp och göras om för att undvika återkommande underhållsbehov och ökade underhållskostnader.

2.4.2 Orsaker till nedbrytning av vägkroppen

Vägens nedbrytning sker på olika sätt och av olika anledningar. Genom att vägen börjar brytas ned försvagas den, vilket i sin tur leder till ytterligare nedbrytning av vägkroppen. Följande processer påverkar vägkonstruktionens nedbrytning. (Wågberg, 1991)

- Ytligt slitage
- Nötning från dubbdäck

- Åldring av beläggnings yta
- Strukturellt slitage
- Plastisk deformation i beläggningslagren
- Bärighetsberoende nedbrytning
- Tjäl- och markprocesser i undergrund
- Dräneringsproblem
- Ingrepp i vägkonstruktionen
- Uppgrävning vid va-arbeten mm

Arbetet i detta examensarbete baseras på packning av obundna material och påverkas därför till störst del av strukturella slitaget.

Strukturellt slitage

Det strukturella slitaget är både trafikberoende och klimatberoende. Det trafikberoende slitaget resulterar i spårbildning och eventuellt sprickbildning. Det klimatberoende slitaget är ett resultat av termiska sprickor och tjälskador. Det finns viss samverkan mellan det trafik- och klimatberoende slitaget. Det trafikberoende slitaget orsakas av den tunga trafiken, personbilar är i det närmaste försumbara. Slitaget delas in i två kategorier (Wågberg, 1991):

- Plastiska deformationer
- Bärighetsberoende deformationer

Plastiska deformationer

Plastiska deformationer kännetecknas av utvecklade dubbelspår (svårare att bestämma med det allt vanligare supersingeldäcket) efter tunga fordon med så kallat tvillingmontage (parmonterade hjul, fyra hjul per axel). Spåren och dess orsak kan även bestämmas genom fastställandet av avståndet mellan spåren, tunga fordons spårvidd varierar mellan 1,85 - 2,00 m (Wågberg, 1991). Deformationerna kan uppstå i slitlager med olämplig sammansättning eller i undre slit- eller avjämningslager som hamnat en bit ner i konstruktionen. Utöver sammansättningen påverkas beläggningsen av temperatur och den tunga trafikens belastningstid. Av denna anledning uppstår spårbildning ofta under varma dagar i till exempel uppförbackar där tunga fordon håller låg hastighet. Ur belastningssynpunkt är det axellast och ringtryck som inverkar.

Bärighetsberoende nedbrytning

Även den bärighetsberoende nedbrytningen orsakas av den tunga trafiken, och resulterar i spår- och/eller sprickbildning i beläggningsen. Skadorna orsakas av deformationer som uppkommit i de asfaltbundna lagren, överbyggnadens obundna lager eller i undergrunden. Deformation i obundna lager uppkommer oftast i samband

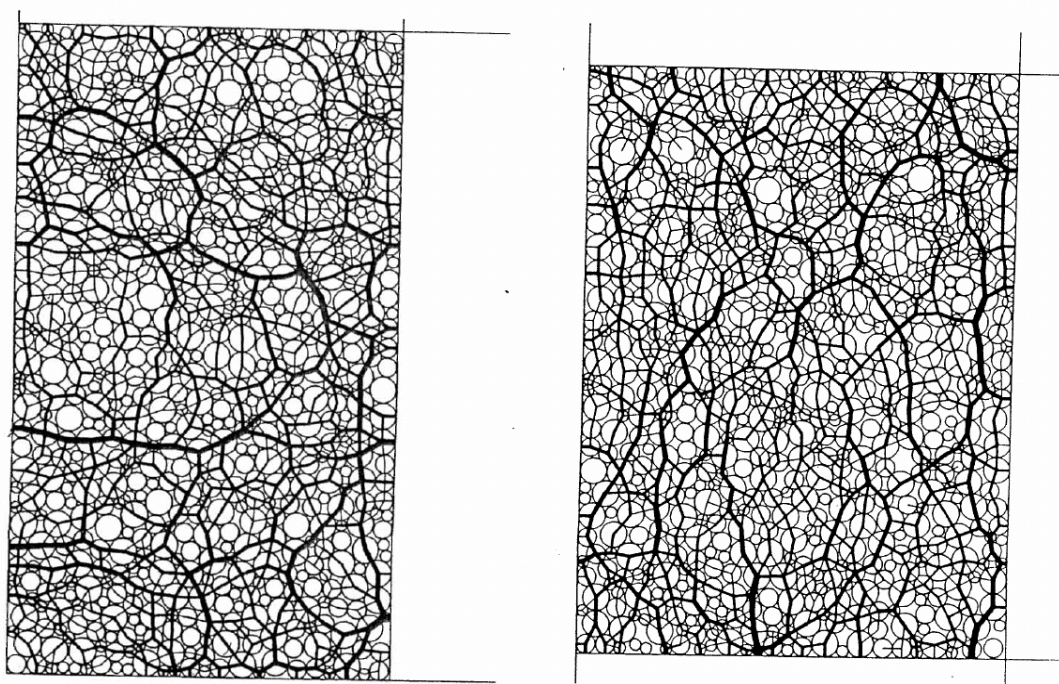
med tunna asfaltlager. Skälet till deformationerna i de obundna lagren är att dessa lager får ta upp mer last då de bundna lagren är tunna. I konstruktioner med tjockare beläggningslager minskar dock påfrestningarna på underliggande material (Wågberg, 1991). Axellasten har primär betydelse för påkänningarnas storlek. Vägar med relativt tunn beläggning påverkas även av ringtrycket. Personbilstrafiken har också här försumbar effekt på nedbrytningen. Avståndet mellan spåren motsvarar spårvidden hos tunga fordon, utformningen av spåren skiljer sig från spår som uppkommer av plastisk deformation genom att vara bredare och flackare. Spåren liknar spår som uppkommer av efterpackning. Spår som uppkommer av efterpackning begränsas oftast till ett djup på 5 mm. Bärighets beroende nedbrytning uppkommer inte som dubbelspår.

2.4.3 Materialpåverkan för minskad nedbrytning av vägen

För att förbättra vägens kvalitet måste stor kraft läggas vid de obundna lagren. Är undergrunden dålig resulterar det i att den bundna överbyggnaden också blir dålig. För att bättra på undergrunden krävs framförallt ytterligare packning av materialet. Kapitlet beskriver vad som kan göras för att i slutändan förbättra bärigheten hos de obundna lagren.

Stenskelett

Materialet i en vägbyggnation är aldrig så välpackat att alla stenar har kontakt med varandra. Detta gör att belastningen ovanifrån enbart överförs genom vissa av kornen och att andra korn inte får utstå någon belastning alls. Lastfördelningen syns i figur 2-8. I figuren till höger har materialet packats mer än i figuren till vänster. Materialet är därför inte lika tjockt som tidigare och fler vertikala trycksträvor där belastningen tas emot av materialet har utvecklats. Detta leder till en mer hållbar konstruktion som inte efterpackas i någon större grad.



Figur 2-8 Lastöverföring i stenskelett (Huvstig, 2007)

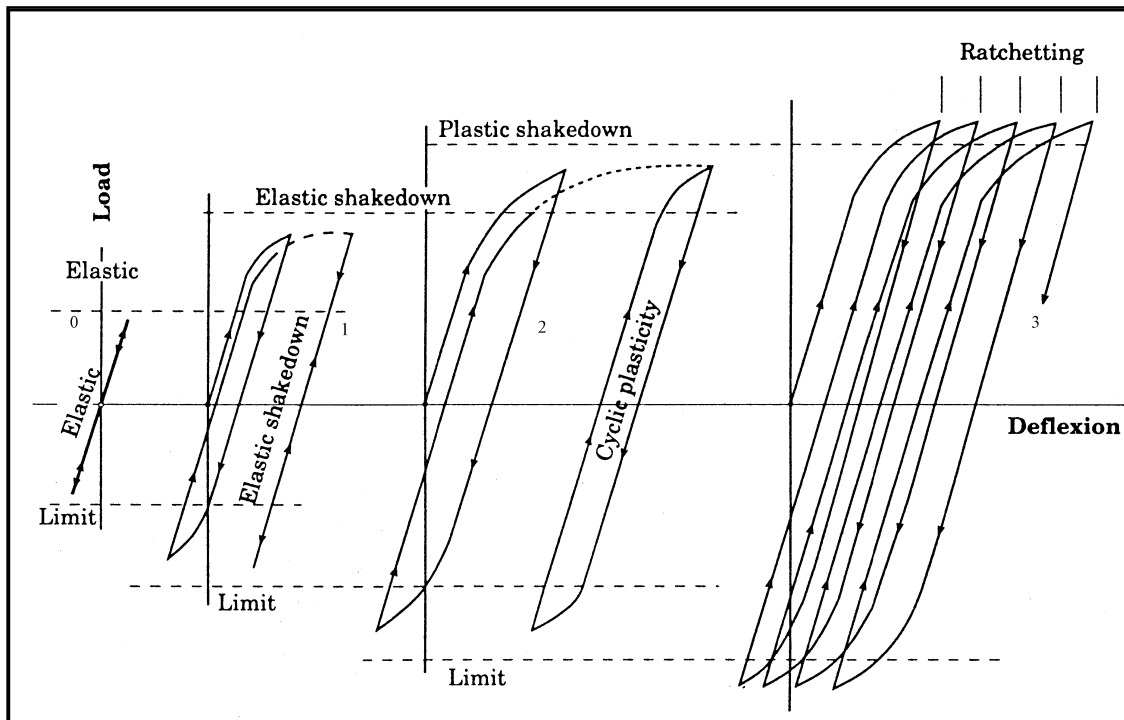
När krafterna i stenskelettet blir så stora att två korn gnids mot varandra, eller att korn deformeras överförs krafterna i nya kornkedjor där kontaktytorna mellan enskilda korn blir större (Huvstig, 2007). Därmed blir motståndet mot hoppresningen större och efterpackning av trafik orsakar inte skador på väggkroppen.

Genom att packa marken ordentligt under byggnationen förändras stenskelettet och deformationer som skulle ha uppstått senare kan förebyggas. Därför kan, på så sätt, uppkomsten av spår och ojämnheter i en väggkropp begränsas (Huvstig, 2007).

Shake-down konceptet

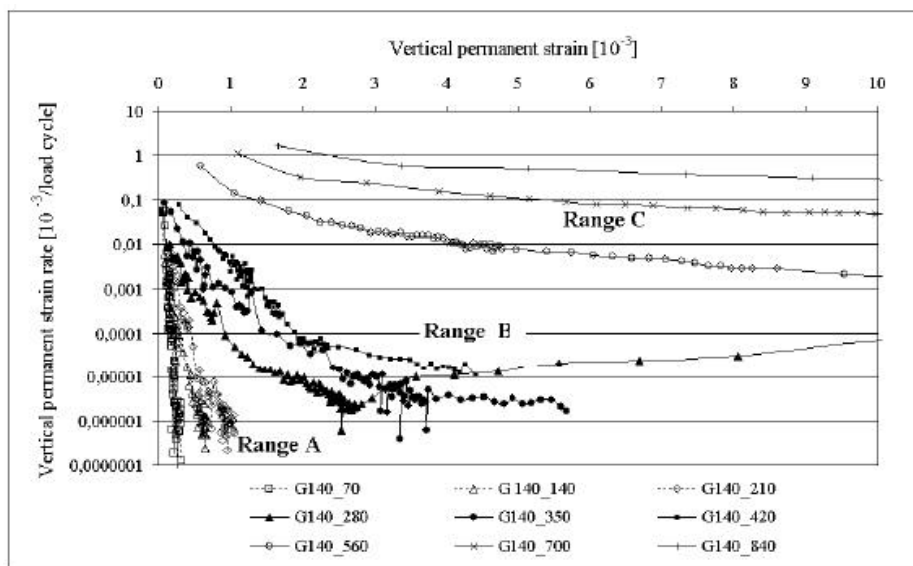
För att bestämma vägens möjligheter att ta upp spänningar finns en modell som efter upprepade belastningar delar in materialet i fyra kategorier (se Figur 2-9 nedan) efter materialbeteende (Werkmeister, 2003). Modellen kallas "Shake down konceptet" och bygger på undersökningar, gjorda av forskare, som visar att det obundna materialets beteende beror av vilken spänning som materialet utsätts för. Om spänningen överskrider en fastställd gräns där materialet ändrar beteende uppnår materialet "Shake down". Modellen baseras till stor del på triaxialförsök där upprepade försök med varierande spänningar kan simulera olika beteenden.

0. Helt elastisk, där den upprepade pålagda spänningen är tillräckligt liten för att inget element i materialet ska uppnå brottgränsen. Från första spänning-/dragpåkänning återhämtar sig materialet från deformation och är helt elastiskt.
1. Elastisk Shake down, där pålagd spänning är något mindre än den belastning som krävs för att uppnå plastisk Shake down. Materialet får plastisk respons för ett antal på- och avlastningar. Den maximala responsen är endast elastisk. Materialet sägs uppnå "Shake down" och den maximala spänningen där dessa förhållanden kan uppnås kallas "elastisk Shake down gräns".
2. Plastisk Shake down, där den pålagda, upprepade, spänningen är något mindre än det som krävs för att uppnå brotttillväxande permanenta töjningarna. Materialet uppnår ett långsiktigt stabilt beteende, ingen ytterligare tillväxt av permanenta töjningar sker. Detta tyder på att materialet tar upp en begränsad mängd energi under varje spännings-/töjningsanbringande. När stadiet där endast resilient respons uppnåtts, sägs än en gång "Shake down" uppnåtts. Den maximala spänningen vid detta tillstånd kallas "permanent Shake down gräns".
3. Tillväxande brott, där pålagd upprepad spänning är relativt stor. Spänningen förmår materialet nå och överskrida brottgränsen. De permanenta deformationerna, som ackumuleras kvickt, får materialet att gå till ett snabbt brott.



Figur 2-9 Materialbeteende vid shake down (Werkmeister, 2003)

Genom att använda en annan metod visar en grafisk visualisering tre olika töjningsbeteenden (Werkmeister 2003).



Figur 2-10 Töjningsbeteenden (Werkmeister, 2003)

Område A- Plastisk Shake down område

Responser inom detta område är plastisk för ett visst antal pålastningar. Efter denna kompression uppnår materialet ett tillstånd där endast resilienta och inga fler permanenta töjningar förekommer.

Område B- Plastisk respons

Efter den initierande perioden med stora permanenta deformationer, minskar töjningarna till en nästan konstant nivå. Antalet belastningar som behövs för att uppnå denna nivå är beroende av materialet och belastningsnivån. Tester visar ett tillstånd

med nästintill linjärt beteende upp till 100 000 belastningar (Werkmeister, 2003). Tester med ytterligare ökat antal belastningar visar på uppkomst av ytterligare permanenta deformationer.

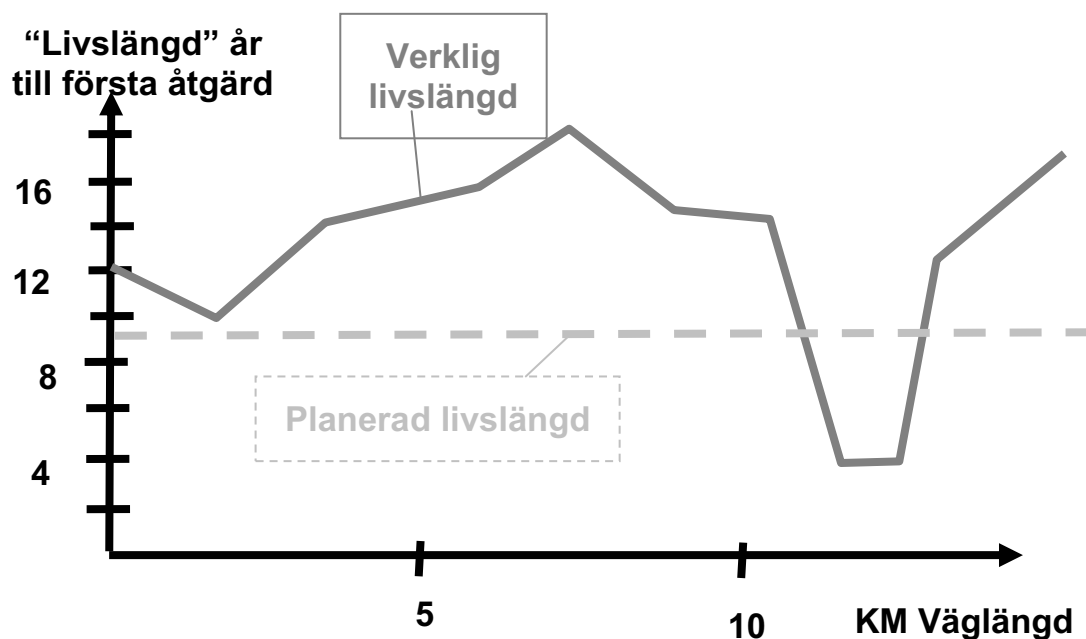
Område C- Tillväxande brott

Vid denna nivå är töjningarna alltid permanenta, varje ny belastning ger upphov till ökande antal permanenta töjningar.

3 Aktiv design

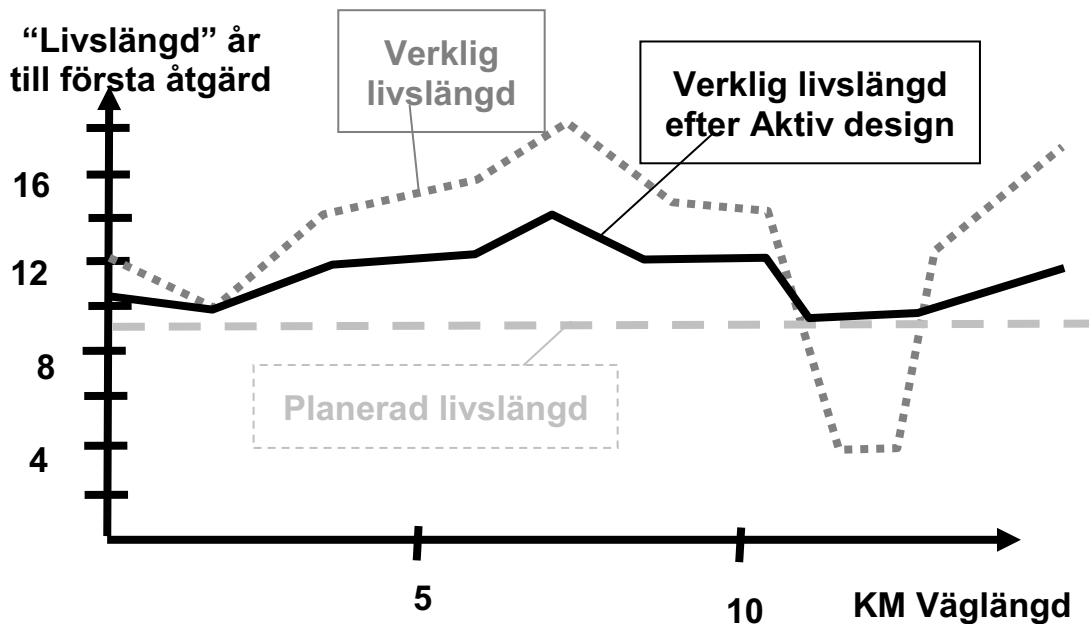
3.1 Teorin till Aktiv designprojektet

Aktiv design baseras på tanken att vägarna inte optimeras för sitt syfte och att pengar investeras på områden där det inte behövs. På områden med god bärighet genomförs lika mycket arbete som på områden med sämre förutsättningar vilket resulterar i en ojämn kvalitet och livslängd, se Figur 3-1. (Huvstig, 2007)



Figur 3-1 Livslängd hos färdig väg (Huvstig, 2007)

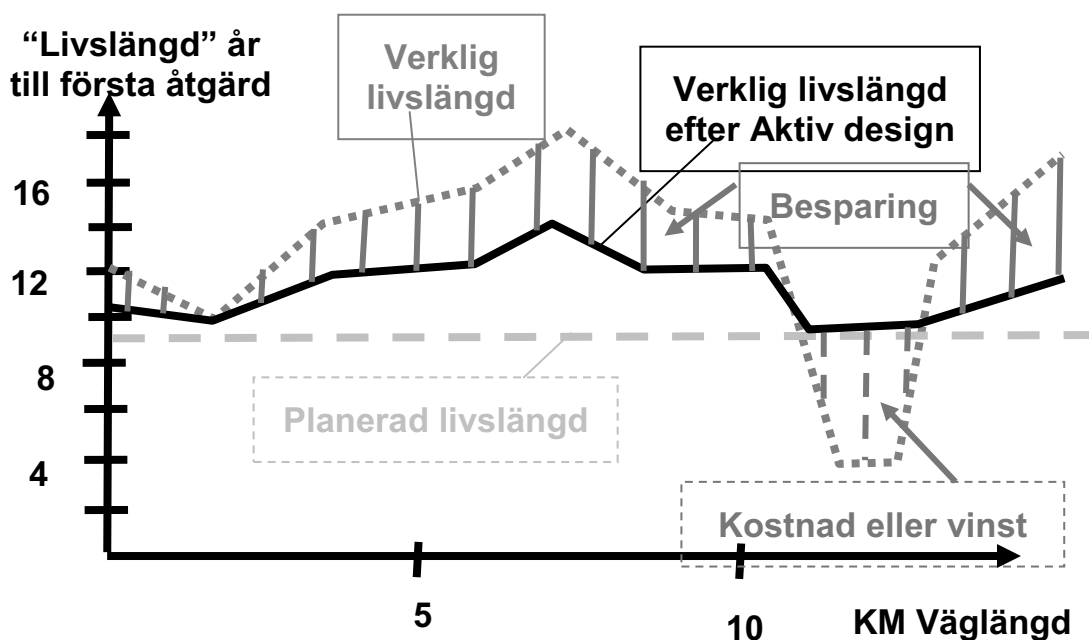
Aktiv design är tänkt att vara ett sätt att ta bort och omfördela kostnaderna för den kvalitet som finns på sträckor där det egentligen inte behövs. Fortsätter tabeller att användas som grund för slutgiltiga konstruktionen kommer stora belopp att gå skattebetalarna till spillo som istället kunde ha investerats i andra projekt eller till bättre underhåll av de vägar som finns. Med hjälp av bärighetskontroll och beräkning av framtida funktion skulle byggverksamheten kunna riktas till de områden som behöver extra åtgärder på arbetsplatsen och ge en jämn hög kvalitet överallt. Då skulle livslängden hos vägen istället kunna fås som den svarta linjen i Figur 3-2. (Huvstig, 2007)



Figur 3-2 Livslängd med Aktiv design (Huvstig, 2007)

För att kunna styra konstruktionsarbetet är det viktigt att använda mätmetoder som beskriver markens egenskaper för att i byggnationsskedet minska åtgärder som höjer livslängden på fel områden. Kontinuerliga kontroller av bärigheten under byggnationsstadiet skulle kunna användas som ingångsdata för beräkning av framtida funktion, på så sätt kan områden med åtgärdsbehov identifieras och pengar kan läggas på just de områdena.

På de sträckor som inte behöver lika mycket arbete som tidigare kan kostnader för arbetsutförande minskas. De områden som annars hade varit problemområden och behövt underhåll mer frekvent än resten av vägen kan ses som en kostnad under byggprocessen men framförallt en vinst ur framtida underhållssynpunkt, se Figur 3-3.



Figur 3-3 Kostnader under byggnation (Huvstig, 2007)

Om det finns ett sätt att prognostisera nedbrytningen hos en väg skulle ett incitament kunna utbetalas till entreprenören om vägens planerade livslängd höjs mer än förväntat och att underhållskostnaderna därmed sjunker. (Huvstig, 2007)

Idag finns tre modeller under utveckling som ännu inte kan användas till detta ändamål eftersom de är under utveckling och ännu inte tillräckligt användarvänliga för att tillämpas. Grundläggande information om de beräkningsmodeller som är under utveckling finns i Kapitel 3.2.

3.2 Beräkningsmodeller för framtida funktion

Tre olika försök till att finna metoder som kan användas för att beräkna framtida funktion beskrivs i korthet nedan, informationen är hämtad från ett tidigare examensarbete vid Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg 2007 skrivet av Björn Locke och Joel Loven. Ytterligare information om modellerna står att finna där.

3.2.1 LCPC

Metoden bygger på analys av cykliska triaxialförsök på obundna material. Hornyck utvecklade modellen för att modellera permanenta deformationer utifrån empiriska deformationssamband och beskriver variationen hos den permanenta axiella töjningen som funktion av antalet lastcykler och tillförd spänning vid respektive cykel. Modellen är utvecklad för lågt trafikerade vägar uppbyggda enligt följande:

- Bitumenbundet slitlager
- Bitumenbundet eller obundet bärlager
- Obundet förstärkningslager
- Terrass
- Undergrund

Modellen är under utveckling och tar för tillfället enbart hänsyn till permanenta deformationer i obundna lager. De bitumenbundna lagren antas vara linjärelastiska medan terrassen antas vara linjär- eller olinjärelastisk. (Locke, Loven, 2007)

3.2.2 Dresden

Dresdenmodellen är en plastisk modell som utvecklades av Sabine Werkmeister vid Dresdens Tekniska Universitet i Tyskland. Modellen använder sig av shakedownkonceptet beskrivet i Kapitel 2.4.4 och grundar sig på att det finns en kritisk spänning (shakedowngräns) för materialet. Vid belastningar ovan shakedowngränsen ökar den permanenta töjningstillväxten efter tillräckligt många pålastningar och under shakedowngränsen är materialet stabilt och töjningstillväxten avtar efter tillräckligt många pålastningar. (Locke, Loven, 2007)

3.2.3 Design Guide

I USA utvecklas Design Guide som bygger på en modell föreslagen av Tseng och Lytton. Modellen används för att i förväg bedöma när permanenta deformationer i obundna lager uppstår. I modellen får användaren inledningsvis ange parametrar för platsförhållandet (trafik, klimat mm) och konstruktionsförhållanden för att avslutningsvis köra en provdimensionering vars lämplighet utvärderas. Konstruktören kan då genomföra en mängd olika dimensioneringar och använda olika material beroende på platsförhållandena. Provdimensioneringen utvärderas sedan med avseende på huvudbelastningar och jämnhet. Klarar inte provet att nå de krav som är ställda få processen genomföras på nytt. Därför är konstruktören involverad i dimensioneringsprocessen och kan själv välja hur väggkroppen i slutändan skall se ut för att belastningsförhållandena för det specifika området inte skall utvecklas. (Locke, Loven, 2007)

3.3 Delprojekt inom Aktiv design

För att minska på onödigt extraarbete och lägga arbetet på de områden som verkligen behöver det finns flera områden att arbeta med. Det finns flera olika moment som kan utvecklas för att öka samarbete inom projekt, utveckling av nya konstruktionsmetoder och verkligen få fart på industrialiseringen av vägbranschen. Alla parter, beställare, entreprenörer och projektörer kan bidra till en förändring av minsta kravnivå mentaliteten inom branschen.

Det är framförallt de fyra olika delarna nämnda och beskriva nedan som tillsammans ligger till grund för utveckling och kostnadsminskningar i branschen.

- Försök till att skapa Vinna – Vinna situationer
- Utökad samverkan
- Förändra funktionskrav efter områdets förhållande
- Kunskap/kompetens

3.3.1 Vinna - vinna

Vinna – vinna konceptet syftar till att hitta arbetsformer där alla parter i ett bygge kan tjäna någonting på att konstruktionen blir billigare och att kvaliteten höjs. Idag används framförallt utförandeentreprenader, en modell som inte leder till strävan efter ökad kvalitet eller bidrar till en längre livslängd hos vägen. Vid utförandeentreprenad är kravnivåer ställda utifrån ATB VÄG, lyckas entreprenören då få bättre kvalitet på konstruktionen utgår ingen bonus och därför eftersträvar entreprenören inget mer än att nå kravnivån. Ett införande av incitament gör att entreprenörerna får ekonomiska vinstmål att kämpa mot. Incitament är tänkt att användas som morot för att få de olika parterna att arbeta vidare med nya smidiga lösningar på problem och på så sätt spara pengar eller höja kvaliteten, gärna både och.

En möjlighet kan vara att entreprenören i framtiden erhåller incitamentet och beställaren får mervärde hos konstruktionen. Därmed uppnås en vinna - vinna situation, genom en förlängd livslängd på den beställda vägen. Längre fram kan

villkoren se annorlunda ut för att öka strävan och uppmuntra till fortsatt utveckling hos entreprenör, beställare och även projektör. Då finns möjligheten att använda sig av en procentuell fördelning av vinst eller förlust eftersom inblandningen i projektet från de olika parterna är olika stor, detta kommer även leda till att projektören blir mer aktiv på byggarbetsplatsen med nya ritningar och dylikt för att effektivisera ytterligare.

Tillvägagångssättet vid entreprenader är viktigt för att alla parter skall få möjlighet till extra intäkter. Innan arbetet startar genomförs en överenskommelse mellan aktörerna om de krav som gäller, till exempel att beläggningstjockleken kan minskas om tillräcklig bärighet uppnås. Även förändringar av krav ställda i ATB väg 2005 kan avgöras beroende på områdets egenskaper, till exempel kan största stenstorlek som används i förstärkningslagret ändras.

När nya kravgränser införs medför det att entreprenören tar ekonomiska risker vid utförandet av följande sysslor:

- Extra arbetsinsatser
- Extra material- och bärighetsprov
- Förändrad massdisponering
- Ökad packningsinsats

För att få en vinna - vinna situation finns det olika sätt för att minska eventuella förluster hos båda parter. Beställaren vill inte betala ut för stora incitament när entreprenören inte fått så stora merkostnader och entreprenören vill i sin tur inte genomföra insatser som inte genererar ökade intäkter. Vinster uppkommer genom undvikande av överkvalitet eller underkvalitet, vilket leder till längre livslängd för konstruktionen.

Efter en inledande utvärdering av riskerna och skillnaderna mellan förväntad merkostnad och minskad asfaltinköpskostnad är klar kan storleken på incitamentet klarläggas. Genomför entreprenören extra insatser men ändå inte når kravet för att minska beläggningstjockleken är det entreprenören som själv får stå för sina omkostnader. Men lyckas entreprenören nå kravgränserna och belönas med incitamentet, betyder det att beställaren fått en färdig väg med bättre framtida funktion och båda parter vinner på upplägget.

Olika upplägg kan användas för att minimera de ekonomiska riskerna men ändå sträva efter att få bättre tillverkningsteknik och kvalitet:

- En preliminär överenskommelse i det inledande byggskedet kan vara lämplig om de projekterade förutsättningarna som legat till grund för incitamentet inte visar sig vara jämförbara med verkligheten. Omförhandlingar kan då ske under arbetets gång när entreprenören eller beställaren ser att kvalitetsförbättringar är genomförbara och klargöra rikt kostnader för det extra arbete som väntas krävas för att uppnå god kvalitet.
- Det finns möjlighet att skriva avtal som behandlar situationer då kostnaden för produktionen är mindre än riktköpriset och aktörerna delar på mellanskillnaden.

Det gäller också när förhållandet blir det motsatta, då delar entreprenör och beställare på förlusten. Denna form gör att båda parterna strävar efter att finna billigare tillverkningsätt och lösningar för att tjäna pengar.

För att försöka få entreprenörerna att utvecklas kan funktionsentreprenader användas, då får entreprenören ansvara för utformning av vägen och även drift och underhåll under 7-30 år (Huvstig, 2007). Än så länge finns inte tillräckligt avancerade mätmetoder för att utvärdera vägkonstruktionen, Vilket gör att restvärdet på konstruktionen vid överlämnande till Vägverket inte kan beräknas. För att kunna utvärdera restvärdet behöver modellerna, beskrivna i Kapitel 3.2 färdigställas och göras användarvänliga. Med en fungerande modell kan omfattningen av och kostnaden för framtida underhållsåtgärder beräknas, skillnaden i beräknade underhållskostnader kan på så sätt leda till ett incitament för den kvalitet som entreprenören efterlämnar efter drift- och underhållsperioden.

Ett projekt som arbetar enligt vinna – vinna konceptet genererar flera fördelar:

Fördelar för beställaren:

- Bättre kvalitet till låg kostnad
- Mindre underhållskostnader
- Förbättrad LCC (Life Cycle Cost)

Fördelar för entreprenören

- Bonus för högre kvalitet
- Goodwill
- Utveckling

3.3.2 Utökad samverkan

Anläggningsbranschen i Sverige lider av problem som påverkar branschens anseende negativt. Projekt med överskriden budget, försenat färdigställande samt med bristande kvalitet leder till att entreprenörer och projektörer blir utan vinster. Vinstbortfallet är i många fall kopplade till ett för stort risktagande. För att istället få ett väl fungerande projekt krävs samarbete, samarbete är ansträngande och fordrar mycket arbete för att möjliggöras. Samarbete är bakgrunden till att Förnyelse I Anläggningsbranschen (FIA) med hjälp av några större företag i branschen (Banverket, Vägverket, Skanska, NCC, PEAB och ELU) startat ett projekt. Projektets mål är att utveckla och förbättra samverkan mellan parter i anläggningsprojekt. (Jäderholm, 2006)

Utökad samverkan ökar möjligheten till att hålla tidsplaner, öka effektiviteten, hålla god kvalitet och i slutändan reducera kostnaderna. Arbetar hela arbetsplatsen mot dessa mål kommer det att resultera i fördelar för alla parterna i projektet eftersom det leder till minskade konflikter, nöjdare kunder och minimerad miljöpåverkan.

En annan positiv effekt kan vara att nya idéer delges som i andra fall inte kunnat implementeras i projekten på grund av prestige hos de olika parterna.

Är arbetsklimatet istället öppet ges möjlighet till annorlunda tankar som kan utveckla branschen. (Huvstig, 2007)

Projektet som FIA driver bygger på att vissa nivåer av samverkan kan uppnås, vilken nivå på samarbete som väljs beror på entreprenadens storlek. De tre olika nivåerna beskrivs nedan.

Obligatorisk nivå

På denna nivå etableras en struktur som är användbar i olika typer av entreprenader och projekteringsuppdrag. De obligatoriska momenten har för avsikt att stödja förtroendeuppbyggnad och arbetsmotivation samt förebygga konflikter mellan aktörerna i ett byggprojekt. En processledare ska finnas, denne kan vara anställd hos någon part eller vara en inhyrd resurs. Vikt bör läggas vid att denna person är lämpad för uppgiften.

Valbar nivå

Denna nivå tillför ytterligare struktur till projektet och är avsedd att användas till komplicerade och större entreprenader eller projektuppdrag. Komplicerade projekt/entreprenader kan exempelvis vara:

- Väg- och järnvägsbyggande i tätbebyggda områden
- Väg- och järnvägsbyggande i områden där särskilda miljöhänsyn behöver tas
- Projektering och genomförande av entreprenader med ingenjörsgelogiska förutsättningar som medför svårigheter att styra produktionskostnaderna
- Ombyggnad av vägar eller järnvägar där stor oklarhet råder om egenskaper (exempelvis graden av föroreningar) hos den befintliga vägkroppen
- Drift- och underhållsentreprenader

Strategisk nivå

På denna nivå kan de största besparingarna förverkligas. Nu ska väl fungerande team öppna för möjligheter att via optionsförfaranden driva flera liknande uppdrag i följd. Besparingar finns att göra både i upphandlingsskedet, genom att beställaren slipper en upphandlingsomgång och leverantören sin anbudsräkning, och i utförandet av projektet.

Målet med projektet är att kunna kombinera utökad samverkan i samtliga förekommande entreprenad-, ersättnings- och upphandlingsformer med gällande regelverk. Basen för alla samarbetsformer är fortfarande de allmänna bestämmelserna (AB, ABT och ABK) som måste tillämpas utan undantag. Utöver de allmänna bestämmelserna tillämpas redan idag en långtgående samverkan mellan parterna. Tanken finns redan i branschen vilket banar för goda förutsättningar till utveckling. Oberoende av projektens förutsättningar och mål så är det fortfarande människor som samverkar vilket gör att möjligheterna till utökad samverkan kan te sig olika i teori och praktik. Det är upp till personerna att skapa förtroende för varandra och på så sätt utveckla strukturer för hållbara samarbeten. (FIA, 2006)

Chaos

För att effektivisera bygget skall information skapad under projektering användas i produktionen och vid drift. Det är då viktigt att all relevant information finns sparad digitalt så att berörda parter enkelt kan komma åt den. Vägverket har satt upp mål för att konsekvent använda modern informationsteknik för att effektivisera administration, projektering, byggande och drift och slutligen kostnaderna för dessa parter. Samtliga dokument framtagna för Vägverkets räkning skall göras tillgängliga för att ge effektivitetsvinster.

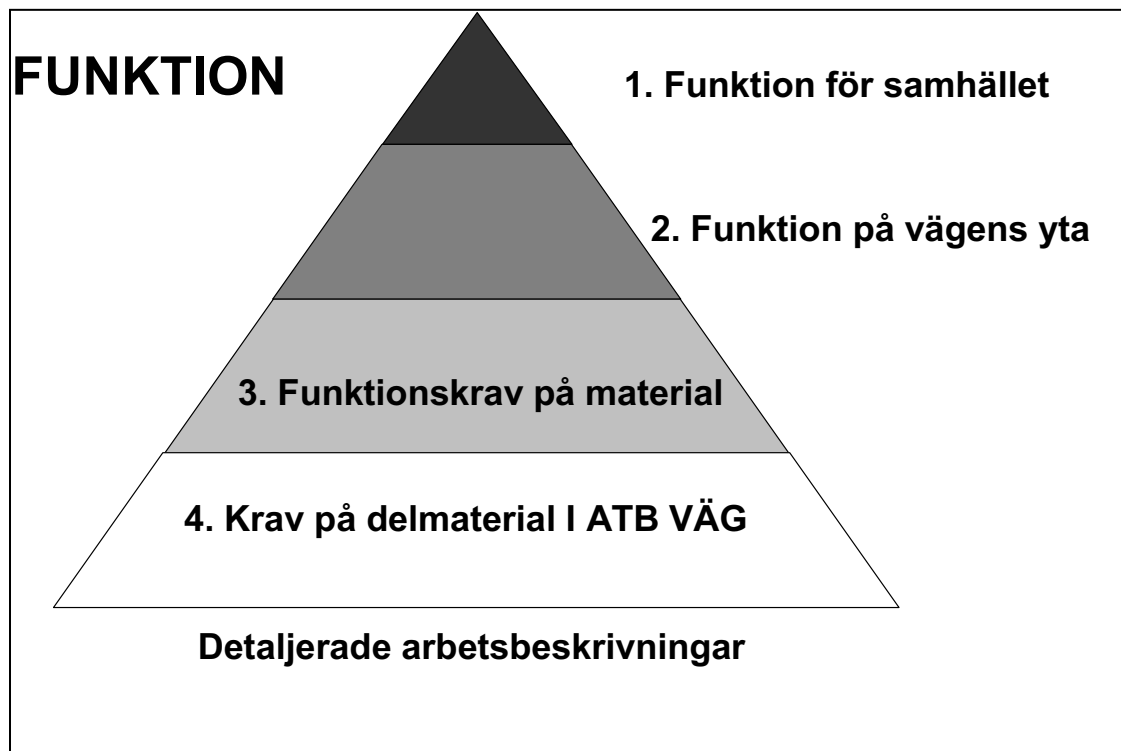
Chaos är ett system där dokument och ritningar som beskriver ett projekt görs lättåtkomliga i en databas. Alla typer av projekt kan använda sig av Chaos. Vid byggnation används det framförallt för att snabba på kommunikationen mellan projektör och entreprenör, när bland annat ritningar revideras. Chaos hanterar mängder av filer men skiljer på ritningsmodeller, definitioner och ritningar. Systemet är också uppbyggt så att man kan se vilken version av filen som är den senaste, och metadata beskriver också innehållet i filen. För att kvalitetssäkra informationen från Chaos arbetar databasen med en händelselogg och en versionshanterare.

För att enkelt kunna hitta sin information i projektdatabasen lagras informationen i en SQL (structured query language)-databas. Det gör det möjligt att söka på metadata, filnamn, händelser, mm. Det finns också möjlighet att använda sig av databasen via internet. (CHAOS, 2007)

3.3.3 Funktionskrav

För att utveckla dimensioneringsprocessen introducerades PMS Objekt för att beräkna spänningar och töjningar hos olika lager i väggkroppen. På så sätt finns det möjlighet att dimensionera lagertjocklekar hos de ingående materialen. Tidigare har vägens tjocklek och uppbyggnad varit beroende på tabellvärden utifrån material i undergrunden, tjälförhållande och trafikmängd. PMS Objekt använder samma tabeller som tidigare för att plocka fram fiktiva standardvärden för material som används till att beräkna spänningar och töjningar i väggkroppen. Därför kan modellen inte ta hänsyn till användning av nya material vid konstruktioner.

För utvecklingen är det viktigaste att användningen av metoder för att beräkna framtida funktion hos väggkroppen men även hur den påverkar samhället omkring som använder vägen. Krav på funktionen hos vägen kan ställas i 4 olika nivåer beroende på inblandning av utomstående faktorer, se Figur 3-4.



Figur 3-4 Funktionsstegen (Huvstig, 2007)

Indelningen i Figur 3-4 beror på hur noggrann kartläggningen av vägens egenskaper och påverkan på omgivningen skall vara. En kort beskrivning av innebörden i varje punkt beskrivs nedan.

1. Krav på vägens funktion, ur samhällsaspekt, och möjligheten för brukare att använda den. Just denna funktion är svår att mäta.
2. Krav på färdiga konstruktionen beträffande till exempel antalet underhållstillfällen för åtgärder av problem med vägens yta. Detta kan uppskattas genom mätning av spår- och sprickbildning, jämnhet, tvärfall, friktion och buller. Modeller för framtida funktion är viktiga för att värdera utförandet utifrån mätresultat.
3. Krav ställs på de ingående materialen och dess mätbara parametrar i vägkroppen. För att undersöka detta behöver kontrollmetoder för att samla data till simuleringsmodeller för att mäta framtida egenskaper hos vägkroppen.
4. Kontroller genomförs genom materialprov, resultaten jämförs med värden bestämda utifrån erfarenheter om materialets egenskaper i ATB VÄG för att bli godkända.

Idag används laborietest för att kontrollera funktionskrav på ingående material (nivå 3). Ställer beställaren krav enligt nivå 1 till 2 i Figur 3-4 bör det finnas simuleringsmodeller som de nämnda i Kapitel 3.2. Metoderna skall vara anpassade efter de testmetoder som finns idag för att möjliggöra beräkningar av den framtida funktionen vid överlämnande av vägen.

Vill beställaren i upphandlingsfasen värdera den framtida funktionen vid olika entreprenörers konstruktionsförslag och levererad kvalitet måste det finnas en specifik

simuleringsmodell för att kunna jämföra olika entreprenörers livscykelkostnader. Det är då viktigt att använda sig av standardiserade modeller för utvärdering av materialparametrar. (Husvåg, 2007)

3.3.4 Kunskap/Kompetens - LCC

Vägbranschen har haft problem med kvalitet som bland annat kan hänföras till tanken där entreprenören bygger med den så kallade minsta krav mentaliteten, vilket resulterar i vägar som endast når upp till de krav och normer som finns uppsatta av Vägverket. Genom att uppnå krav och normer uppfylls entreprenörens del av avtalat arbete, men utrymme finns då för att med små insatser förbättra vägstandarden. Mentaliteten kan vara förståelig då entreprenören naturligtvis har krav på vinst men för branschen ger den till största del negativa effekter.

Andra orsaker till bristande kvalitet kan vara otillräckligt engagemang i produktionsleden. För att motverka sådana tendenser kan till exempel incitament i bonusform utarbetas för arbetsledare. Genom att även ge personalen mer ansvar kan ge en ökad motivation att utföra arbetsuppgifter på ett bättre sätt, vilket i sin tur gynnar kvaliteten.

Genom att förbättra kunskap och kompetens om hur material fungerar och vilka möjligheter till förbättring av arbetssättet som kan tillämpas, hoppas man kunna råda bot på delar av problemet. Genom att införa en ökad kunskap och förståelse för vägens nedbrytning kan vägbyggen effektiviseras med höjd kvalitet som resultat, bland annat med hjälp av Aktiv design. En minskad kostnad kan då ge möjlighet för beställaren att avsätta incitament till utföraren. På så sätt kan utföraren motiveras till att tillgodogöra sig den kompetens som behövs för att höja kvaliteten till nivåer som lämnar ett mervärde för beställaren.

Projektet LCC (Life Cycle Cost) grundar sig på de höga kostnader väghållare har och det eventuella utrymnet för att effektivisera proceduren vid projektering och byggnation och därmed även minska underhållskostnaderna. Beräkning av livscykelkostnad för ett projekt kräver att den framtida funktionen kan förutsägas, framtida utveckling av spårbildning, sprickor, friktion mm måste även kunna beräknas. Genom att utföra försök med statisk plattbelastning eller tungfallvikt kan värden för markens bärighet bestämmas, men för att kunna förutsäga framtida funktion krävs även tillförlitliga och beprövade modeller. Beräknade värden kan sedan användas i lämpligt datorprogram (till exempel PMS-objekt). Dessa försök och beräkningar förutsätter att en viss kunskap och kompetens är tillgänglig. Förutsättningar för ovan nämnda förändringar är att entreprenören kan vara säker på att han får betalt för de extra åtgärder som han behövt vidta för att höja kompetensen. Beställaren behöver även känna sig säker på att de extrautgifter som det innebär att betala entreprenören verkligen ger de mervärden som kalkylerats. (Husvåg, 2007)

3.4 Ersättningsmodeller med incitament

Incitamentet är tänkt som ett medel för att snabba på utvecklingen i branschen. Införande av incitament i ett projekt leder till att önskan om större samverkan mellan parterna ökar, lösningar på problem skall på så sätt lösas enklare och snabbare eftersom parterna arbetar mot samma mål.

Eftersom det idag inte finns färdiga modeller för att beräkna nedbrytningen är det svårt att sätta incitament beroende på framtida funktion. Däremot finns det möjlighet att ge entreprenören ett incitament i samma storlek som en eventuell kostnadsbesparing.

Det kan också vara så att resultaten från bärighetskontroll kan ligga till grund för minskad spårbildning, vilket då skulle det kunna bli incitamentsgrundande. I framtiden finns det dock möjlighet att ge incitament beroende på beräknad framtida funktion och det är först då som branschen kommer att utvecklas. Då kan till exempel en beräknad minskning av livscykelkostnaden ligga till grund för ett incitament.

Det finns flera olika sorters system för att få igång ett incitamentssystem inom projektet, men det beror på entreprenadens ersättningsmodell, dessa beskrivs närmare i Kapitel 2.3.

3.4.1 Fast pris med incitament

Innan arbetet har påbörjats har parterna kommit överens om en totalsumma för genomförande av projektet. Entreprenören kan då ha angivit ersättning för vissa delar av kontraktarbetena eller satt å-priser utifrån de kvantiteter som skall flyttas i mängdförteckningen.

Vid den här typen av entreprenad finns det möjlighet att kombinera fast pris och incitament. Incitament kan då tilldelas om entreprenören uppnår en högre kvalitet, eller att vinsten för tekniska lösningar eller produktionsmetoder som minskar totala produktionskostnaden delas mellan parterna.

3.4.2 Löpande räkning med incitament

Entreprenören redovisar sina självkostnader för beställaren som undan för undan betalar entreprenören då uppgiften är fullgjord med bästa tekniska och ekonomiska resultat. Det går även att sätta ett tak vid användande av löpande räkning, varpå entreprenören får en bonus om bygget blir billigare än vad taket anger.

3.4.3 Riktkostnad med incitament

Incitamentet är vanligen uppbyggt enligt en procentfördelning mellan parterna. Om de verkliga kostnaderna understiger riktkostnaden delar beställaren, entreprenören och projektören på mellanskillnaden enligt den i förväg överenskomna procentsatsen. Överstiger konstruktionskostnaderna riktkostnaden delar parterna på samma sätt upp betalningen för den extra utgiften. Huvudtanken med ersättningsformen är att blanda in alla parter i chansen att belönas med ett incitament för att alla kostnadseffektiva lösningar skall sökas efter i hela byggnadskedjan (FIA 2006).

4 Tillståndbedömning av bärighet

4.1 Kontrollmetoder

Under arbetet med vägens obundna lageruppbyggnad genomförs flera kontrollprov på varje lager för att mäta markens bärighet innan nästa lager läggs till konstruktionen. Bärigheten är den högsta last som accepteras en enstaka gång eller som flera ackumulerade laster, kontrollen genomförs för att kunna minimera uppkomst av sprickor eller deformationer av väggroppens bundna lager.

Idag används flera olika sorters kontroller för att klargöra att rätt material används vid byggnation till exempel kornkurva eller triaxialförsök, men för att kontrollera den slutgiltiga produkten genomförs prover i fält. För att kontrollera bärighet används idag:

- Statisk plattbelastning, SPB
- Tung fallvikt, FWD
- Yttäckande packningskontroll, YPK

Idag växer yttäckande packningskontroll fram som ny digital kontrollmetod där antalet överfarter och bärighetsvärde registreras kontinuerlig över hela vägytan för att det sedan snabbt skall kunna läggas nya lager istället för att vänta på personal med plattbelastningsutrustning.

Men allmänt bruk är idag att kontrollen genomförs med SPB eftersom det är den vedertagna metoden i ATB väg.

4.2 Statisk plattbelastning

Statisk plattbelastning är ett krav när bärighetskontroll skall genomföras på obundna lager vid vägkonstruktioner. (ATB VÄG, 2005)

Metoden har använts länge i Tyskland, Schweiz, Österrike och introducerades som krav för terrassytor och obundna överbyggnadslager i Sverige när VÄG 94 infördes. SPB utförs för att fastställa vägbyggnadens deformationsmodul och packningskvot.

Statisk plattbelastning kontrolleras enligt VVMB 606 "Bestämning av egenskaper med statisk plattbelastning" på material med största stenstorlek (D98) $0 \leq 125$ mm.

Provet sker i två belastningscykler en cirkulär platta med en diameter på 30 cm belastas med sju olika spänningar σ , 0,08 - 0,16 - 0,24 - 0,32 - 0,40 - 0,45 - 0,5 MPa. Försöket är tidsberoende där de inledande två stegen pågår i 2 minuter vardera medan de följande belastningsstegen sker med 1 minuts mellanrum. Efter att ha fullbelastat plattan släpps långsamt trycket på plattan upp för att påbörja den andra cykeln. Vid varje belastningssteg registreras deformationen av marken genom att läsa av deflektionsmätaren som förts in i belastningsplattan, se Figur 4-1.



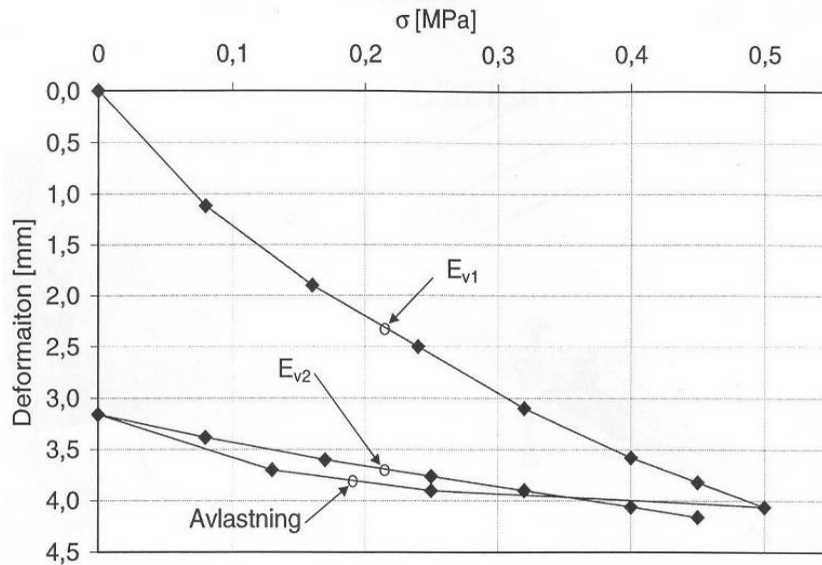
Figur 4-1 Plattbelastningsutrustning med deformationsmätare (Rosengren, Senohradski, 2007)

Förutsättning för att kontrollen skall vara giltig och vilken utrustning som skall ingå vid testerna beskrivs nedan:

- Belastningsmothåll som är 4,5 ton större än den för försöket nödvändiga högsta provlasten. Lämpligt mothåll är en lastbil, traktor eller motsvarande
- Belastningsutrustning bestående av lastplatta, tryckutrustning med oljepump, hydraulpress och högtrycksslang
- Anordning för kraftmätning och mätning av sättningen under belastningsplattan lodrätt på den belastade ytan
- Dator eller fickräknare med program för utjämningsberäkning

(VVMB 606, 1993)

Med insamlad data från belastningscyklerna kan deformationsmoduler E_{V1} och E_{V2} beräknas genom att plotta deformationen (ϵ) mot spänningsökningen (σ), se Figur 4-2.



Figur 4-2 Deformation under statisk plattbelastning (Huvstig, 2007)

Ur första belastningscykeln fås den plastiska deformationen E_{V1} , E_{V2} kommer från den andra cykeln då elastisk deformation uppkommer.

Första och andra belastningscykelns värden registreras var för sig och elasticitetsmodulerna beräknas genom att trycksättningslinjen görs om till ett andragradspolynom och parametrarna analyseras enligt ekvation 4.1 nedan.

$$S = a_0 + a_1 \cdot \sigma_0 + a_2 \cdot \sigma_0^2 \quad (4.1)$$

där:

S = Nedböjningen under belastningsplattans centrum [mm]

a_0, a_1, a_2 = Konstanter som bestäms enligt minsta kvadratmetoden

σ_0 = Medelnormalspänning under plattan [MPa]

E_V beräknas sedan genom ekvation 4.2:

$$E_V = \frac{1,5 \cdot r}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{1\max}} \quad (4.2)$$

där:

$\sigma_{1\max}$ = Maximal medelnormalspänning vid första provcykeln, vanligtvis 0,5 MPa

r = Belastningsplattans radie [mm]

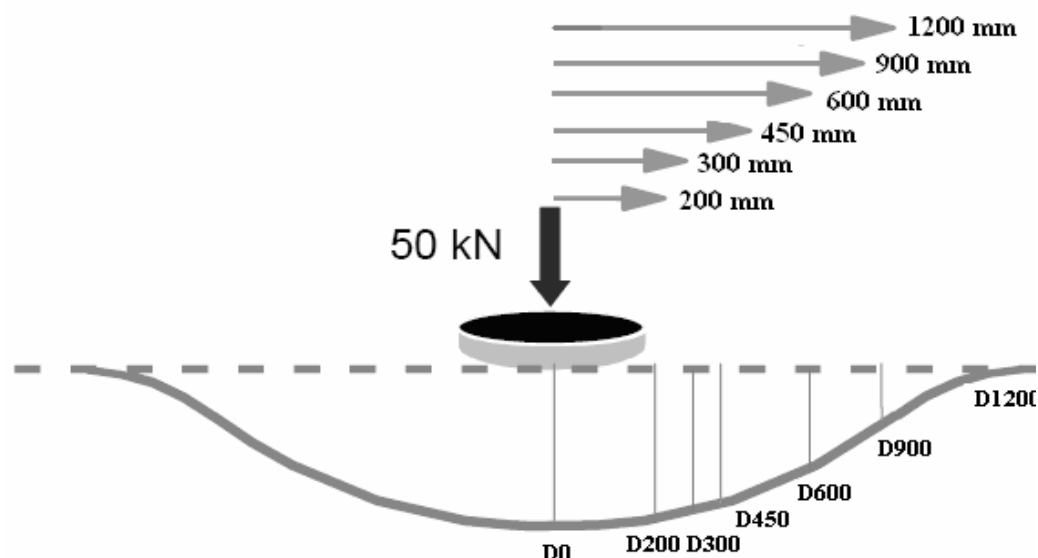
Bärighetskvoten (E_{V2}/E_{V1}) kan används som indikation på hur väl packat materialet är. Hög kvot innebär att materialet är dåligt packat. (VVMV 606, 1993)

4.3 Tung fallvikt

Fallvikten simulerar en överfart av ett tungt fordon och registrerar då deformationen i marken på olika avstånd som sker till följd av detta.

Fallvikten är en dynamisk metod med en vikt som släpps ned på ett fjädersystem monterat på en, med storleken 30 cm i diameter, belastningsplatta bestående av fyra olika delar. Plattan är fyrdelad för att fallviktsprov skall kunna genomföras på lutande mark. Belastningsplattan överför kraften från vikten som släpps ned till marken. Pålastningstiden skall till 95 % bestå av stillaliggande tyngd och resterande del till nedslag, normalt brukar varje belastning ta ca 30 ms

Kraften som tillförs marken beror av fyra olika saker, viktens massa, fjädersystemets egenskaper, fallhöjden samt väggkroppens styvhet. Obundna lager tunnare än 10 cm slås ihop med angränsande obundna lager därför ses förstärkningslager och bärlager oftast som ett enda lager. Deflektionen mäts av sensorer placerade i mittpunkten av belastningsplattan och 200, 300, 450, 600, 900 samt 1200 mm från centrumet, se exempel i Figur 4-3. (VVMB 112, 1998)



Figur 4-3 Modell på tung fallvikt (VVMB 112, 1998)

Deformationen under fallvikten är beroende av de underliggande lagrens styvhet, tjocklek och hur de samverkar med varandra. Då deformationens storlek beror på pålastningens kraft kan elasticitetsegenskaper för materialet bestämmas. Vid beräkningar antas underlaget bestå av ett homogent, isotropt, linjärelastiskt lager där styvhetsmodulen går att beräkna beroende på djupet. Resultatet från fallviktsförsöket används till att beräkna yt- och medelmoduler med Formel 4.3 respektive 4.4 nedan.

Ytmodulen ger ett mått på överytans styvhet.

$$E_0 = \frac{1000 \cdot f \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot a}{D_0} \quad (4.3)$$

D_0 = deflektion [µm] inunder belastningsplattan

E_0	= Modul [MPa] under belastningsplattan
f	= 2 för segmenterad platta
σ_0	= Kontakttryck under belastningsplattan [kN]
ν	= Tvärkontraktionstal [-]
a	= Belastningsplattans radie [mm], vanligtvis 150 mm

Undergrundsmodulen ger ett mått på undergrundens styvhet

$$E_v = \frac{1000 \cdot \sigma_0 \cdot a^2 \cdot (1 - \nu^2)}{D_r \cdot r} \quad (4.4)$$

E_v	= Medelmodul [MPa] på ekvivalent djup motsvarande
r	= Avstånd från deflektionsmätare och belastningscentrum [mm]
D_r	= Deflektion [μ m] på avståndet r från belastningscentrum

(VVMB 114, 2000)

Genom att sedan plotta yt- och medelmoduler mot radien (ekvivalent djup) kan en uppfattning om konstruktionens styvhet på olika nivåer evalueras. Detta ger möjlighet att ur fallviktsförsöket få fram olika moduler beroende på djup.

4.4 Yttäckande packningskontroll

4.4.1 Vältmätarvärde

Vältar utrustas idag med packningsmätare vilket gör en heltäckande kartläggning och dokumentation av packningen enkel att utföra, genom att överfart och vältmätarvärde (VMV) registreras till en enskild punkt med hjälp av en GPS. Välten påverkar jorden genom vibrering av välttrumman vilket gör att materialet packas samman och blir hårdare, detta ökar VMV. När mycket god packning av en yta uppnåtts kan dubbelslag förekomma, detta uppstår då vibrationssvängningarna kommer i otakt och välten börjar vibrera med högre amplitud och lägre frekvens, välten studsar fram och slår i marken. Detta är inte bra för packningen eftersom materialet kan uppluckras och krossas, då registreras även felaktiga värden som visas genom en sänkning av VMV jämfört med tidigare överfart.

Packningsverkan beror också på hastigheten, framförallt då lagertjockleken är stor. Är hastigheten för hög måste fler överfarter utföras för att uppnå samma packningsgrad som annars kan uppnås med den optimala hastigheten, mellan 3-5 km/h. (Forssblad, 2000)

Idag används två olika metoder, CDS-mätning som är en äldre metod och yttäckande packningskontroll som nyligen börjat användas. Används någon av metoderna på arbetsplatsen minskar antalet punkter inom ett kontrollobjekt som behöver undersökas.

CDS-mätningen använder sig av vertikalaccelerationen hos vältvalsen och genererar på så sätt ett värde som lagras i en databas. Kontrolleras sedan värdena kan ett område med sämre bärighet lokaliseras för att kontrollera det med SPB.

Vid YPK används VMV av vältmaskinisten som kontinuerligt kan kontrollera packningsarbetet och se om tillräckligt god kvalitet uppnås. All information lagras i en dator i välten och programmen som används visar på en skärm i hytten, genom färgkodning, att rätt VMV uppnåtts och att rätt antal överfarter utförts.

För att använda YPK behöver välten hos en del fabriker kalibreras beroende på underlagstyp med en kontrollmetod till exempel statisk plattbelastning. Detta betyder att välten behöver kalibreras om då nya förutsättningar uppkommer till exempel ett nytt material eller lager skall vältas eller att ändrade grundläggningsförhållanden råder. Kalibreringen har krav på sig för att vara godkänd, kraven följer nedan.

- Minst tre delytor med olika packningsgrad ska vältas
- Minst tre punkter på varje delyta ska registreras
- En regressionsanalys för minst nio värden från samtliga delytor som ger en korrelationskoefficient $R > 0.6$ (VVMB 603, 1994)

Av detta framgår att korrelationskoefficienten är låg vilket betyder att tryggheten i registrerade värden inuti välten inte är så stor. Därför krävs någon av de andra två mer beprövade och tillförlitliga metoderna användas för att bestämma och slutligen kontrollera bärigheten.

Med kalibreringen som utgångspunkt kan indikationer fås om vad kontrollen med statisk plattbelastning kommer att ge för resultat och lägga upp vältandet efter detta. Detta leder till att vältarbetet kan effektiviseras, och pengar sparas på maskiner som annars hade stått stillastående i väntan på kontroll med SPB.

4.4.2 Vältens funktion

Välten påverkar marken olika beroende på vilken vikt som ligger an på undergrunden och hur vikten rör sig relativt välten såväl som marken. Det finns statisk och dynamisk belastning, den dynamiska sker då valsen antingen vibrerar eller oscillerar. Detta sätter marken i rörelse och packar ihop kornen, detta leder till ökad densitet och hållfasthet enligt Kapitel 2.4.3 ovan. Maskinisten har möjlighet att påverka hur välten skall agera optimalt beroende på markförhållandena, en ökning eller minskning av kompaktionsenergin från valsen justeras genom inställning av amplitud, frekvens och överfartshastighet (Camargo, Larsen, Chadbourn, Roberson, Siekmeier, 2006).

Vibrerande vältar är utrustade med roterande excentervikter inuti valsen för att åstadkomma vibrationer. Excentervikten roterar med en vibrationsfrekvens på 20 – 40 Hz och ger valsen en vibrationsamplitud på 0,5 – 2,0 mm. Amplituden bestäms av vikter inuti valsen som ger olika amplitud tillika kompaktionsenergi beroende på hur

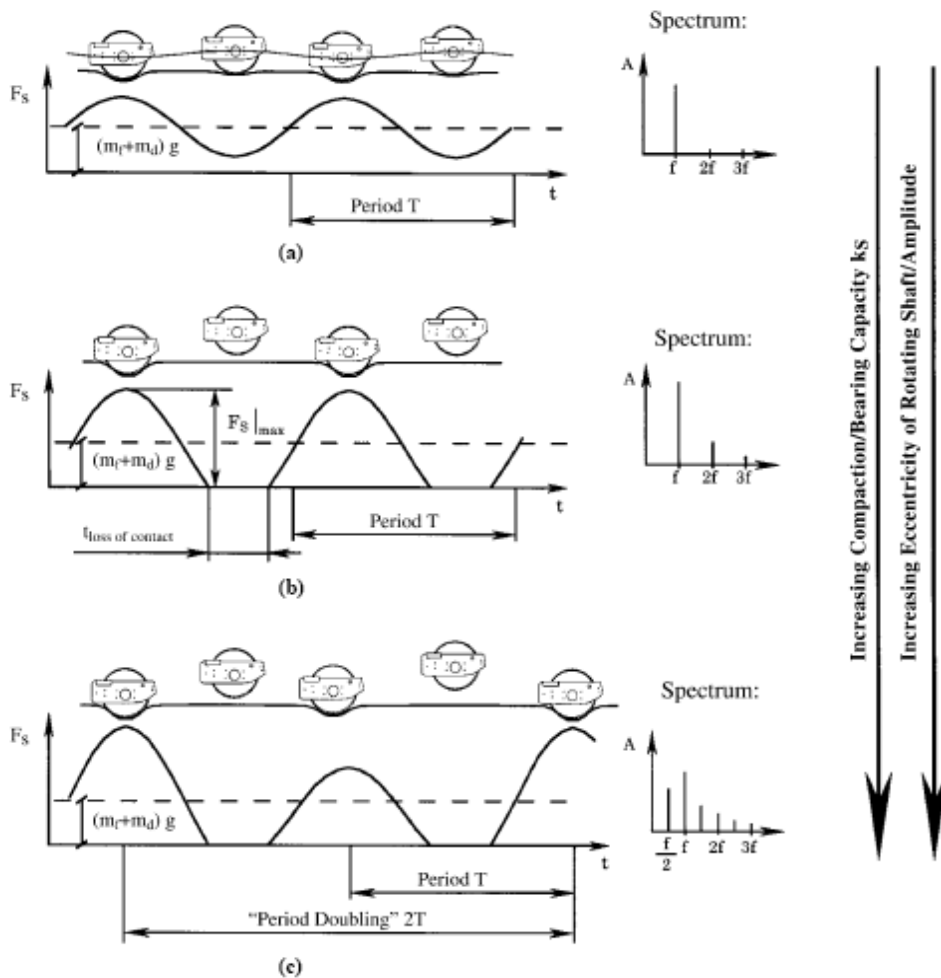
vältföraren programmerar välten. När välten sedan vibrerar slås valsens ned med dubbla amplituden. De flesta vältrar är försedda med två amplituder och en korresponderande frekvens för att kunna nå olika långt ner i marken med sin packning. (Geodynamik, 2007-11-19)

Frekvensen är antalet oscilleringar per tidsenhet, och kan även den justeras till en specifik jordtyp. Hastigheten hos välten bestämmer hur tätt som den nedåtgående accelerationen tillför kraft till jorden, är hastigheten hög blir mindre kraft tilldelad per yta.

Vältrar varierar i storlek från 5 till 25 ton. Nedsjunkningen under välten kan variera från 30 mm (första överfarten) till bråkdelen av en millimeter vid sista överfarten. Modulen hos marken kan då ha ökat från 30 MPa till 200 MPa.

Valsens dynamiska rörelse

Valsens rörelse är beroende av markens beskaffenhet, beroende på hur hård marken är lyfter trumman från marken med varierande höjd. Valsens överfart kan vara linjär (konstant kontakt med marken och välten slår till marken vid en exakt tidpunkt), olinjär eller dubbelstuds beroende på hur väl marken är packad. Beroende på hur marken beter sig lyfter valsens från marken periodiskt och ju mer valsens studsar desto bättre packat är det, se Figur 4-4.



Figur 4-4 Vältens verkan mot underliggande material (Rosengren, Senohrdaski, 2007)

Figuren visar hur valsen beter sig beroende på markens beskaffenhet. Figur 2a visar att när marken är opackad och mjuk ligger valsen dikt an mot ytan och packar den. Kurvan är symmetrisk vilket betyder att välten slår till vid samma tidpunkt under rotationscykeln, så kallad linjär svängning.

Figur 2b visar hur välten beter sig då marken packats en aning och börjar bli hårdare, valsen lyfter då från ytan och rörelsen blir olinjär eftersom välten då ibland tappar kontakt med marken och en olinjär svängning uppstår.

Figur 2c illustrerar tillståndet vid dubbelstuds, när marken är så hårt packad att välten lyfter och trumman hinner rotera ett varv i luften och slår i väldigt hårt när den väl återfår kontakt med marken, oharmonisk svängning. Vid dubbelstuds blir amplituden högre men frekvensen, antalet stötar mot marken, minskar. Detta är inte önskvärt eftersom man vid den ökade pålastningen överpackar materialet och kan bryta sönder mineralerna istället för att packa kornen tätt tillsammans.

Till höger om valsens olika beteenden syns ett spektrum som beskriver hur amplituden är beroende av frekvensen vid packningen. Sinuskurvan som beskriver marken och valsens samverkanskraft F_s kan man genom Fournier-transformationen skriva om som summan av ett antal sinusfunktioner med varierande amplitud. Varje

sinuskurva har en heltalsmultipel av den lägsta frekvensen f (Hz) i den periodiska funktionen som syns i spektret som skapar en grundton. Tillsammans med grundtonen förekommer det också övertoner som har högre frekvens, när övertonen är harmonisk innebär det att frekvensen är en jämn multipel av grundtonen, ($2f$, $3f$ och så vidare).

Vältens vals är utrustad med en accelerometer som registrerar valsens rörelser i vertikalled och omvandlar den till en signal som beskriver beteendet enligt Figur 4-4 ovan. Därefter bearbetas informationen på olika sätt för att kunna få ut en bärighet som resultat.

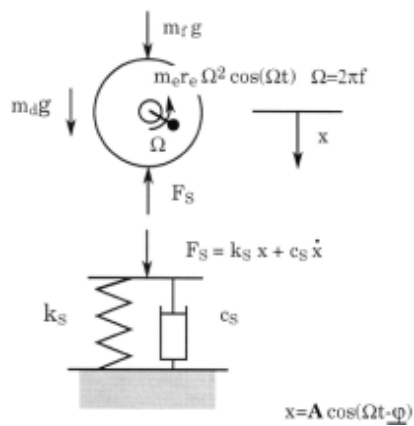
4.4.3 Utveckling av formler för bärighetsberäkning

Välttillverkarna erbjuder möjligheter till att genomföra bärighetsberäkningar direkt i välten, men tillverkarna har olika metoder för att beräkna bärigheten. I rapporten behandlas tre olika system ifrån Geodynamik, Bomag och Anmann. Problem med metoderna är dock att materialet antas vara linjärt, elastiskt och isotropiskt, vilket i verkligheten inte är fallet. Informationen om modellerna är hämtad från ett examensarbete vid Chalmers, Väg och Vatten, skrivet av Peter Rosengren och Davor Senohrdaski.

Geodynamik

Välttillverkaren har valt att förenkla formeln för att inte ta hänsyn till den dynamiska kraften som chassiets elastiska upphängning tillför, enbart chassiets statiska last används vid beräkningar.

Metoden är utvecklad utifrån antagandet att det är en kropp med en dämpare parallellt kopplad med en fjäder som verkar mellan vältvalsens och marken, se figur 4-7.



Figur 4-5 Vältens teoretiska verkningsätt (Rosengren, Senohrdaski, 2007)

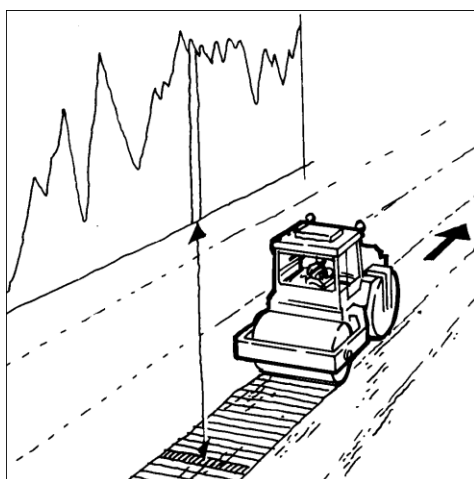
Kraften som utvecklas mellan jorden och vältvalsens (F_s) vid de olinjära dynamiska vibrationerna beskrivs förenklat med formeln 4.5

$$F_s = \underbrace{(m_f + m_d)}_{F_{stat}} \cdot g + \underbrace{m_e r_e \Omega^2 \cos(\Omega \cdot t)}_{F_{centri}} - \underbrace{m_d \ddot{x}}_{F_{acc}} \quad (4.5)$$

I processorenheten omvandlas signalen från accelerometern i valsens till ett CMV-värde (Compaction Meter Value) som anger hur mycket vibrationssignalen avviker

från en ren sinussvängning som beskrivs i figur 4-4 ovan. Om valsen vilar mot ett mjukt underlag fås en praktiskt taget ren sinussvängning och CMV- värdet blir nära noll. Om valsen däremot rullar över ett hårt underlag, fås en förvrängning av signalen och ett högt CMV-värde. Beroende på hur hårt underlaget är varierar CMV-värdet mellan 0 och maxvärdet 120. Orsaken till att avvikelser från en ren sinussvängning uppkommer, är att valsen slår mot underlaget. När underlaget är hårt blir stötarna mot marken kortvariga och kraftiga och ger en stor förvrängning av signalen från A-sensorn. Om valsen rullar över ett hårt underlag förvrängs signalen och ett högt CMV-värde registreras.

Varje sekund registreras resultaten av mellan 25-40 provbelastningar beroende på frekvensen. Värdet som registreras är ett glidande medelvärde som processorn tar fram för att utjämna variationerna från stöt till stöt under den senaste halvsekunden. Mätmetoden kan ses som en fortlöpande dynamisk provbelastning av underlaget medan valsen rullar - en provbelastning för varje slag mot underlaget, se Figur 4-6 nedan.



Figur 4-6 Fortlöpande dynamisk provbelastning (Geodynamik)

Beroende på hur stort CMV värdet är avgör huruvida linjärbeteende kan antas, olinjär eller oharmonisk svängning med dubbelstuds. Med hjälp av detta kan trummans totala förskjutning beräknas med Formel 4.6.

$$x_d = \sum_i A_i \cos(i\Omega * t - \varphi_i) \quad (4.6)$$

A_i = Amplituden vid frekvensen $i\Omega$

φ_i = Vinkeln mot horisontalplanet som trumman slår ner i marken med.

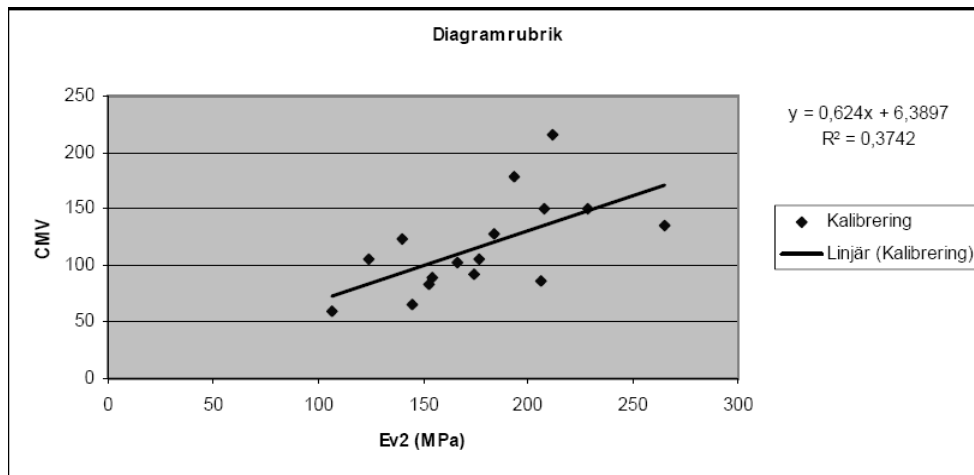
Beroende på underlagets tillstånd varierar i :

- Vid linjär svängning (Figur 4-4, 2a) är $i = 1$
- Vid olinjär svängning (Figur 4-4, 2b) är $i = 1, 2, 3$

- Vid dubbelstuds med oharmonisk svängning (Figur 4-4, 2c) är $i = 1/2, 1, 3/2, 2, 5/2, 3$

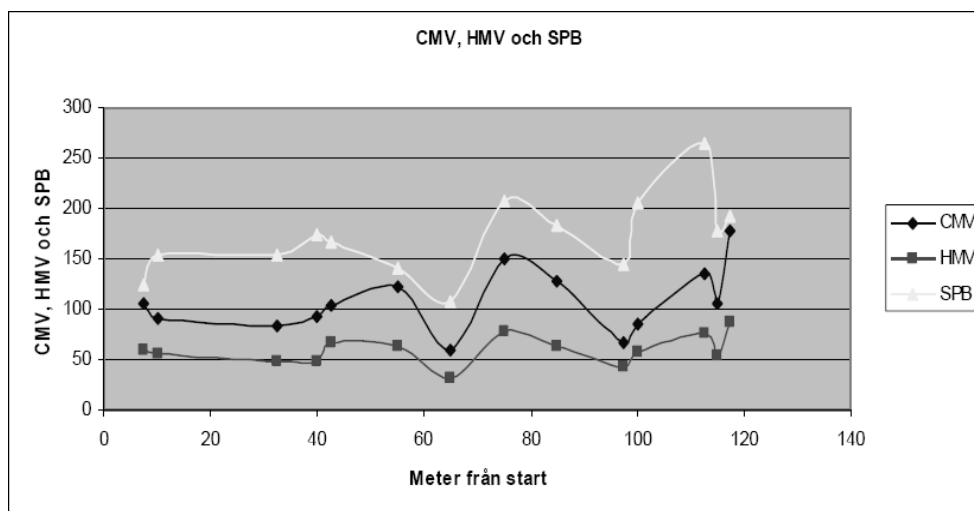
Vid olinjär svängning lyfter valsen från marken som en funktion av jordens reaktionskraft.

Välttillverkarna Hamm och Dynapac använder sig av Geodynamiks metod och har HMV respektive CMV som resultat ifrån packningsmätaren i vältarna. HMV och CMV får sedan ställas in beroende på resultat från SPB för att få en korrelation med SPB. Detta behöver göras för varje nytt lager i väggroppen för att få värdena att korrelera, men värdena är väldigt spridda och korrelationen R^2 är så låg som 0,37 i Figur 4-7 nedan.



Figur 4-7 Kalibrering mellan SPB och CMV (Rosengren, Senhoradski, 2007)

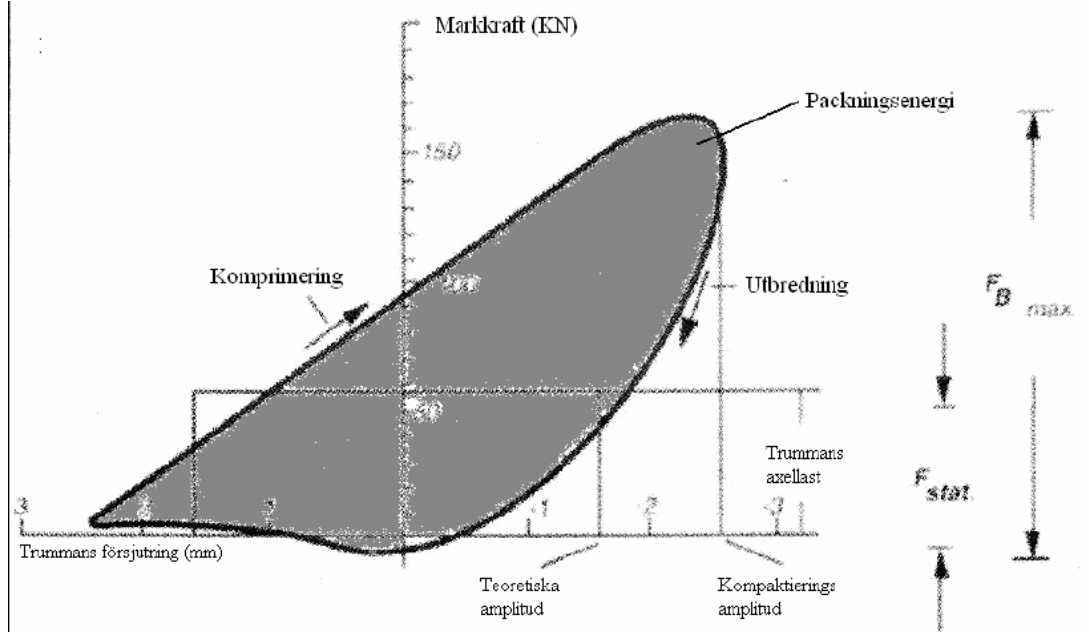
Vid beräkningarna utgår metoden från markstyvheten för att få ett slutligt värde. Vid en jämförelse som genomförts vid examensarbete vid Chalmers av Peter Rosengren och Davor Senhoradski 2007 kan dock en jämförelse och likhet mellan SPB och HMV respektive CMV ses. Dock stämmer värdena från HMV och CMV inte överens med SPB även om vältarna kalibrerats enligt ovanstående Figur 4-7 vilket gör gällande att metoden inte är tillräckligt bra för att enbart använda sig av vältar till bärighetskontroll. Skillnaderna ses i Figur 4-8.



Figur 4-8 Jämförelse mellan CMV, HMV och SPB (Rosengren, Senhoradski, 2007)

Bomag

Amerikanska Bomag använder sig av E-modulen som utgångspunkt i sina beräkningar och inte markstyvheten som Geodynamik gör. Resultatet, i form av E_V , behöver därför inte kalibreras mot någon vedertagen kontrollmetod. När vältens utformning och vikt är känd kan E-modulen beräknas som förhållandet mellan deflektionen hos marken och tillförd markkontaktkraft. Packningsenergin som vältens alstrar fås från ett kraftdeformationsdiagram som ses i Figur 4-9.

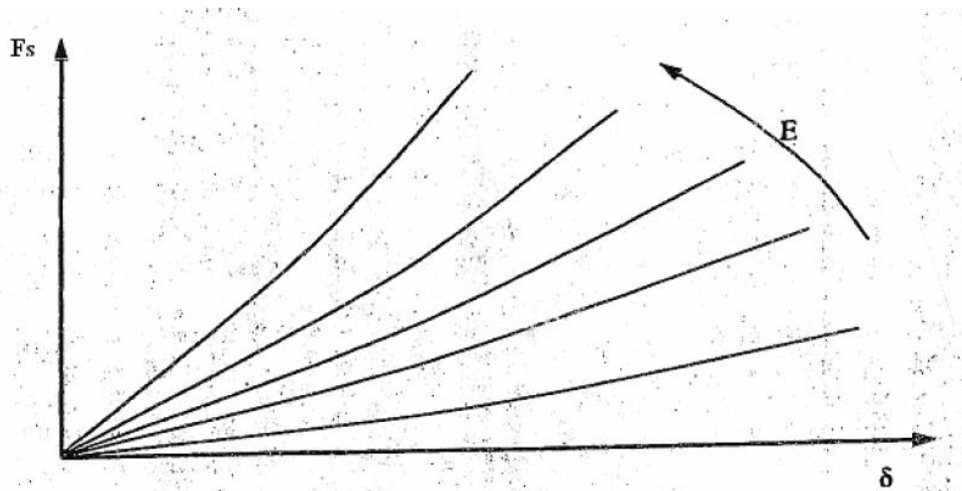


Figur 4-9 Kraftdeformationsdiagram där packningsenergin är markerad (Rosengren, Senhoradski, 2007)

Vid beräkningarna har följande förenklingar genomförts:

- Vältens trumma är helt cylindrisk
- Kontaktbredden är mindre än trummans bredd
- Trumman utsätter marken för en parabolisk last utmed kontaktytan

Det används ytterligare en metod för att minska felmarginalen hos beräkningarna. Det som används är att deformationsdiagram från lagrade SPB jämförs med kraftdeformationsdiagram från välten för att hitta kurvor som liknar varandra, se Figur 4-10 nedan. Denna kontroll genomförs för att minska felmarginalen och kan anses vara en dubbelkontroll för att få ut en E-modul. E-modul är dock inte en riktig beskrivning på bärighetsvärdet som blir resultatet eftersom marken inte har antagits linjär, elastiskt och isotropisk den benämns istället E_V . Enheten hos E_V är MPa och mäter den vertikala bärigheten hos marken.



Figur 4-10 Förhållande mellan jordens reaktionskraft, markförskjutningen och E-modulen (Rosengren, Senhoradski, 2007)

Ett problem med metoden finns dock eftersom modellen enbart bygger på elastiskt- och inte plastisk deformation.

Ammanns

Ammanns metod behöver kalibreras genom SPB, men när det är gjort används välten som ett kontinuerligt plattbelastningsförsök. För att metoden skall fungera är det dock viktigt att några omkringliggande parametrar uppmärksammas:

- Att ytan mellan SPB och mark är likadan som ytan mellan trumma och mark
- Det är skillnad på undersökningsdjupet vid metoderna, SPB undersöker ner till 40 cm medan välten undersöker till 1000 *Amplitudens djup. Tas speciellt hänsyn till då marken är inhomogen.
- Även om belastningarna från respektive metod ser olika ut så är trycket som åstadkoms vid proven väldigt lika för packade material.

För att KS skall vara jämförbart med E_{V1} och E_{V2} multipliceras det slutligen med en faktor för att det skall stämma.

4.4.4 Framtida utrustning och metod för olinjär modul

Det alternativ som i dagsläget verkar mest intressant är Bomag's metod eftersom det inte tycks behövas någon kalibrering mot en vedertagen bärighetskontrollmetod. En modell för att utveckla yttäckande packningskontroll med olinjära moduler som resultat skulle föra den yttäckande packningskontrollen till en ny nivå.

För att utvärdera den verkliga olinjära modulen behöver man känna till undergrundens (terrassens) modul. Genom att sedan genomföra 3 överfarter med olika belastning (genom att ändra amplituden) kan man få en bild över hur det olinjära materialet beter sig. Genom att välten genomför bakåtkalkylering med undergrundens egenskaper kända och deflektionen för olika belastning kan den olinjära modulen utarbetas. För att detta skall fungera behöver tillverkarna bygga ut sina programvaror som gör det möjligt att lägga till nya lager i modellen. Genom att tillföra denna funktion kan en

yttäckande bild ges över bärigheten och dess ökning allt eftersom nya lager adderas till konstruktionen. Problemet med detta är att det inte vid yttäckande kontroll går att slå med fullt utvecklad amplitud eftersom det då uppkommer dubbelstuds vid områden som packats väl.

4.5 Tillståndsbedömning av färdig väg

För att bestämma vägens funktion och fastställa det eventuella behovet av underhållsåtgärder krävs det att tillståndsbedömningar av vägen utförs. Vid en tillståndsbedömning bestäms vägen funktionella egenskaper, vägens körbarhet. Mått på körbarhet kan bestämmas genom att vägens jämnhet i tvär- och längdsled mäts (Asfalthandboken, 2002). En annan möjlighet är att betrakta vägens strukturella egenskaper, bärigheten i vägens obundna lager. Funktionella egenskaperna talar om hur vägen är att färdas på vid mättillfället, medan de strukturella egenskaperna visar hur körbarheten kommer att försämrats på grund av framtida belastningar. Hur en sådan tillståndsbedömning går till beskrivs bland annat i handboken "Bära eller brista" (Wågberg, L.-G, 1991)

För att utföra en tillståndsbedömning finns en del verktyg tillhands. Bedömningen kan göras okulärt eller med hjälpmedel, digitalbesiktning eller mekaniskt.

4.5.1 Okulärbesiktning

För att betrakta okulärbesiktningen som en mätning krävs att den utförs systematiskt. Okulärbesiktningen är i sig subjektiv men genom att standardisera utförandet, med hjälp av referensbilder och framtagna checklistor, kan en mer objektiv mätning uppnås. Liknande manuella mätningar av tillståndet kan även utföras med hjälp av rätskiva för att bestämma spårdjupet. På utvecklingsstadiet arbetas det med att integrera videofilmning eller dokumentation med digitalkamera, idag används dessa hjälpmedel endast för att komplettera det mänskliga minnet och dess brister. Bedömningen av vad som orsakat skadan görs genom en bedömning av de strukturella egenskaperna. Denna bedömning är rent kvalitativ men ändå ett av de viktigaste inslagen inför en eventuell underhållsåtgärd. En okulärbesiktning ska med fördel utföras två gånger. Orsaken till det är för att först bestämma tillstånd och därefter utvärdera orsak till detta, då detta kan vara svårt att utvärdera simultant. (Wågberg, L.-G, 1991)

4.5.2 Digitalbesiktning

Vägens ytjämnhet kan med hjälp av laserteknik bestämmas i både längs- och tvärlängd. Data från mätningarna kallas RST-data i Sverige. Sådana mätningar sker regelbundet på Sveriges vägnät. Mätningarna utförs med en vägytemätbil med ett antal lasrar, 17 eller 19 st, monterade på en balk. Bilen registrerar värden var 10:e cm, i färdriktningen. Mätvärdena ger underlag för att bestämma spårdjup i enlighet med trådprincipen (spårdjupet beräknas som avståndet mellan den uppmätta tvärprofilen och en tänkt tråd spänd över tvärprofilen mellan körfältsbegränsningarna, den så kallade trådprincipen, (vymb111, 1997)) medelvärde för respektive sträcka och körriktning erhålls. Genom att använda stor mängd data kan ojämnheter i längsled beskrivas. Sträckorna mäts alltid minst två gånger. Ytterligare mätningmöjligheter finns. Mätningar kan göras i normal trafikrytm och störningarna i trafiken är små. (Göransson, 2007)

För noggrannare mätningar kan en stationär mätning göras med en profilmätare till exempel VTI:s PRIMAL. PRIMAL mäter ytan i förhållande till två fasta ändpunkter. Dessa punkter höjdbestäms för att användas i ett höjdsystem. Ytans noggrannhet registreras med 1/10 mm och kan registreras med 1-4 cm avstånd. Profiler från 1-10 m kan mätas men även under vissa förutsättningar kan längre profiler mätas. (Göransson, 2007)

4.5.3 Mekaniskbesiktning

Fallviktsförsök, tillståndsbestämning som sker med hjälp av sambandet mellan en fallande vikt och deflektionen hos marken på olika avstånd som sker på grund av pålastningen. Metoden beskrivs mer ingående i kapitel 4.2.

5 Aktiv designprojektet vid RV40

Utifrån de nya dimensioneringsmodeller som utvecklas runt om i världen har vägverket beslutat sig för att inleda med en mindre avancerad dimensioneringsmodell som används för att kunna variera tjockleken på de bundna lagren i väggroppen. Med anledning av detta använder vägverket inledningsvis en utförandeentreprenad där incitament lämnas på delmoment där entreprenören åstadkommit bättre kvalitet än vad som är anges i ATB VÄG.

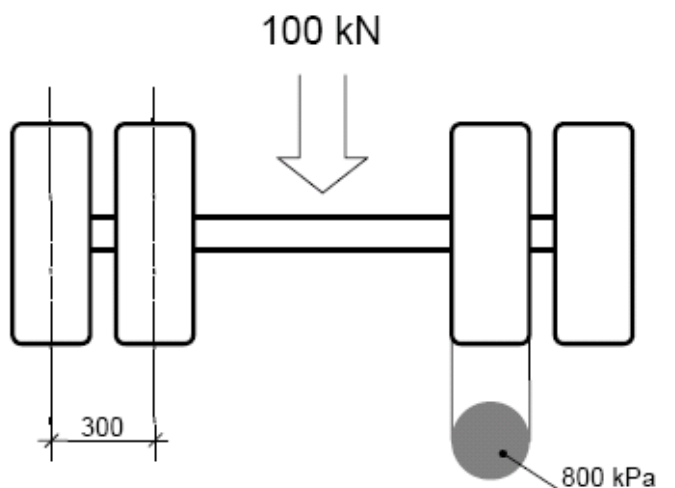
Inget av projekten vid RV40 har haft Aktiv design som en del av förfrågningsunderlaget, det har istället introducerats av Anders Huvstig och Håkan Thorén i ett senare skede. Vid projektets start har entreprenören fått ange om denne vill delta i Aktiv designprojektet eller bygga vägen enligt gällande normer och krav. (Huvstig, 2007)

Väggroppen dimensioneras som tidigare med PMS Objekt med möjlighet till asfaltbeläggningsminskning då ökad elasticitetsmodul erhålls på de obundna lagren. Det krävs då att de obundna materialen packas mer än vad som skett tidigare för att en ökad elasticitetsmodul skall erhållas vid bärighetskontroll av väggroppen. Packas de obundna materialen ytterligare kommer utmattningskriteriet som ligger till grund för PMS objekt att vara oförändrat.

5.1 Utmattningskriteriet

Vid dimensionering av vägar i Sverige idag används PMS Objekt för att kontrollera utmattningskriteriet. Detta ligger till grund för bärighetskraven i Aktiv designprojektet, och utgår från att utmattningskriteriet skall vara oförändrat för att en beläggningsminskning skall få genomföras. För beräkningarna behövs ingångsdata från trafikmängdsmätningar, andel tung trafik och uppbyggnaden av väggroppen. Vägkonstruktionens uppbyggnad kan väljas genom val av materialmoduler och varierande lagerföljder. Modulerna kan modifieras i viss omfattning beträffande styvheten på de olika konstruktionsmaterialen för att få olika resultat på bärighetsberäkningen. Tvärkontraktionstalet däremot är låst till 0,35 för alla material. Till beräkningarna ställs också den geografiska positionen in för att kunna beräkna tjällyftningen, klimatdata tas då från den närmaste VVIS-stationen som vid RV40 ligger i Sjöbo.

Trafikmängden och andelen tung trafik ligger till grund för att beräkna det dimensionerande antalet standardaxlar.



Figur 5-1 Ekvivalent standardaxel, dubbelmonterad (ATBväg 2005).

Data för beräkning av det ekvivalenta antalet standardaxlar för vägen presenteras i Tabell 5-1. Det är samma ingångsdata som projektören använt sig av vid dimensioneringen av RV40 i Bilaga I

Tabell 5-1 Dimensioneringsparametrar för dimensioneringstiden 20 år vid RV40 (Werner, 2004)

Parameter	Värde
ÅDTk	5500 f/d
Referenshastighet	110 km/h
Akkumulerad trafiklast per körfält: N_{ekv} per 20 år	11 000 000

Beräkningar har genomförts i två beräkningar med dels standardmodulerna i PMS Objekt och en version med bättre packat material och därför högre modul på materialet, se Bilaga III. Vid det andra försöket har även de bitumenbundna lagren minskats med 2 cm för att motsvara bästa resultatet i Aktiv designprojektet utmed RV40. Resultaten från dessa beräkningar och kraven från ATB VÄG redovisas i Tabell 5-2 och Bilaga IV.

Tabell 5-2 Resultat från dimensioneringsberäkningar och jämförelse med krav från ATB VÄG

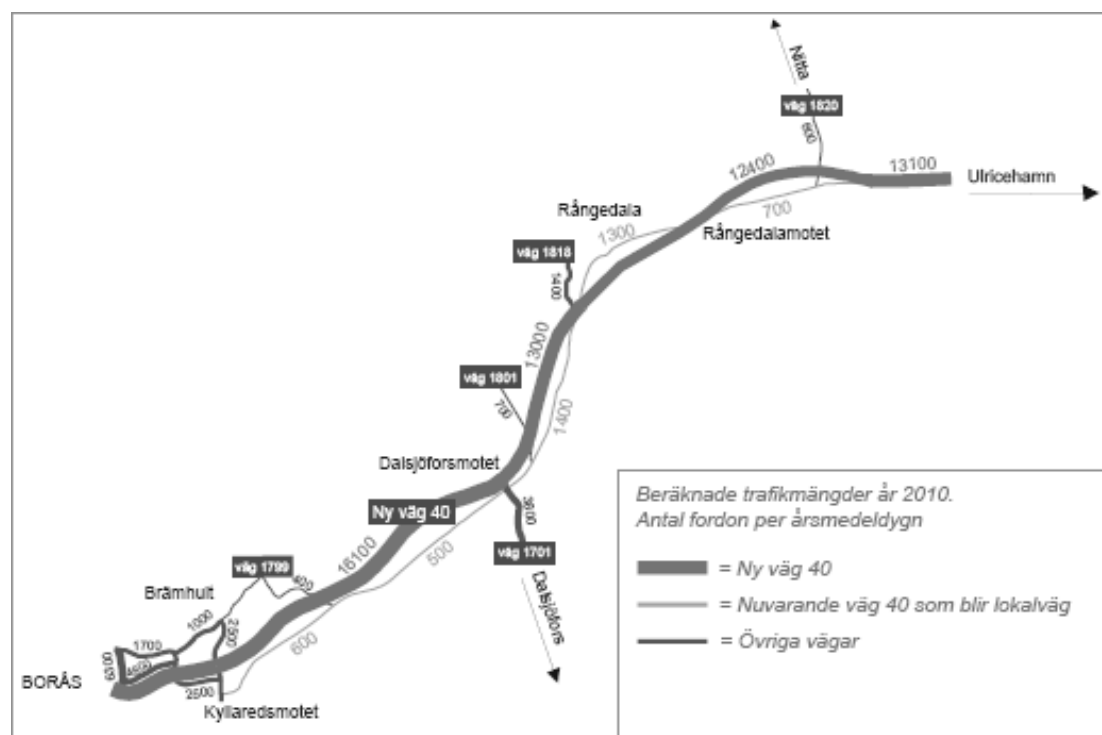
Parameter	Enhet	Aktiv design	RV40 - ursprunglig	Krav
Antal axellaster, bitumenlagret	[-]	12 690 813	14 653 300	$\geq 11 \cdot 10^6$
Antal axellaster, terrassytan	[-]	80 746 291	41 678 164	$\geq 22 \cdot 10^6$
Maximal trycktöjning, terrass	[-]	0,0005	0,0006	$\leq 0,0024$
Tjällyftning	[mm]	0	0	< 20
Tjäldjup	[mm]	585	590	-

Detta innebär att en konstruktion där de obundna lagren packas ordentligt finns det möjligheter att minska beläggningstjockleken med 2 cm eftersom de ingående materialen i den obundna överbyggnaden får en högre modul. Terrassytan klarar i detta fall väldigt många axellaster vilket kan leda till att även tjockleken på de obundna materialen ovanför terrassen kan minskas. Beräkningen som genomförts är approximativ och visar egentligen bara att asfalttjockleken kan minskas och att utmattningskriteriet fortfarande fullbordas om modulen på de ingående obundna materialen ökas.

Det har tidigare varit svårt att erbjuda entreprenören ett incitament. När en kostnadsminskning för bundet material nu kan ske då tillräcklig kvalitet uppnås finns det möjlighet för entreprenören att erhålla ett incitament. Avsikten med Aktiv designprojektet är att entreprenören kan minska beläggningstjockleken genom att höja kvaliteten hos de obundna lagren. Detta minskar totalkostnaden för vägsträckan och entreprenören kan då få ett incitament för det extra arbete de lagt ner. (Huvstig, 2007)

5.2 Området

Nybyggnationen av RV40 går jämsides med den gamla konstruktionen och vägsträckorna korsar vid två tillfällen varandra. Den totala väglängden som byggs är ca 17 km, under sträckan byggs 3 trafikplatser i Kyllaredsmotet, Daljöforsmotet och Rångedalamotet. Sammanlagt i projektet byggs 14 stycken broar för att ta sig över bäckar och vägar, den längsta bron som konstrueras är 440 meter lång och överbygger Rångedalaåns dalgång. Utförligare bild över vägsträckningen och dess ingående element syns i Figur 5-2

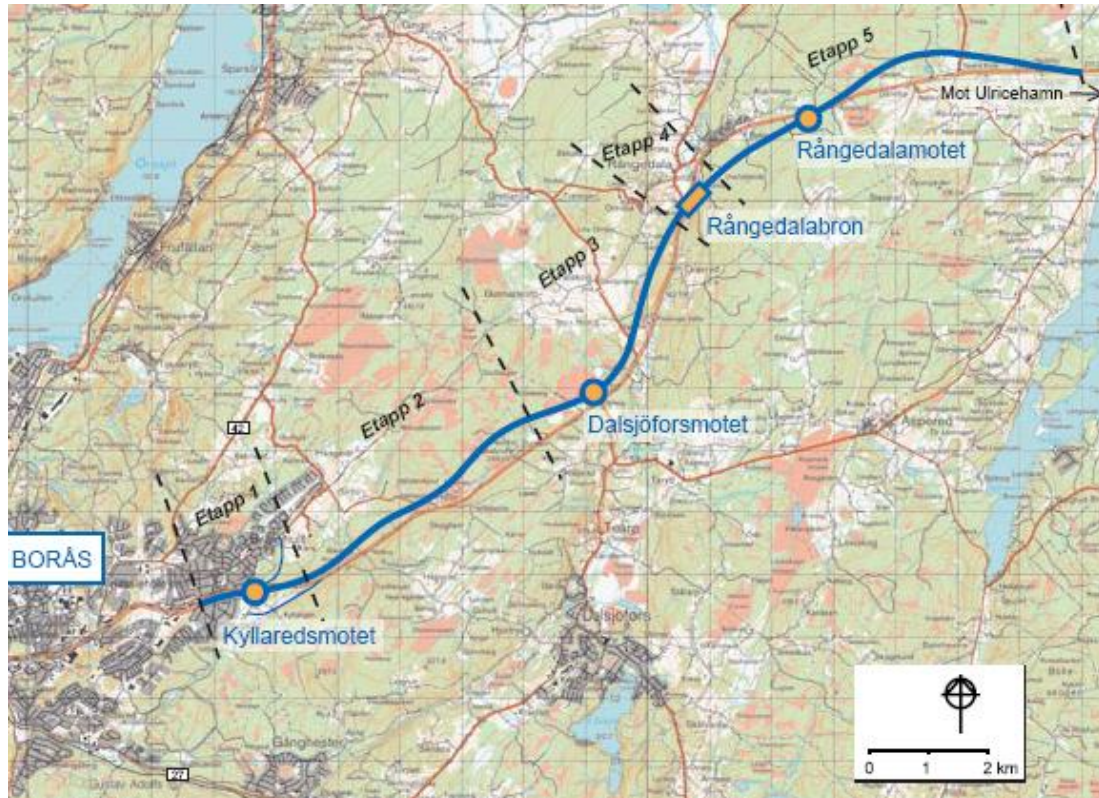


Figur 5-2 Kartbild över konstruktionsområdet (FB Engineering, 2005)

Vid byggnationen delas hela vägsträckan in i flera olika etapper där en entreprenör är ansvarig för respektive etapp. I efterhand har det visat sig att två entreprenörer stått för de bästa anbuden på flera etapper.

- Skanska
- Peab
- Vägverket produktion
- Etapp 1
- Etapp 2 och 3
- Etapp 4 och 5

Etappuppdelningen ses även i Figur 5-3.



Figur 5-3 Kartbild över vägsträckningen och etappindelning (FB Engineering, 2005)

Hela konstruktionen från etapp 1-5 väntas kosta ungefär 650 miljoner (FB Engineering, 2005)

5.3 Grundläggande bestämmelser

Vid de Aktiv designprojekt som besöks under examensarbetet har Vägverket utgått ifrån följande formuleringar för att ange de krav som krävs för minskning av tjockleken på bitumenbundna lagren: (Huvstig, 2007)

- Nedböjningen av de bitumenbundna lagren vid tung belastning minskar då bärigheten hos överytan av bärlagret ökar.
- Den initiala spårbildningen minskar om packningsgraden i de obundna lagren ökas.
- Fukthållande finkornigt material i väggroppen leder till att bärigheten i de obundna lagren minskar och ökar de permanenta deformationer under belastning. Finkornigt material skall därför inte användas vid konstruktion av obundna lager eller i en bergterrass.

- Lyckas entreprenören öka bärigheten, så att beläggningstjockleken kan minskas, får också vägens profil sänkas med det mått som motsvarar beläggningstjockleken minskning.

Kraven är framtagna utifrån ovanstående formuleringar och behandlar flera olika delar av konstruktionen. Kontrollerna av materialet och konstruktionen skall ske i större omfattning än tidigare, se Bilaga V. I slutändan så är det bärigheten i överkant på obundna lager som ligger till grund för en eventuell beläggningssminskning, utmattningskriteriet skall då vara oförändrat, se Kapitel 5.1. Detta ligger till grund för de rekommenderade E_{V2} värdena för minskning av beläggningstjockleken:

- Om lägsta uppmätta värdet på E_{V2} i k_1 överstiger 160 MPa får beläggningstjockleken minskas med 1 cm.
- Om lägsta uppmätta värdet på E_{V2} i k_1 överstiger 180 MPa får beläggningstjockleken minskas med 2 cm. (Huvstig, 2006)

Funktionskravet gäller framförallt i K1 eftersom bärighetsresultat i K2 är relativt ointressant beroende på att den tunga trafiken framförallt färdas i K1.

Vägen delas in i 5000 m² stora kontrollobjekt där områdets bärighet kontrolleras med SPB. Yttäckande packningskontroll genomförs på 400 meters sträckor på respektive väghalva för att motsvara storleken hos ett kontrollobjekt. Insamlad data ligger sedan till grund för de punkter där SPB ska genomföras. De två sämsta punkterna och ytterligare två punkter, i den med tyngre trafik belastade K1, slumpas ut för att kontrolleras med SPB.

En minskad beläggningstjocklek kan medföra vissa profiljusteringar, och beläggningstjockleken minskas i Asfaltgruslagret med oförändrad stenstorlek på 22 mm.

Minskad beläggning resulterar i ett utbetalat incitament som fördelades 50/50 mellan entreprenör och beställaren. Vid entreprenaden kring RV40 har den första ersättningsmetoden anammats, fast pris med möjlighet till incitament om funktionskraven enligt utmattningskriteriet ovan fullföljs.

6 Intervjuer

6.1 Val av intervjuobjekt

Nybyggnationen av RV40 är testprojekt och det är viktigt att dra lärdom av försöket för att utveckla metoden ytterligare inför framtiden. Aktiv design projektet hade en mängd delmål beträffande vinna – vinna, utökad samverkan med mera. Intressant är att undersöka delmålen för att skaffa kunskap om vad som i framtiden behöver göras om och vad som realistiskt sett kan genomföras.

För att ta reda på denna information genomfördes intervjuer med beställarombud och platschefer. Diskussioner fördes även med arbetsledare och vältförare men deras åsikter skilde sig obetydligt från platschefens på respektive bygge. Intervjuformulären utformades för att dels få reda på vad de tycker om testprojektet i allmänhet men frågor ställdes även för att försöka få reda på hur väl de lyckats med delmomenten i Aktiv design. Intervjuerna spelades in på en mobiltelefon för att examensarbetarna skulle kunna gå tillbaka och använda citat samt kontrollera vad som sades. Intervjuerna skedde på respektive arbetsplats, beställarombudens kontor besöktes och respektive platschef intervjuades på sitt eget kontor.

För etapp 2 och 3 ansvarar:

- Göran Hedblom, Beställarombud
- Rune Abrahamsson, Platschef

För etapp 5 ansvarar:

- Arne Lundin, Beställarombud
- Stefan Gustafsson, Platschef

6.2 Etapp 2 och 3

När anbudsförfarandet genomgåtts blev Peab tillfrågade om de var intresserade att jobba med Aktiv design på sitt projekt. Detta skulle då bli ett pilotprojekt med risktagande från båda håll, för att undvika att någon av parterna skulle behöva ta för stora ekonomiska risker. Vid ett möte som hölls 2005-05-27 diskuterades projektets risker och vinstfördelning. Diskussioner kring hur stort belopp som skulle tilldelas entreprenören i utvecklingsbidrag till ny GPS utrustning som skulle användas till dokumentation av packning på den 100 000 m² stora arbetsytan. Inför mötet hade PEAB gjort en kalkyl på hur mycket den ökade packningsinsatsen och kontrollerna skulle kosta, merkostnaden uppgick då till ca 300 000 kr. Istället beslutades om ett fast arvode på 150 000 kr skulle betalas ut i fast arvode som utvecklingsbidrag för introducerande av dGPS-användning i vältar och ett reglerbart arvode med 2 kr/m². Områdets yta är 100 000 m² vilket resulterar i den slutgiltiga summan av 350 000 kr för GPS och merkostnader hos entreprenören. Risken hos entreprenören ligger i huruvida merkostnaderna blir större än planerat eftersom de inkluderar:

- Triaxialförsök
- Ökade packningsinsatser
- Ökad provtagning
- Omdisponering av schaktmassor

4-5 Triaxialförsök skulle genomföras och kontrolleras av Skanska i Lomma för 12600 kr/prov.

Om kostnaden för beläggningen efter genomfört arbete kan minskas kan mellan 730 000 - 1 300 000 kr fördelas emellan beställaren och entreprenören beroende på hur mycket beläggning kan minskas.

Vid upphandlingen av etapp 3 fortskred kontraktet från etapp 2, vilket betydde att vinsten från beläggningstjockleken minskning även här fördelades 50/50 mellan aktörerna. Vinstmöjligheterna vid minskning av beläggningstjockleken AG 22 var:

- 1 cm = 7,30 kr/m²
- 2 cm = 13 kr/m²

Entreprenören fick delar av sina merkostnader betalda och därmed stora delar av sitt risktagande minskat och dessutom 50 procent av vinsten vid minskning av beläggningstjockleken. Beställaren fick chansen att uppnå bättre kvalitet och även minska sina omkostnader, på så sätt kommer bygget att genomföras enligt vinna – vinna-princip.

6.2.1 Beställaren Göran Hedblom

Beställarens arbete inleddes med att han och entreprenören diskuterade igenom hur packningen och disponeringen av material skulle gå till. Beställaren tycker att entreprenören jobbat på bra och varit positiv till arbetet med Aktiv design.

Kostnaderna för Aktiv design projektet täcks delvis med ett utvecklingsbidrag från Vägverket till entreprenören på 300 000kr totalt för båda etapperna. Pengarna användes till inköp av YPK utrustning som skulle utrustas med differential GPS för konstant loggning av välmätarvärden. Detta gjordes för att lokalisera punkterna med sämst bärighet. Kostnaderna kommer även att täckas av incitament från besparingar som uppkommit då asfalttjockleken minskats.

Även vid kvalitetskontrollen märkte beställaren ett ökat intresse hos entreprenören som effektiviserade packningskontrollen för att kunna få feedback på att de ökade packningsinsatserna. Efterhand valde beställaren att istället kontrollera de 4 sämsta punkterna från YPK istället för som tidigare nämnts de två sämsta och slumpvisa i K1. Om det visade det sig att något av värdena inom kontrollobjektet var under en kravgräns blev hela kontrollobjektet styrt av just det värdet.

Entreprenörens strävan efter bättre kvalitet har lett till att beställaren kunnat se ökad kvalitet och noggrannhet vid vägkroppens ingående delar. Beställarens erfarenhet av plattbelastning visade på att terrassvärdet brukar ligga på ca 40 -50 MPa men efter entreprenörens packningsinsats på terrassen var värden mellan 80-90 MPa vanligt enligt beställaren. Detta kan också härstamma från att det för första gången under ett av beställarens projekt använts så tunga vältar som 18-25 ton i konstruktionsskedet.

Detta har gett betydande resultat från SPB som visar på värden upp mot 200 MPa istället för 140-150 MPa som varit vanligt vid tidigare byggnationer.

Beställaren tror att istället för 6-8 överfarter som tidigare använts ovanpå bärlager har ungefär 20 överfarter genomförts. Bärlagret lades till exempel ut 2 cm för högt men packades sedan ner med hjälp av välten och slutligen har väghyveln tryckt till materialet ytterligare. De ökade insatserna tycker inte beställaren har påverkat projektets tidsmål på det hela taget utan väder och vind har istället stått för de tidsmässiga hindren.

Beställaren tycker att ingen ytterligare utbildning har behövts för hans roll i arbetet, detta med tanke på hans 50 åriga erfarenhet i branschen.

Angående framtiden tror beställaren att Aktiv design verkligen bör införas som en del av förfrågningsunderlaget, men då är det viktigt att skriva arbetsordning och styta upp hur kvalitetsarbetet skall fortgå. Till exempel:

- Hur höga bankar som skall läggas innan packning påbörjas
- Hur packningen skall utföras
- Lagertjocklekar
- Önskvärd bärighet på terrass

Något att arbeta med framöver är enligt beställaren att etablera en fungerande dGPS, vilket skulle förenkla mycket, med större noggrannhet skulle man finna de sämsta punkterna inom ett kontrollobjekt för att verkligen se att rätt punkt kontrolleras. Möjligheten att kunna registrera väggroppens höjder inom de olika lagren genom den yttäckande kontrollen, och snabbt kunna se att det behövs mer material, kan öka möjligheterna att uppnå god standard. Beställaren tycker att entreprenören gjort en god insats i försöket att få till ett riktigt bra system för yttäckande packningskontroll men att det var synd att projektet inte kunde fullbordas.

Beställaren uppger att han känt sig bekvämare med pärmsystemet och inte använt CHAOS i någon större utsträckning. Han säger sig ändå se vissa fördelar med databasen då möjligheten till snabba revideringar är möjliga.

Beställaren är nöjd med resultatet av plattbelastningarna ovanpå obundet bärlager som legat till grund för en minskning av beläggningstjockleken med 2 cm på alla kontrollobjekt utom 2 stycken där tjockleken minskats med 1 cm, vid etapp 2.

Slutligen så tycker beställaren att det är synd att ta bort 2 cm av beläggningen utan tycker att kraven på obundna lager istället bara borde höjas, med bibehållen asfalttjocklek, för att få bättre kvalitet. Han har även sett att den tunga trafiken ökat under tiden som etapperna blivit klara vilket kan riskera att den färdiga vägen inte kommer att hålla för sin dimensioneringsperiod.

6.2.2 Platschefen Rune Abrahamsson

En entreprenör är alltid intresserad av att tjäna pengar och erbjudandet var intressant i den hänsynen, men även för att följa med i utvecklingen. Entreprenörens mål med projektet var att minska beläggningen med 2 cm eftersom det minskar kostnaderna.

När Aktiv design introducerades skulle nya priser på asfalten lämnas. Platschefens kontakt på Peab asfalt hade inga problem med upplägget utan lämnade reducerade priser beroende på hur många cm asfalt som besparades på grund av den minskade beläggningstjockleken.

Det har genomförts platsmöten en gång i månaden och Aktiv design har tagits upp på dessa möten när så varit aktuellt. Yrkesarbetarna har tagit det till sig och det har inte varit några svårigheter att implementera projektet hos dem. En del av yrkesarbetarna bryr sig inte så mycket om hur det går till, de gör sina timmar och är nöjda med det enligt platschefen. Han har också uppfattningen att yrkesarbetarna inte tycker att det varit någon skillnad på arbetsgången utan jobbat på som tidigare. Beställaren har också varit med bra i Aktiv designfilosofin. Har det funnits dåliga partier har de grävts upp och materialet skiftat ur för att få bättre bärighet i slutändan. Kostnader för detta reglerades enligt å-priser i mängdförteckningen. Platschefen tycker att kontakterna har blivit fler och tätare med beställaren eftersom så fort som ett område är packat redovisas det till honom, framförallt mellan packning av bärlager och påläggning av asfalt då beläggningstjockleken skall bestämmas. I övrigt tycker platschefen att intresset och kontakterna från båda parter har ökat i och med aktiv design.

Arbetsplatsen köpte in två nya vältar med tanke på projektet och satsningen på GPS. Vältar skulle entreprenören ha använt ändå så det blev ingen extra kostnad. Platschefen tycker att de lagt ner fruktansvärt mycket kraft till ingen egentlig nytta, eftersom vältarna med dess programvara inte förenklade arbetet på det sätt som det från början var tänkt.

För att utveckla packningen och den yttäckande kontrollen av denna användes nya tyngre vältar utrustade med GPS för att hitta områden med sämre bärighet. Men de goda tankarna kring GPS-systemet visade sig inte fungera så bra som välttillverkaren angav och istället återgick kontrollen till nyttjande av CDS-system som de använt sig av sedan början på millenniumskiftet. Tanken var att packningen skulle effektiviseras och vältmaskinisten skulle se på en datorskärm när tillräcklig bärighet uppnåtts och även hur många överfarter som genomförts, men detta visade sig inte fungera.

Platschefen har inte anställt någon personal enbart för att köra vält, istället har någon ur personalen mer specifikt haft ansvaret för att köra välten. Vältmaskinisten har fått genomgång av välten med försäljaren av välten från Wirtgen, men har ingen speciell utbildning på vältning. Platschefen har inte märkt någon skillnad från tidigare arbetssätt. Förr genomfördes sex överfarter och packningsinsatsen ansågs då var tillräcklig. Platschefen upplever att man blir mer engagerad i arbetet, material har skiftats ur på ett annat sätt och packats så man kommer upp i tillräcklig packningsgrad.

Hantering av jordmassor kräver bra väder, oftast schaktas det på ett ställe och läggs ut på ett annat ställe där det skall packas in, finns det dåliga massor ska de läggas åt sidan och de bra massorna användas istället. Omdisponering av bättre massor ska

entreprenören ha betalt för, vilket platschefen inte har uppfattningen om att det gjorts upp om.

Platschefen är inte nöjd med mervärdena av de ökade insatserna för ökad bärighet, incitamenten är inte tillräckliga för att möta entreprenörens kostnader. Risktagande är ingenting som entreprenören tog med i kostnadsplaneringen av projektet. Antagandet att 2kr/m² skulle motsvara kostnaden för provtagning med triaxialförsök, extra plattbelastning och ökad packningsinsats är fel. Platschefen tror att omkostnaderna blivit betydligt större, bland annat har man genomfört 6 st triaxialtester men fått betalt för 4 stycken. Plattbelastningskontroll av terrass har utökats och man har även tagit kontroller på lätt bergbank där man tidigare inte behövt kontrollera.

Platschefen är inte nöjd med 50/50-uppdelningen av incitamentet, det skulle då vara bättre att säga klarar ni det här, får ni denna summa eller i alla fall en 75/25-uppdelning. Entreprenören skall alltså stå för merkostnaderna för det extra planerings- och packningsarbetet och då premieras med ett incitament om de uppnår kraven ställda för detta.

Platschefen tycker också att beställaren måste vara mer flexibel beträffande tidsplanen om projektet skall ta större hänsyn till kvalitetsarbetet. Vid slutstadiet av etapp 2 lämnade Peab (platschefen) ett förslag på att inte stressa med öppnandet av vägen utan vänta med öppning av vägsträckan till våren. Hade man lugnat sig hade man sett och kunnat åtgärda den stora sättning som idag har skett där vägen sträcker sig över en mosse. Detta gäller speciellt om projekt startar på hösten, det första som genomförs är ta av matjorden och sedan packa, det fungerar inte när tjälen slagit till. Startar bygget på våren istället blir det mycket lättare eftersom entreprenören får fram packade terrassytor som får ligga ett tag. Etapp 2 tilldelades Peab i november och fram till januari, februari går det inte göra något på grund av tjälen. Arbetet bör istället dra igång i slutet av mars så att avskalning av jord sker tidigt och att entreprenören får fram ett material att arbeta med utan att marken fryser.

Till etapp 3 löpte kontraktet vidare och används på samma sätt som vid etapp 2, något som platschefen ångrar idag. Istället skulle hela incitamentet tilldelas entreprenören.

6.3 Etapp 5

Etapp 5 och 6 startades ca 1 år efter det att etapp 2 börjat, men förutsättningarna för beläggningsminskning var detsamma, utmattningskriteriet skall vara oförändrat vilket gav samma kravgränser som vid tidigare etapp. Detta även om material- och markförutsättningarna i konstruktionen inte var detsamma.

Vid etapp 5 som Vägverket produktion ansvarade för användes i stort sett samma kontrakt som vid Peabs etapper incitamenten fördelas 50/50 även här och merkostnader ersätts av beställaren till entreprenör. Vinstmöjligheterna vid minskning av beläggningsjockeleken AG 22 var:

- 1 cm = 6,80 kr/m²
- 2 cm = 12,5 kr/m²

6.3.1 Beställaren Arne Lundin

Beställaren hade liten delaktighet i införandet av Aktiv design i vägprojektet. Beslutet togs genom förhandlingar mellan entreprenören och Vägverket centralt. Introduktionen av Aktiv design konceptet bestod av ett seminarium med Anders Huvstig. Beställaren är av uppfattningen att introducerandet av Aktiv design i projektet uppkom under förutsättningar som gjorde att entreprenören medgav samarbetet för att ”hänga med i utvecklingen”. Införandet har uppfattats som positivt från båda håll och även för branschen i helhet.

Beställaren har tillämpat Aktiv design tänkandet tidigare under projektet då han sänkt vägprofilen för att underlätta anslutandet av den nya vägen med den befintliga RV40. Genom denna justering kunde beställaren spara, uppskattningsvis mellan 400 000 - 500 000 kr.

Beställaren upplever en viss låsning vid tilldelat vägområde i och med införandet av Aktiv design. Orsaken är att om profilen sänks blir konstruktionen bredare vilket kan påverka omgivande områden som inte lösts in. På grund av att bara ett område kring arbetsplatsen lösts in är lösningar som till exempel en profilsänkning ibland inte möjlig även om denna åtgärd skulle ha sänkt totalkostnaden för bygget.

Genom ett gemensamt mål att uppnå krav som medger minskningar i asfalttjocklek har samarbetet fungerat bra. Inga större kompetens- eller utbildningsbehov har uppstått, utan vältutbildning från vältleverantör och assistans från arbetsledaren har gett fullgoda resultat. Skillnader som uppmärksammats är ett ökat intresse och en känsla av att entreprenören ”skärper till sig” för att uppnå satta mål.

Några mindre oklarheter om förfarandet vid bestämmandet av mätpunkter har uppstått då instruktioner, från olika personer medverkande i projektet, skilt sig. Ursprungligen var det sagt att de två punkter med sämst bärlighet samt två slumpade punkter skulle användas för utvärdering. Förfarandet har förlöpt med ett användande av de fyra sämsta punkterna för utvärdering av bärligheten. Målet med utformningen av mätpunkter har varit att bestämma bärlighet för yttersta körfältet (K1) som trafikeras av mest tungtrafik.

Då användandet av CHAOS var begränsad kan ingen riktig uppfattning ges om effekterna av detta verktyg.

Ett införande av konceptet i förfrågningsunderlaget ses som ett positivt tillskott då även denna del då kan utsättas för konkurrens. En reflektion från beställaren avser tjockleken på konstruktionen som blivit kraftigt reducerad och eventuella konsekvenser av detta. Funderingar finns även om möjligheter till ett minskat underhållsbehov om inte asfalttjockleken minskas trots att underliggande lager och konstruktionen medger det.

6.3.2 Platschefen Stefan Gustavsson

Vägverket Produktion startade sitt försök med Aktiv design på etapp 5 och har inte kommit tillräckligt långt för att en omfattande utvärdering ska kunna genomföras.

Introduktionen till Aktiv design för platschefen bestod av samtal med Anders Huvstig, som gett riktlinjer för hur obundna lager borde packas. Riskaspekten och eventuell vinst togs hänsyn till innan kontrakt om förutsättningarna för Aktiv design mellan parterna uppfördes. Då möjligheterna att uppnå bärighetskraven är oklara är det svårt att uppskatta möjlig vinst. Inom riskaspekten vägs även inköp av maskiner in. För att underlätta införandet avsätts en fast summa från beställaren som ska täcka delar av kostnaderna som tillkommer i och med införandet av Aktiv design. Möjligheterna att tjäna pengar är något som alltid intresserar entreprenören.

Platschefen har tidigare erfarenheter av mindre projekt där Aktiv design inte varit tillämpbar. Tidigare kännedom om konceptet fanns genom vad han hört om arbetet på tidigare etapper.

Angående förutsättningar för projektet anses Etapp 5 skilja sig från tidigare då andra materialförutsättningar råder (olika möjlighet till att uppnå mål, olika risk, olika betalt).

Platschefen har under byggtiden noterat att obundna lager får en bärighetstillväxt under perioden efter att vältningen har avslutats. Orsaken till tillväxten är förändringar i fukthalten då konstruktionen vattnas innan/ under vältning som avbryts och därefter avdunstar. Statisk plattbelastning bör därför om möjlighet finns, utföras en tid efter avslutad vältning.

Efter att priset för asfalt förhandlats kunde riskerna för projektet värderas. Eventuella möjligheter för att höja kvaliteten ytterligare och förbättra den framtida funktionen ser han i utökad dränering av överbyggnaden som komplettering. Platschefen reflekterar över att överbyggnaden är liten, (750mm) redan innan en eventuell reducering av slitlagret, och hur detta kan komma att påverka den framtida funktionen.

Projektet har inte inneburit några större kompetens- eller utbildningsbehov. Yrkesarbetarna har inte haft några problem med införandet och det har inte påverkat deras arbetssituation nämnvärt. Det har emellertid uppstått ett behov på en fast anställd vältförare som kan sätta sig in i tekniken som finns tillgänglig för att underlätta kontinuerliga kontroller av bärigheten. Vägverket Produktion har nyanställt en vältförare som underlättat arbetet då vältning är ett jobb som inte är populärt hos äldre yrkesarbetare, delvis på grund av ointresse att tillgodogöra sig den teknik som används.

Erfarenheten av CHAOS är begränsad och platschefen tycker inte att något större mervärde resulterat av tillgängligheten till databasen.

Under övriga åtgärder för att uppnå önskad bärighet anges att utskiftningar gjorts där materialet varit för fuktigt, materialet har ersatts med sand.

Omarbetningen av vägprofilen som gjordes för att ansluta befintlig väg har sparat ungefär 500 000 kr för beställaren. Åtgärden är ett ytterligare exempel på hur Aktiv

design kan användas. Platschefen tycker att upplägget där entreprenören ger idéer och förslag är något som bör uppmuntras av beställaren.

Platschefen tror på konceptet och tror det har potential bland annat tror han att det kan skapa möjligheter i ett längre perspektiv, att företaget känner till arbetssättet kan ge fördelar gentemot andra entreprenörer på en konkurrensutsatt marknad eftersom uppstarten av ett nytt projekt då går smidigare.

6.4 Intervjuresultat

6.4.1 Intervjuserie

Intressant i undersökningen är att analysera hur nära hela konceptet som testprojektet verkligen varit. Har FIAs visioner om hur framtidens arbetsmetoder fungerat väl och vad kan behöva ändras för att nå FIAs visioner?

Viktigt är också att väga vad de olika rollerna ute på arbetsplatsen tycker om Aktiv designkonceptet. Har de märkt av någon förändring på arbetsplatsen och har det i så fall varit till det bättre eller sämre?

Då personerna som intervjuats haft olika mycket erfarenhet av Aktiv design har materialet inte kunnat fastställas på alla punkter. Överlag är samtliga intervjuade personer positiva till projektet. Vid sammanställningen har det framgått att beroende på vilken del av byggnadsprocessen personen arbetar i färgar hur personen uppfattat projektet.

Samtliga inblandade tycker sig ha märkt en allmän ökning i intresse och engagemang sedan projektet införts. Då intervjuade personer till största del har varit byggledning kan ingen slutsats dras om hur yrkesarbetarna engagerat sig. Enligt byggledning varierar engagemanget mycket från person till person, men de tycker inte att projektet påverkat yrkesarbetarna i någon större utsträckning. Orsaken till engagemanget är varierande men entreprenörerna anger möjligheten att tjäna pengar och att hålla sig uppdaterad i branschen (konkurrenskraftig) som orsaker till intresset.

Oberoende av hur man skapar engagemanget så blir resultatet positivt för branschen.

Det finns delar av projektet som inte alla är överens inom. Entreprenören på etapp 3 anser att för att på optimalt sätt kunna utföra arbetet borde hänsyn tas till när på året arbetet startar och hur lång tid som behövs för att utföra arbetet. Han tycker att kostnaderna som tillkommer inte täcks av den vinst som projektet genererar. Beställaren har inte sett något behov av att förlänga produktionstiden på grund av projektet.

Funktionskraven är bra men beställarombudet tycker att instruktioner för hur packning skall gå till behöver författas.

Entreprenören på etapp 5 tycker att det material som finns tillhands påverkar möjligheterna att uppnå mål. Då materialen varierar inom olika områden behöver undersökningar av materialförutsättningar granskas noga.

Det finns olika uppfattningar om kostnader, intäkter och utökat samarbete. Ett sätt att underlätta och undvika oklarheter kan vara att ge och få större insyn och förståelse för vad andra aktörer gör.

Aktiv design konceptet har inte inneburit något ökat kunskapsbehov, utan erfarenheter av/från branschen samt mindre informationsmöten med Vägverket har räckt för att utföra projektet. De inledande mötena har administrerats av Anders Huvstig och Håkan Thorén.

6.4.2 Vinna - vinna

Peabs första etapp E2 är avslutad och när entreprenören och beställaren ser tillbaka på projektet går deras meningar isär. Entreprenören har uppfattningen att det ekonomiska kostnader för de ökade åtgärderna som behövs för att erhålla den höga kvalitet som efterfrågats vid entreprenadens slut inte motsvaras av incitamentets storlek. Entreprenören har genomfört extra triaxialförsök och utökat plattbelastningen på terrass och lätt bergbank vilket beställaren inte betalat för. Det som entreprenören framförallt ifrågasätter är 50/50 fördelningen av incitamentet, men dock måste entreprenören ha i åtanke att han tog emot ett utvecklingsbidrag i början av projektet för att då minska riskerna. Entreprenören har också vunnit framförallt i kunskap om vad som krävs för att öka bärigheten hos materialet och kan i framtiden titulera sig som deltagare och framåtsträvare vid framtida projekt.

Beställaren är nöjd med den ökade bärigheten över hela etappen som förhoppningsvis resulterar i förbättrad LCC. Beställaren har betalt för det extra arbete som entreprenören skall genomföra utan att känna till om testprojektet faller väl ut och ökad bärighet kunde uppnås. Eftersom god bärighet blev utfallet på etapp 2 har beställaren vunnit finansiellt på försöket medan entreprenören har fått lärdom om ett nytt tillvägagångssätt.

6.4.3 Utökad samverkan

Innan entreprenaden startades hade beställare och entreprenör möte för att diskutera igenom arbetsgången och hur de skulle jobba för att tillsammans kunna nå målen för Aktiv design. Besparingar i upphandlingsskedet och utförandet har inte genomförts som ett led i utökad samverkan, men de utvecklade relationerna kunde fortgå då Peab lämnade det bästa anbudet på etapp 3 och samma beställare blev ansvarig för projektet. Därför kunde redan igenomgångna avtal fortlöpa och tillsammans framarbetade metoder användas för att effektivisera processen. Samma sak gäller för Vägverket produktion som har samma beställare för etapp 5 och 6.

Ingen av beställarna har använt sig av CHAOS för att lagra och komma åt information, däremot har utsättarna använt systemet för att komma åt ritningar till sin verksamhet. De har bland annat använt systemet för att tillverka ritningar till grävmaskinernas digitala grävsystem utrustade med dGPS för hög noggrannhet.

Båda entreprenörerna upplever att kontakten med beställarombud varit god och kontakten har bland annat lett till att VVP sparat 500 000 kr genom att få lov att sänka vägprofilen för att bättre passa in i nästkommande etapp. Däremot så tyckte Peab att beställaren skulle vänta med öppnandet av etapp 2 till våren för att material som placerats i en uppgrävd mosse skulle få lov att sätta sig ordentligt, vägen öppnades

som den skulle och idag kan man urskilja en stor sättningsmitt i mossen där underhållsåtgärder kommer att behövas under lång tid framöver.

6.4.4 Funktionskrav

Entreprenaderna har använt sig av senaste teknik beträffande vältrar. Tyngre vibrerande vältrar har använts för att åstadkomma god packning av materialet och i slutändan god bärighet. Statisk plattbelastning har använts som kontrollmetod under hela byggtiden för att tillgodose att väggroppens uppbyggnad i slutändan kommer ha en chans att möta kraven ställda för att lyckas få incitamentet. Båda entreprenaderna har lagt sina tunga dumpertransporter i linjen på de områden där det varit möjligt för att kontinuerligt packa materialet under byggtiden.

Hos Peab har sortering av materialet i stor skala inte skett eftersom de upplever att de inte har tid.

Kvalitetsarbetet har ändå varit framgångsrikt på etapp 2 där beläggningstjockleken kunde sänkas med 1 – 2 cm utefter hela vägsträckningen. Vid undersökningar på de andra etapperna visar SPB värdena på god bärighet. Dock ligger värdena på obundna överbyggnaden under 160 MPa hos delar av Vägverkets entreprenad och beläggningssminskning kommer troligen inte ske i lika stor omfattning som hos Peab.

Båda entreprenörerna har klarat av att genomföra provmetoder i fält och uppnår därför kraven för nivå 3 i Kapitel 6.3.

6.4.5 LCC kunskap/kompetens

Båda entreprenörerna har skaffat nya tyngre vältrar för att åstadkomma bättre packning. För att säkerställa att vältrarna utnyttjas till deras högsta förmåga har en särskild person varit vältansvarig på projektet. Inledningsvis var målet att en dGPS med hög noggrannhet skulle användas, men på grund av problem beroende på att leverantören skickat med en GPS och programvara som inte gick att samköra med redan introducerade programvaror på arbetsplatsen, avslutades försöket och äldre CDS-kontroll användes som YPK. På båda projekten har en nyanställd ung man blivit ansvarig för vältningen eftersom de äldre inte har något intresse av att sitta i välten och inte heller är intresserade av att lära sig funktionen på den datoriserade utrustningen som välten är utrustad med för att genomföra YPK. För att utbilda de nya vältmaskinisterna har entreprenören litat till säljarens kompetens och pedagogiska förmåga.

Det nya användandet av tyngre vältrar märker entreprenörerna ger en bättre kvalitet till egentligen ingen extra kostnad. Ett nytt tänkande och kunnande hos entreprenören leder till att de ligger bra med i utvecklingen inför framtiden och är redo att ta ett Aktiv designprojekt fullt ut.

7 Analys av intervjuresultat

7.1 Vinna – vinna

Frustration angående incitamentens utbetalning och storleksfördelning har uppfattats under intervjuerna. Det är framförallt på etapp 2 - 3 som fördelningen 50/50 inte uppfattats som rättvis.

Tanken i framtiden är att beställaren skall vinna på konstruktionens kvalitet och minskat framtida underhållskostnad (LCC), medan entreprenören skall få ett incitament för överlämnandet av en produkt som möter och överstiger kvalitetskraven. Då berör incitamentet inte en beläggningsminskning utan storleken är istället beroende på resultatet av en ökad kvalitet hos väggkroppen vid färdigställandet. Detta behöver inte betyda att anbudspriset stiger nämnvärt eftersom utvecklingen av nya konstruktionsmetoder hos entreprenören istället skjuter fart för att möta anbudspriser från konkurrenter.

7.2 Engagemang

Intresset för Aktiv designprojektet har inte spridits genom hela produktionskedjan, yrkesarbetarna har inte tagit del av projektet mer än vältoperatören. Denne har däremot blivit uppmärksammas genom att kallas arbetsplatsens viktigaste man eftersom han har stor del i hur resultatet av SPB blir. Men alla andra arbetarna jobbar på som vanligt, följer ritningen och arbetsledarens instruktioner. Samverkan inom företaget kan vara svårt att uppnå eftersom stora delar av yrkesarbetarkåren består av underentreprenörer som kör sina maskiner och byter arbetsplats med jämna mellanrum.

Visserligen försöker entreprenörerna att binda upp duktiga underentreprenörer för att ha med dem mellan olika arbetsplatser, men att få en relation där tankegångar och förbättringsmöjligheter lämnar byssjan och delges platskontoret är svår eftersom det finns en spricka mellan yrkeskåren.

Vidare är det viktigt att förankra information om konstruktionen så att arbetsstyrkan vet varför de bygger som de gör, uppfattningen är att de bygger mer eller mindre på rutin och gör som de alltid har gjort utan att egentligen känna till varför. På så sätt kan tveksamheter angående väggkroppens uppbyggnad minimeras och få arbetsstyrkan att få förtroende för sitt arbete och känna till att de efterlämnar en produkt att vara stolt över, en sak som ökar engagemanget på arbetsplatsen.

7.3 Samverkan

Bägge arbetsplatserna har gått vidare ifrån en etapp och utökat till två etapper, detta måste ses som en fördel eftersom relationerna redan är öppnade och arbetet mellan beställare och entreprenör effektiviseras därför avsevärt. Detta leder till att kontrakt från tidigare etapper löpt vidare utan ändringar och därför har öppnandet av nya etapper skett smärtfritt. Fördelen är att de frågor som dykt upp under tidigare etapp redan är lösta och förhållningssättet till hur konstruktionen och kontrollen av densamma sker är klart. Redan etablerade relationer leder också till att det blir enklare

för entreprenören att delge funderingar på effektiviseringar och möjliga prisreduktioner.

Relationen mellan beställare och entreprenör har löpt relativt smärtfritt, när det kommer till den utökade samverkan ända upp till projektledarroll har det däremot brustit en aning. Eftersom gamla RV40 fanns att åka på under hela konstruktionsperioden borde den framtida funktionen hos den nya vägen värdesättas högre än den PR som ett öppnande av vägen i tid ger. När projektledaren tillsammans med representanter från näringslivet förklarar vägsträckningen färdig och beskriver den ökade kvaliteten i och med Aktiv design projektet som använts vid konstruktionen antar folk att vägen överlämnas till trafikanterna med oerhört god kvalitet. När det sedan visar sig att sättningar hos konstruktionen sker inom en kort tidsperiod efter öppnandet, sänker det återigen trafikanternas tilltro till branschen.

7.4 Funktion

Bärigheten har förbättrats över hela vägsträckningen genom användning av tyngre effektivare vältar för packning av materialet, därför har givetvis funktionen ökat. Ansträngningen för de extra packningsinsatserna beskrivs inte som besvärligare än packningsprocessen vid tidigare objekt, däremot så har inte sortering av material genomförts i så stor omfattning som varit möjlig. Planering av transporter inom väglinjen har använts för att belasta vägkroppen kontinuerligt under byggnationen.

Kontrollen av bärighet har varit omfattande dels på grund av att det är ett testprojekt och information angående vägkroppen är viktigt för att vid senare läge kunna utvärdera konstruktionen. Entreprenörerna har båda försökt arbeta med dGPS-anslutna vältmätare, försöken har inte fallit väl ut eftersom vältfabrikanten enbart kunna erbjuda en GPS även fast de angett att deras GPS är en dGPS. Kommer däremot en vält utrustad med dGPS kan inte bara noggrann bärighetsmätning och överfartsloggning kunna genomföras utan även lagerhöjds- och utbredningskontroll utföras med enkelhet för att effektivisera redovisning av genomförd verksamhet.

Processerna för att ge ytterligare bättre bärighet kräver mer tid som i dagsläget inte tagits någon större hänsyn till. Datumet för färdigställande har visserligen senarelagts men det beror framförallt på att entreprenaderna startat vid en tidpunkt då tjäle inverkar på möjligheten att bygga terrass och byggets öppnande därför fått senareläggas.

7.5 LCC – Kompetens/kunskap

Vid testprojektet har ingen direkt utveckling av personalen genomgått eftersom beläggningstjockleken ändrats om bärighetskontrollen visar på bättre kvalitet än kravgränsen. Kompetensbehovet har inte ökat på arbetsplatsen, men eftersom strävan under projektet varit att nå bättre SPB värden, har en ökad kunskapsförstärkning inom packningsområdet utvecklats, då entreprenören sett vad en enkel insats genererat.

En fortsatt användning av incitament kommer att minska livscykelkostnaden och vägnätet stå sig bättre rustat inför framtiden. Höjs inte maxgränsen för hur mycket som lastbilarna får bära kommer livslängden på nybyggda vägnätet öka och spara skattebetalarna stora summor i underhåll.

Fortsätter strävan efter bättre, billigare konstruktioner kommer kunskapsbehovet inom entreprenadbranschen öka för att entreprenadföretagen skall kunna öka sina vinster och framförallt kunna konkurrera med övriga företag i branschen.

8 Elasticitetsmodulsvärdering

8.1 Metod

Vägverket har utvecklat programmet vägFEM för att bland annat kunna beräkna deflektionen vid en simulerad statisk plattbelastning. I programmet anger användaren lagertjocklek och konstanter som bildar elasticitetsmodulen för materialen i det ingående lagret. Det går att bygga upp en modell med flera lager och elasticitetsmoduler för att bilda en hel vägkonstruktion. Resultatet från en beräkning genererar en deflektionskurva för materialet, det ger möjlighet till att utvärdera elasticitetsmodulen för materialet om deflektionskurvan kan jämföras med en deflektionskurva från fältförsök.

Resultatfilen genererad av VägFEM innehåller en deflektionskurva. Jämförs deflektionskurvan från vägFEM med en deflektionskurva inhämtad från fältförsök kan elasticitetsmodulen utvärderas utifrån parametrarna som använts i beräkningsprogrammet.

Deflektionskurvor hämtas från fältförsök och används för jämförelse med beräkningsprogrammet.

8.2 VägFEM

8.2.1 Information om program

VägFEM är en finitelementapplikation som utformats under en doktorsavhandling skriven av Johan Larsson vid Chalmers. Programmet är webbaserat och kan utföra två olika typer av bärighetsberäkningar. Applikationen utför plattbelastningsberäkningar, bärighetsberäkningar och beräkningar för permanenta deformationer. Beräkningarna utförs interaktivt genom att ett underlag fylls i som sedan skickas till Volvo-IT för beräkning. Användaren måste registreras hos en VägFEM-administratör.

Både bärighetsberäkning och plattsättningsberäkning är baserad på principen som gäller vid Grus-Bitumen Överbyggnad (GBÖ) (Johansson, 2007)

Båda beräkningsformerna använder samma principgeometri. Det som skiljer beräkningarna är hur lasten beräknas, vid plattbelastnings simuleras en platta med 300 mm radie till skillnad från bärighetsberäkningarna där en hjulaxel simuleras. Förutom detta skiljer sig beräkningarna åt genom att plattbelastningen inte tar hänsyn till de bundna lagren.

Bärighetsberäkning

I arbetsfönstret anges vilka parametrar som krävs för beräkningar.

För skikttyper o geometri kan följande parametrar varieras:

- Vägbredd
- Inre släntlutning

- Höjd på omgivande mark
- Typ Skikt A (Bundet lager)
- Typ Skikt B (Asfaltlager)
- Typ Skikt C (Obundet/Bundet bärlager+Förstärkningslager)
- Typ Skikt D (Obundet skyddslager)
- Tjocklek skikt A-C (D anges ej)

Fasta parametrar:

- Stödremsa
- Yttre släntlutning

Det finns möjligheter att använda två olika typer av axlar. Dels en standardaxel för trafiklast () och dels en axel med super-single hjul.

Det finns möjlighet att variera materialparametrar beroende om materialet har linjära- eller olinjära egenskaper. För linjära material kan densitet, Poissons tal och elasticitetsmodul varieras. För olinjära material varierar densitet, Poissons tal samt 2 konstanter.

Plattbelastningberäkning

Vid plattbelastningsberäkningar varierar följande parametrar:

- Typ Skikt C (Obundet/Bundetbärlager+Förstärkningslager)
- Typ Skikt D (Obundet skyddslager)
- Typ Skikt E (Befintlig grund)
- Tjocklek Skikt C-D (E anges ej)

Fasta parametrar:

- Vägbredd
- Innresläntlutning
- Yttre släntlutning
- Höjd omgivande mark

Resultat

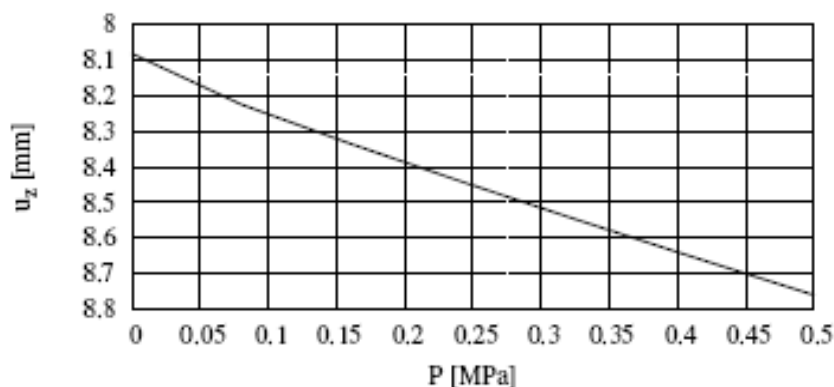
Resultat av beräkningar skickas till användarens registrerade e-postlåda. Resultaten presenteras i pdf-format, alternativt skickas resultatet av bärighetsberäkningarna i ett format som kan läsas in i en Excel-fil för beräkning av permanenta deformationer (Johansson, 2007).

8.2.2 Användning av programmet

Programmet simulerar en statisk plattbelastning, det användaren behöver göra är att ange lagertjocklek och egenskaper för detsamma. Materialegenskaperna anges med parametrar för en linjär eller olinjär elasticitetsmodul. Vid försöken har en olinjär

elasticitetsmodul använts, då anges värden för regressionskonstanterna k_1 och k_2 som tillsammans bildar resilientmodulen M_R . Olika ingångsdata för regressionskonstanterna resulterar i olika deflektionskurvor och därmed olika resilientmodul som är att jämföra med elasticitetsmodulen. Deflektionskurvan som lämnas i resultatrapporten ses i Figur 8-1 nedan.

Max värde: 8.7609 mm



Figur 8-1 Maximal vertikal förskjutning efter varje laststeg (från 170-0,12)

För att få en deflektionskurva som överensstämmer med den från fältförsök med statisk plattbelastning och tung fallvikt behöver flera körningar med varierande regressionskonstanter genomföras. I Tabell 8-1 redovisas några av resultaten från körningarna.

Tabell 8-1 Nedböjning av marken vid VägFEM

Konstanter		Nedböjning av marken i mm vid belastning					
k_1	k_2	0,0 MPa	0,1 MPa	0,2 MPa	0,3 MPa	0,4 Mpa	0,5 MPa
500	0,20	7,96	8,04	8,09	8,14	8,18	8,23
400	0,30	8,00	8,15	8,22	8,30	8,36	8,42
700	0,40	7,96	8,09	8,15	8,19	8,22	8,27
200	0,25	8,10	8,35	8,50	8,61	8,74	8,86
1200	0,40	7,93	8,00	8,03	8,06	8,09	8,11
800	0,50	7,97	8,15	8,22	8,26	8,30	8,33
150	0,20	8,14	8,41	8,59	8,75	8,91	9,05
150	0,15	8,12	8,34	8,50	8,65	8,80	8,94
150	0,10	8,10	8,28	8,42	8,57	8,70	8,84
100	0,20	8,30	8,68	8,95	9,20	9,40	9,64

Den inledande deformationen beror på materialets egenvikt, därför är nedsjunkningen kring 8 mm redan vid 0,0 MPa belastning. För att kunna använda deflektionskurvorna från VägFEM subtraheras den inledande deflektionen vid 0,0 MPa's belastning från de övriga belastningarna, först då går det att jämföra med deflektionskurvorna hos FWD och SPB som inledningsvis börjar med 0 mm i deflektion eftersom ingen påverkan ännu genomförts. Denna metod har använts vid utvärdering av k_1 och k_2 för terrassen, några framtagna deflektioner ses i Tabell 8-2.

Tabell 8-2 VägFEM deflektioner (ordnade)

Konstanter (k_1 k_2)	0,00 MPa	0,10 MPa	0,20 MPa	0,30 MPa	0,40 MPa	0,50 MPa
100 0,22	0,00	0,42	0,69	0,94	1,19	1,40
100 0,235	0,00	0,43	0,71	0,97	1,22	1,43

100 0,25	0,00	0,46	0,76	1,02	1,26	1,50
105 0,2	0,00	0,28	0,52	0,76	0,98	1,18
110 0,20	0,00	0,33	0,59	0,82	1,02	1,21
110 0,30	0,00	0,60	0,89	1,15	1,37	1,59
130 0,30	0,00	0,41	0,66	0,89	1,09	1,27
130 0,40	0,00	0,67	0,98	1,23	1,45	1,65
140 0,09	0,00	0,18	0,33	0,49	0,63	0,77
140 0,12	0,00	0,19	0,36	0,52	0,66	0,81
140 0,125	0,00	0,20	0,37	0,53	0,67	0,82
145 0,12	0,00	0,19	0,36	0,505	0,65	0,79
150 0,10	0,00	0,18	0,32	0,47	0,60	0,74
150 0,125	0,00	0,19	0,35	0,49	0,64	0,77
150 0,15	0,00	0,22	0,38	0,53	0,68	0,82
150 0,20	0,00	0,27	0,45	0,61	0,76	0,91
150 0,35	0,00	0,53	0,76	0,96	1,13	1,30
160 0,12	0,00	0,17	0,32	0,45	0,59	0,72

För att utvärdera k_1 och k_2 hos den obundna överbyggnaden, innehållande förstärkningslager och obundet bärlager, används ovanstående k_1 och k_2 för respektive punkt i analysen. Till VägFEM adderas ytterligare ett skikt kallat C som är 580 mm tjockt, motsvarande tjockleken hos överbyggnaden. För skikt C antas sedan på nytt k_1 och k_2 för att den nya deflektionskurvan skall stämma in på nedböjningen hos SPB och FWD.

Vid tillägg av ytterligare ett lager minskar nedböjningen, detta ses enkelt när deflektionen i Tabell 8-2 och Tabell 8-3 nedan jämförs.

Tabell 8-3 Nedböjning av marken i mm vid användning av k_1 och k_2 för terrass vid bärlager utvärdering

Obundet bärlager	0,00 MPa	0,10 MPa	0,20 MPa	0,30 MPa	0,40 MPa	0,50 MPa
180 0,1 - 110 0,2	0,00	0,17	0,32	0,47	0,61	0,74
250 0,1 - 110 0,2	0,00	0,13	0,25	0,37	0,48	0,58
300 0,15 - 110 0,2	0,00	0,12	0,24	0,35	0,45	0,54
340 0,15 - 110 0,2	0,00	0,12	0,22	0,32	0,41	0,50
300 0,1 - 110 0,2	0,00	0,11	0,21	0,32	0,41	0,51
320 0,1 - 110 0,2	0,00	0,11	0,21	0,31	0,40	0,50

Hur deflektionen varierar beroende på ändringen av regressionskoefficienterna ses även det i Tabell 8-3 ovan. Höjs k_1 minskar deflektionen och resilientmodulen blir därmed större. Höjs istället k_2 minskar modultillväxten och nedböjningen av materialet ökar, se jämförelse i Tabell 8-4 .

Tabell 8-4 Jämförelse mellan olika k_2

Obundet bärlager	0,00 MPa	0,10 MPa	0,20 MPa	0,30 MPa	0,40 MPa	0,50 MPa
330 0,2 - 165 0,22	0,00	0,14	0,24	0,34	0,43	0,51
330 0,15 165 0,22	0,00	0,11	0,21	0,30	0,38	0,46

När deflektionskurvorna från programmet och fältförsök överensstämmer kan resilientmodulen beräknas, för obundna material kallas elasticitetsmodulen för resilientmodul M_R . Resilientmodulen beräknas efter att rätt regressionskonstanter är funna enligt Formel 8.1.

$$M_R = k_1 \cdot \sigma^{k_2} \quad (8.1)$$

där:

M_R = Resilientmodul

k_1 = Regressionskoefficient

k_2 = Regressionskoefficient

σ = Summan av huvudspänningarna ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) [kPa]

För att kunna jämföra resultatet från vägFEM med bärighetsmodulerna från SPB och FWD används spänningen 0,5 MPa.

8.3 Fältförsök

Fältförsöken utfördes i konstruktionsskedet av etapp tre och fem vid RV40 i samarbete med Peab och Vägverket produktion. Försöken bestod i mätningar med CDS, FWD och SPB. Mätpunkterna som användes för provtagning bestämdes vid första tillfället med hjälp av CDS-mätning med vält där de sämre områdena i K1 hos respektive entreprenör utvärderades. Den inledande kontrollen av terrassens bärighet hos Peab innefattade en liten del av K1 norrgående. Vid Vägverket produktions etapp kontrollerades K1 i både norr- och södergående riktning. På vardera etappen valdes fyra punkter ut för bärighetskontroll. FWD och SPB utfördes sedan på dessa punkter som även mättes in av mätningenjörer på plats med dGPS-utrustning.

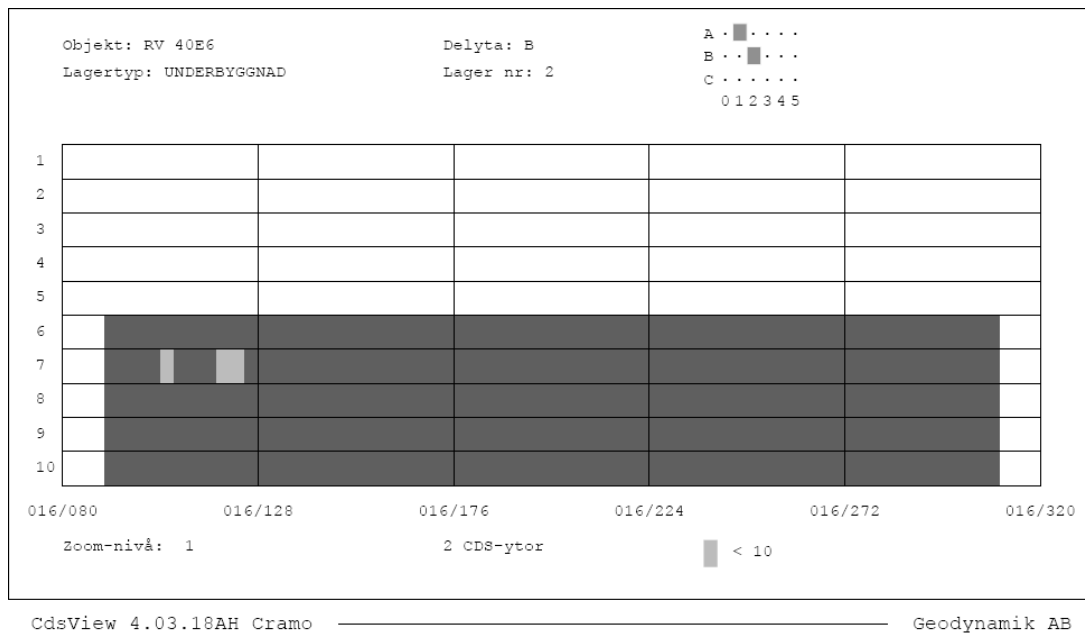
För att genomföra undersökningarna genomfördes 3 fältförsök. Vid det inledande försöket kontrollerades terrassen hos Peab och Vägverket produktion. Tanken var vid detta tillfälle att enbart ett andra fältförsök skulle behövas för att minska kostnader för hyran av FWD-utrustning. Entreprenörerna lade dock obundet bärlager vid respektive område vid olika tidpunkter och på grund av att asfaltläggare var i antågande fick sista kontrollen delas upp i två tillfällen. Oro för inverkan från anläggningstrafiken kunde under bärighetskontrollens utförande bortses ifrån eftersom ingen trafik fanns i kontrollområdena då undersökningarna genomfördes, samtliga försök utfördes utan hinder.

Vid andra försöket skall bärigheten hos det obundna bärlagret mätas med FWD och SPB på samma punkter som vid första försöket, för att få en bild över hur bärigheten ökar när bättre material adderas till konstruktionen.

8.3.1 Vältmätarvärde

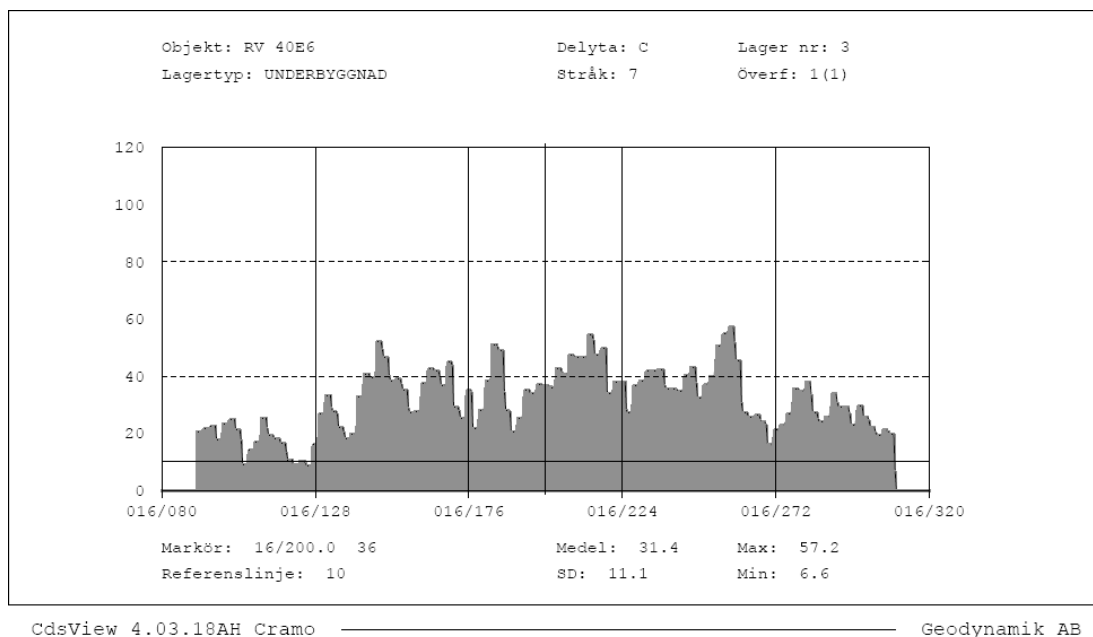
Mätningarna utfördes av eller med hjälp av personal på respektive arbetsplats. Med utrustningen i välten kunde CDS-värden registreras för jämförelse med övriga försöksmetoder. Hos Peab användes en Hamm 3520 och hos Vägverket produktion användes en inhyrd Caterpillar vält. Hamm välten hade inte någon GPS installerad och därför var inmätning av punkterna nödvändig för att finna dem igen. Caterpillarsvälten var utrustad med GPS och loggar kontinuerligt sin position vid CDS-mätning och krävde därför inte någon assistans av en mätningenjör.

För att närmare analysera CDS-mätningen och för att få en yttäckande bärighetsbild av området används programmet CDSview. Med programmet kan utskriftar över kontrollobjekt och dess bärighet för respektive stråk göras tillgängligt. De områden som har sämst bärighet redovisas i programmet med ljusare färg, se Figur 8-2.



Figur 8-2 CDS-resultat från Vägverket produktions vänstra sida

I programmet kan också varje enskilt stråk studeras i detalj för att finna ett område som eventuellt behöver skiftas ur eller packas ytterligare. Ur diagrammet kan CDS-värdet för de sämsta punkterna och området runt omkring urskiljas som den ljusare färgen, dock är värdet enhetslöst. För varje enskilt stråk i Figur 8-2 redovisas en profilbild där CDS värdet registreras kontinuerlig under vältningen, se Figur 8-3.



Figur 8-3 Profilbild över CDS-värden i stråk 7

8.3.2 Statisk plattbelastning

SPB utfördes av Per Ljungkvist vid Geomiljö Väst KB enligt Vägverkets metodbeskrivning vvmb:603. Som motvikt vid försöken användes samma vält som tidigare genomfört CDS-mätning i området.

Värden från belastningen registrerades analogt men redovisades digitalt i pdf format, se bilaga II och IV. De registrerade värdena analyserades sedan enligt vvmb:114 för att resultera i modulen E_{V2} .

8.3.3 Försök med tung fallvikt

Fallviktsprov utfördes med assistans av Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI, och Dynatest i Danmark med deras respektive fallviktsutrustning. VTI användes vid de två inledande försöken, därefter användes slutligen Dynatest för kontroll av obundna överbyggnaden hos Vägverket produktion. Utrustningen bestod av en bil och släpvagn med inbyggd fallviktsutrustning. VTIs utrustning ses i Figur 8-4 medan Dynatests utrustning ses i Figur 8-5.



Figur 8-4 Dragbil och vagn med tung fallviktsutrustning från VTI



Figur 8-5 Dynatests fallviktsutrustning

Ifrån bilen kunde sedan operatören styra fallvikten med hjälp av en dator. Inför testerna hade operatören placerat ut deflektionsmätarna på olika avstånd och angivit slagseriens utformning i datorn. Rekommenderad slagserie tillhandahölls från Håkan Carlsson vid VTI. Inledande slaget var ett kompakteringsslag (50kN), efterkommande slag utfördes med dubbla slag för varje last. Varje punkt belastades två gånger med identiska slagserier enligt följande:

- Slag 1,2: 30kN
- Slag 3,4: 50kN
- Slag 5,6: 65kN

Samma slagserie användes på både terrass och obunden överbyggnad. Belastningarna registreras seismografiskt av deflektionsgivare belägna på givna avstånd från nedslagspunkten.

- D0: Direkt under fallviktsplattan
- D1: 200 mm
- D2: 300 mm
- D3: 450 mm
- D4: 600 mm

- D5: 900 mm
- D6: 1200 mm

Resultaten från belastningarna redovisades sedan på såväl papper som digitalt. En skrivare i bilen plottade resultaten och de överlämnades även på diskett vid användning av VTIs fallvikt, dynatest skickade resultaten via elektronisk post dagen efter testtillfället.

För att kunna jämföra modulen hos FWP med SPB har kN omarbetats till MPa. När detta genomförts visar det sig att slagserien som använts vid fallvikten använder större belastning än SPB, enbart det första slaget på 35 kN ligger inom belastningsintervallet som används vid SPB. Därför interpoleras deflektionen mellan de två första stegen i slagserien för att överensstämja med 0,5 MPa belastning. Linjär interpolering mellan de två punkterna har använts. I Tabell 8-5 nedan syns vilka värden som interpolerats fram för att få en belastning 0,5 MPa, vid analysen för att ta fram E_0 och E_V har Vägverkets metodbeskrivning 112 använts.

Tabell 8-5 Beskrivning av interpoleringsförfarandet

Punkt 3								
Sektion 16/153								
Sidmått 5,2 m								
Last (kN)	Last (MPa)	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0,396	3,06	1,43	0,85	0,40	0,19	0,05	0,05
35,343	0,500	3,162	1,536	0,935	0,452	0,218	0,053	0,054
46,3	0,655	3,32	1,70	1,06	0,53	0,27	0,06	0,06
50	0,707	0,107	0,512	0,307	0,262	0,180	0,008	0,012
58,5	0,828	3,29	1,82	1,14	0,59	0,31	0,06	0,07
E ₀	41,6 Mpa							
		0	200	300	450	600	900	1200
E _v		41,6	32,1	35,2	48,6	75,4	206,9	152,3

8.4 Resultat från fältförsök

8.4.1 Peab - terrass

Vid första försökstillfället hade Peab inget färdigt kontrollobjekt utan mätningarna genomfördes på en liten yta i anslutning till bron i Rångedala, välten var inte heller utrustad med GPS vilket gjorde att manuella inställningar för platsbestämmande fick införas. Framtagna CDS-värden för respektive punkt finns i Tabell 8-6 och diagrammen från CDS mätningen i Bilaga VI.

Tabell 8-6 Framtagna CDS-värden

Punkt	Sektion	Stråk	CDS
1	8/507,530	Stråk 2	6
2	8/512,180	Stråk 3	8
3	8/512,035	Stråk 4	7
4	8/527,941	Stråk 4	3

Därefter genomfördes tester med statisk plattbelastning och tung fallvikt. Bärighetsmodulerna som beräknades visade på hög bärighet hos terrassen. Resultaten mellan kontrollmetoderna skiljer sig åt, se Tabell 8-7. Rapporter från fältförsöken ses även i Bilaga VII och VIII

Tabell 8-7 Ytmodul och modul hos terrassen hos PEAB

Punkt	Sektion	Sidmått	E_{V2}	E_0	E_V						
					D_0	D_{200}	D_{300}	D_{450}	D_{600}	D_{900}	D_{1200}
1	8/507,530	3,560	162	183	183	115	108	94	95	97	98
2	8/512,180	5,604	79	103	103	62	78	83	88	101	113
3	8/512,035	7,508	109,5	137	137	82	113	97	104	113	123
4	8/527,941	9,214	120	156	156	131	158	164	168	163	159

8.4.2 Peab – obunden överbyggnad

Försöket inleddes på morgonen då entreprenören CDS-mätte området, examensarbetarna och Per Ljungqvist från Geomiljö väst anslöt till frukost och påbörjade därefter bärighetskontroll med SPB. Mikael Bladlund från VTI anlände kort därefter med fallviktsutrustningen för att även kontrollera bärigheten på detta sätt. SPB och FWD utvärderades sedan som tidigare, resultaten visade på bättre bärighet än 140 MPa kravet i ATB väg. Båda resultaten syns i Tabell 8-8, samt Bilaga IX och X.

Tabell 8-8 E_{V2} och E_0 utvärderat för punkterna hos PEAB

Punkt	Sektion	Sidmått	E_{V2}	E_0	E_V						
					D_0	D_{200}	D_{300}	D_{450}	D_{600}	D_{900}	D_{1200}
1	8/507,530	3,560	198	239	239	185	240	247	205	185	163
2	8/512,180	5,604	190	269	269	101	132	130	132	112	131
3	8/512,035	7,508	196	279	279	239	269	228	196	181	169
4	8/527,941	9,214	174	254	254	186	212	224	236	241	228

8.4.3 Vägverket produktion - terrass

Vid CDS-mätningen av kontrollobjektet användes en Caterpillarsvält utrustad med GPS. Operatören mätte först in det ena kontrollobjektet och märkte ut de punkter som han ansåg var sämst utifrån CDS-utrustningen inuti hytten, därefter fortsatte han med det andra kontrollobjektet och upprepade proceduren. Resultaten från CDS mätningen ses i Bilaga XI, en sammanställning av resultaten från CDS-view ses i Tabell 8-9 nedan.

Tabell 8-9 CDS värde från respektive punkt tagna med CAT vält

Punkt	Sektion		CDS
1	16/106	Stråk 7, kontrollobjekt B	9
2	16/124	Stråk 7, kontrollobjekt B	8
3	16/153	Stråk 3, kontrollobjekt A	6,6
4	16/328	Stråk 4, kontrollobjekt A	4,7

Efter test med statisk plattbelastning och tung fallvikt visar lagermodulerna hos terrassen visar då på stora skillnader, dels beroende på att det fanns mycket ytvatten kring punkt 3 vilket påverkar resultaten. Fallvikten registrerade vid den tredje punkten en större deflektion utanför kontaktpunkten än direkt under och systemet gav därför ifrån sig en varning för att någonting var fel. Ytvattnet i den omkringliggande marken påverkat bärighetsresultaten negativt, se Tabell 8-10 och Bilaga XII Bilaga XIII.

Tabell 8-10 Ytmodul och modul hos terrassen hos Vägverket produktion

Sektion	Sidmått	E_v								
		E_{v2}	E_0	D_0	D_{200}	D_{300}	D_{450}	D_{600}	D_{900}	D_{1200}
16/106	6,7	64,1	81,3	81,3	75,7	75,5	98,6	131,7	240,0	337,5
16/124	6,9	117,6	134	134	81,5	75,8	84,2	97,6	174,9	265,5
16/153	5,2	13,8	42	42	32,1	35,2	48,6	75,4	206,9	152,3
16/328	6,4	64	105,2	105	105	57	72	99	118	170

8.4.4 Vägverket produktion – obunden överbyggnad

VTI hade inte möjlighet att assistera försöken denna gång. Genom Ramböll i Malmö kunde tjänsten istället tillhandahållas från Dynatest i Danmark. Området som belastades var packat och CDS-värden var framtagna. Kontrollpunkterna sattes ut med hjälp av Vägverket produktions mätingenjör.

Resultaten var något sämre än väntat på obundna överbyggnaden och kom inte upp i de nivåer som krävs för att minska asfaltjockleken. Vid punkt 3 där problem uppstod vid test redan på terrassnivån sker något som inte hänt vid tidigare försök, E_0 vid punkt 3 är mindre än E_{v2} , se Tabell 8-11 och Bilaga XIV och XV.

Tabell 8-11 E_{v2} och E_0 utvärderat för punkterna hos Vägverket produktion

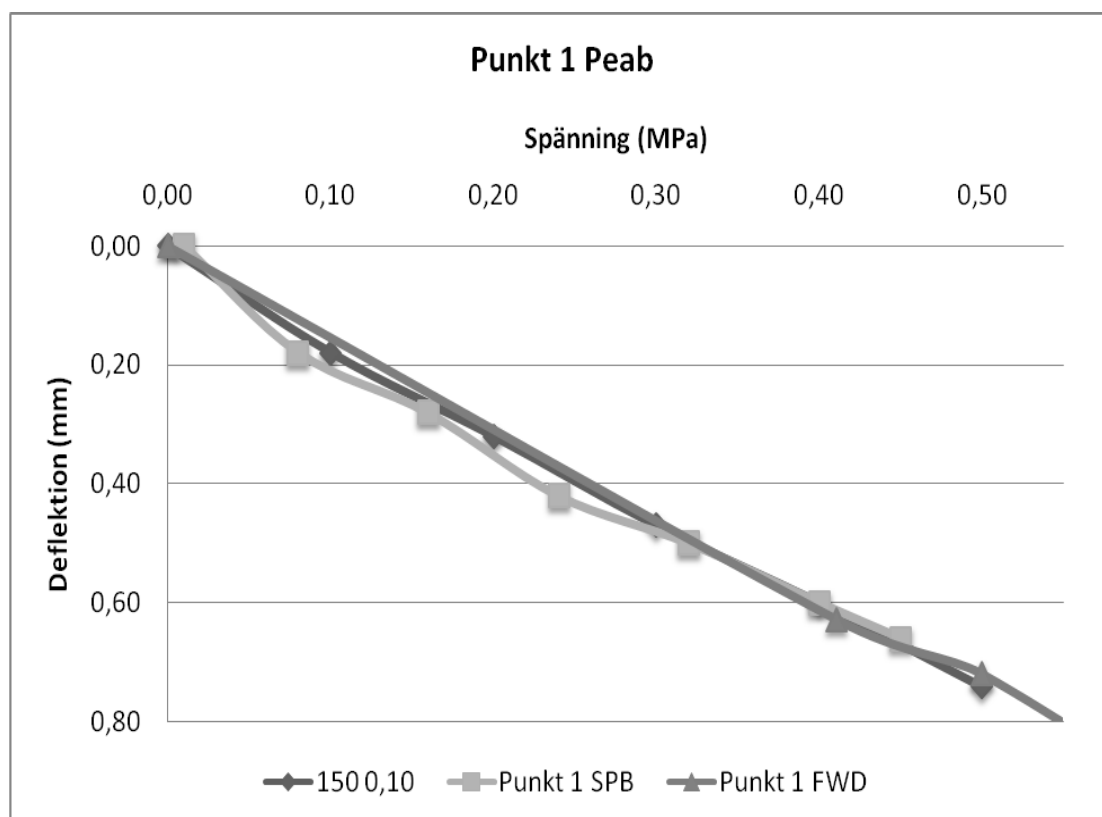
Punkt	Sektion	Sidmått	E_v								
			E_{v2}	E_0	D_0	D_{200}	D_{300}	D_{450}	D_{600}	D_{900}	D_{1200}
1	16/106	6,7	128	190,4	190	169	163	129	155	195	204
2	16/124	6,9	155	212	212	145	127	135	144	166	196
3	16/153	5,2	145	136	136	135	123	146	190	216	296
4	16/328	6,4	154	224,1	224	315	301	283	298	359	445

8.5 VägFEManalys av resultat från fältförsök

8.5.1 Peab - terrass

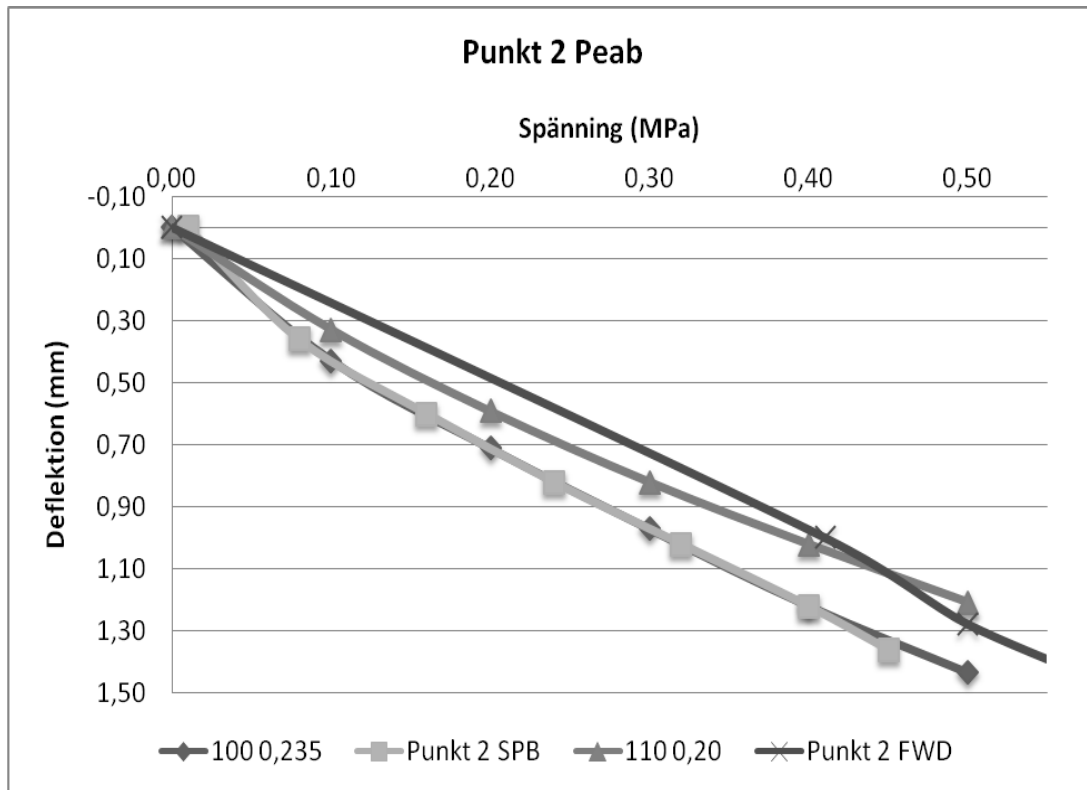
Inhämtade deflektionskurvorna från fältförsök jämförs med körningar i vägFEM med skilda regressionskoefficienter för att finna en kurva som överensstämmer. Ser deflektionskurvorna likadana ut kan resilientmodulen M_R för lagret beräknas.

Deflektionskurvorna vid punkt 1 stämde väl överens mellan SPB och FWD. I Figur 8-6 nedan ses en inpassning av deflektionskurvan beräknad från VägFEM med regressionskonstanterna $k_1 = 150$, $k_2 = 0,10$ som stämmer väl överens med den från SPB och FWD.



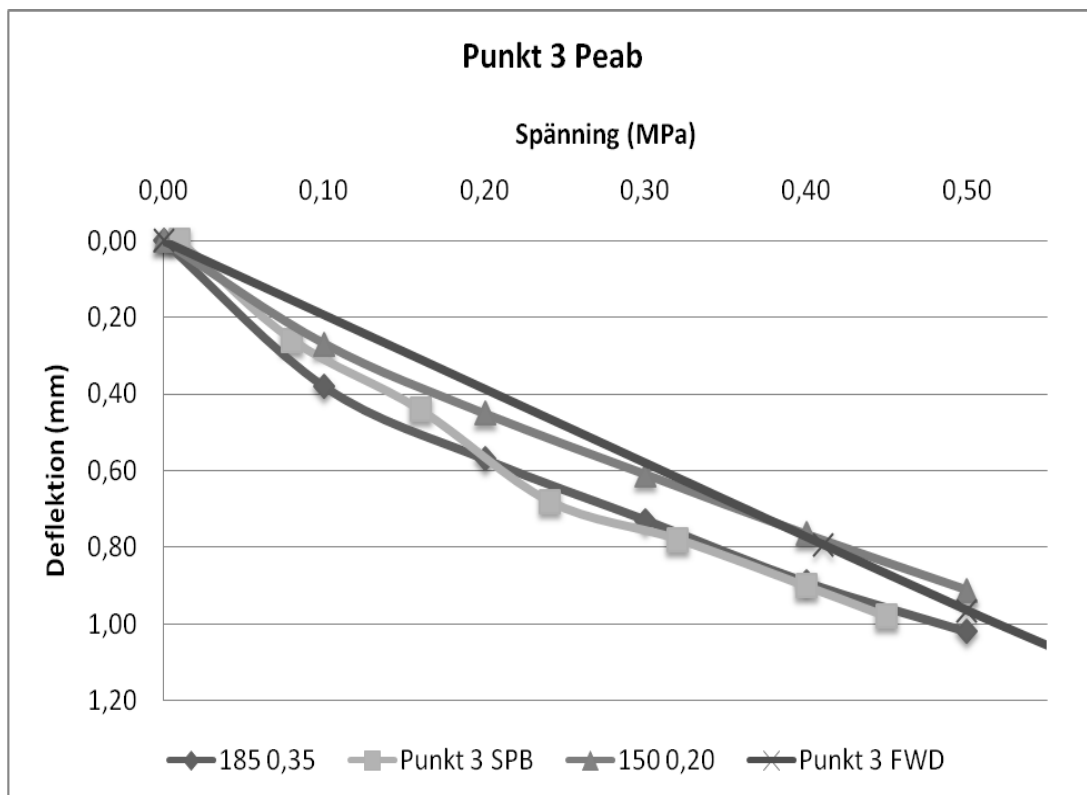
Figur 8-6 SPB och FWD mot VägFEM

Vid punkt 2 skiljde sig deflektionskurvorna från SPB och FWD. Deflektionen hos materialet var större än vid punkt 1 vilket resulterar i lägre tal hos resilientkoefficienten k_1 , se Figur 8-7.

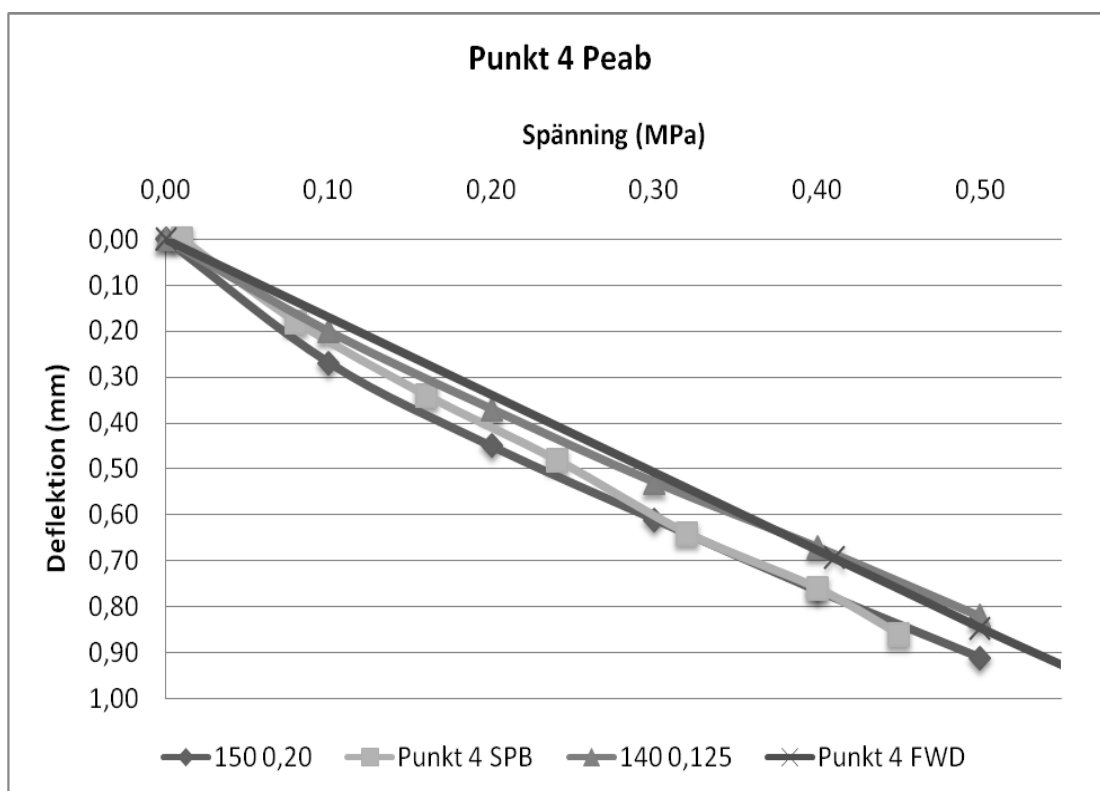


Figur 8-7 SPB och FWD mot VägFEM

Vid punkt 3, Figur 8-8 är bärigheten återigen högre och ligger mellan 110 – 130 MPa beroende på kontrollmetod, detta resulterar i högre resilientkoefficient k_1 hos materialet.



Figur 8-8 SPB och FWD mot VägFEM



Figur 8-9 SPB och FWD mot VägFEM

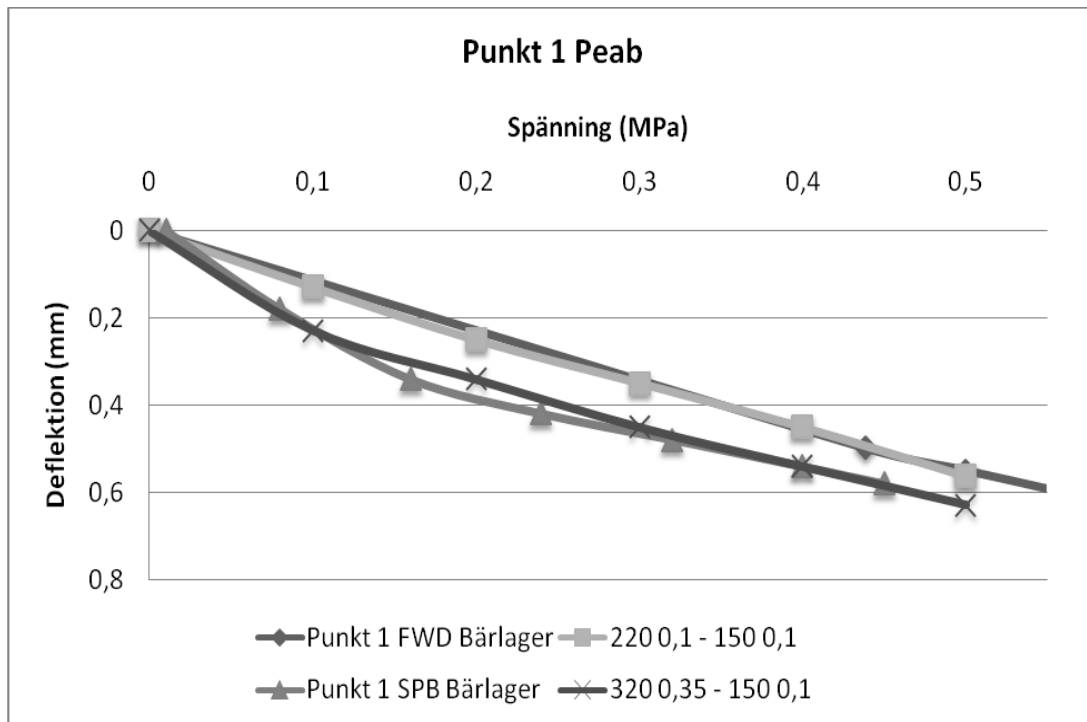
Genom att använda de inpassade deflektionskurvorna kan resilientmodulen M_R beräknas enligt Formel 8.1 ovan, med spänningen 0,5 MPa för att kunna jämföras med E_{V2} -modulen där spänningen 0,5 MPa även används för att bestämma modulen. Utvärderade resilientmoduler M_R ses i Tabell 8-12.

Tabell 8-12 k_1 och k_2 hos respektive punkt och kontrollmetod

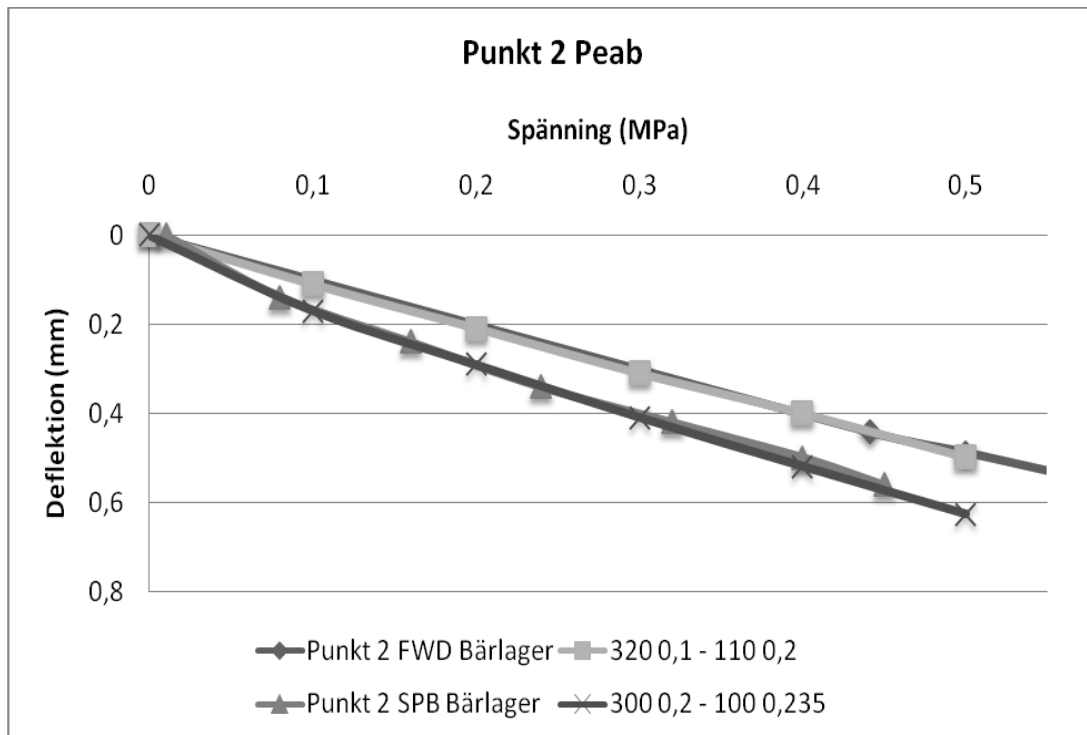
Punkt	Sektion	Sidmått	SPB		$M_{R, SPB}$ (MPa)	FWD		$M_{R, FWD}$ (MPa)
			k_1	k_2		k_1	k_2	
1	8/507,530	3,560	150	0,1	140	150	0,1	140
2	8/512,180	5,604	100	0,235	85	110	0,20	96
3	8/512,035	7,508	185	0,35	145	150	0,2	129
4	8/527,941	9,214	150	0,2	131	140	0,125	128

8.5.2 Peab – obunden överbyggnad

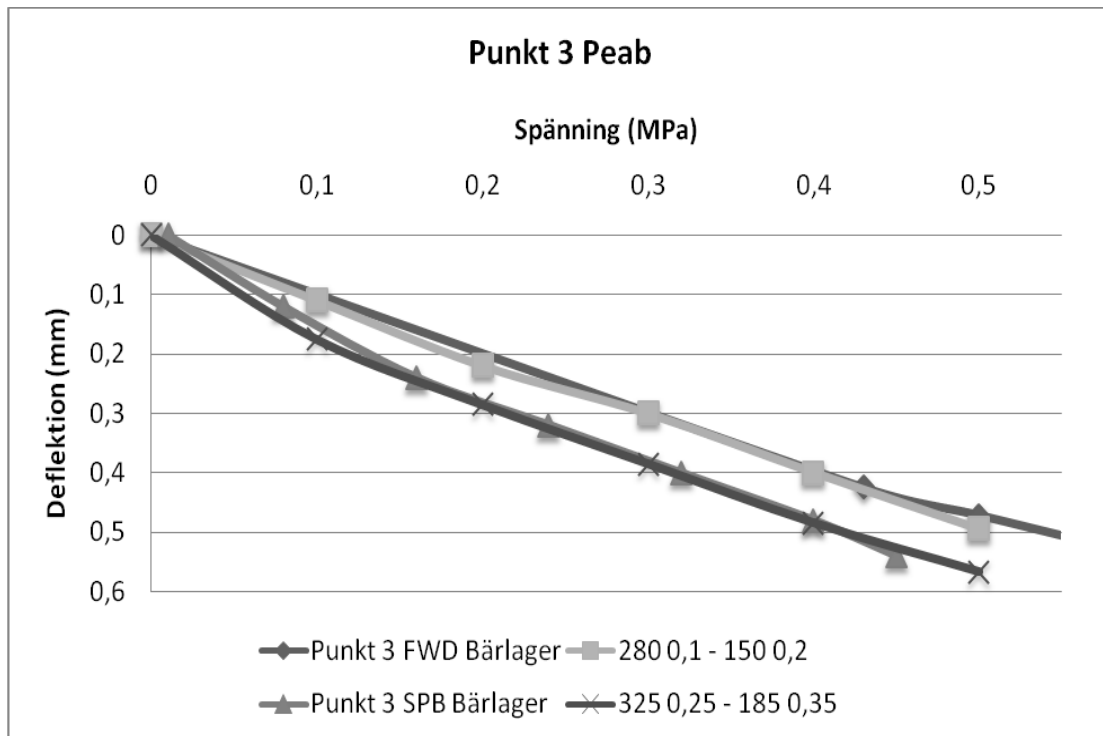
Punkterna utvärderades som tidigare med skillnaden att ett nytt lager C på 580 mm läggs till konstruktionen för att lösa ut konstanterna k_1 och k_2 för överbyggnaden. Eftersom kontrollen på obundna överbyggnaden genomförs på samma punkt som på terrassen används regressionskonstanterna som utvärderats i Tabell 8-12 ovan för det underliggande lagret. VägFEM analyserna för punkt 1-4 ses i Figur 8-10 till 8-13.



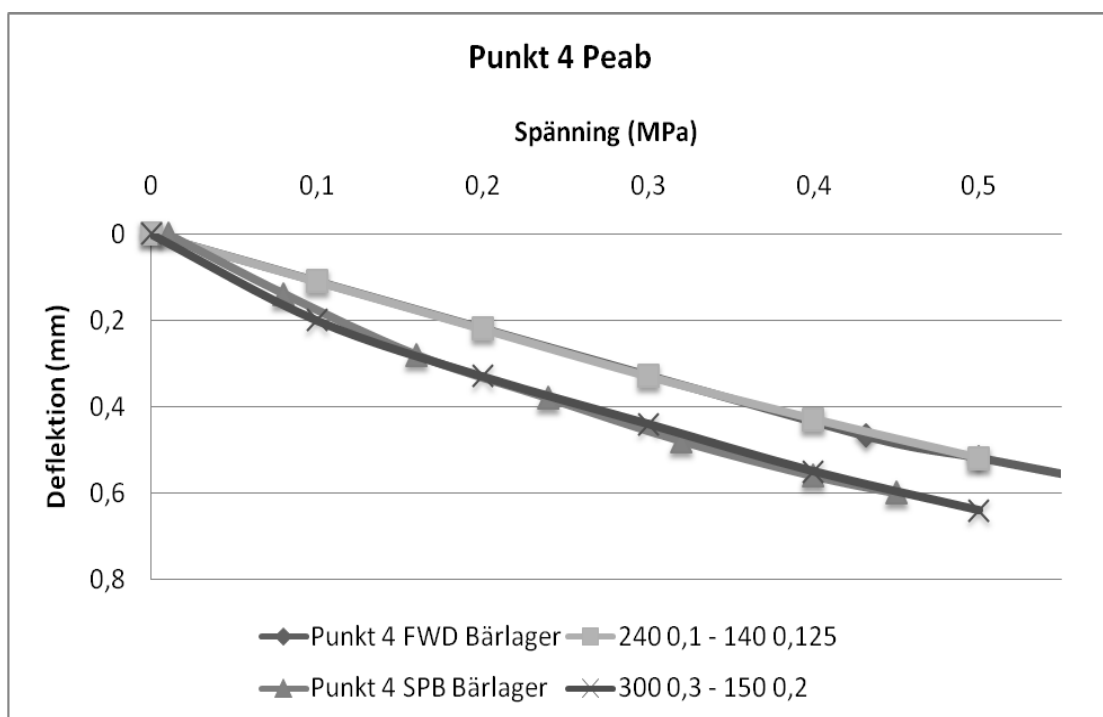
Figur 8-10 Deflektionskurvor för VägFEM och FWD, SPB



Figur 8-11 Deflektionskurvor för VägFEM och FWD, SPB



Figur 8-12 Deflektionskurvor för VägFEM och FWD, SPB



Figur 8-13 Deflektionskurvor för VägFEM och FWD, SPB

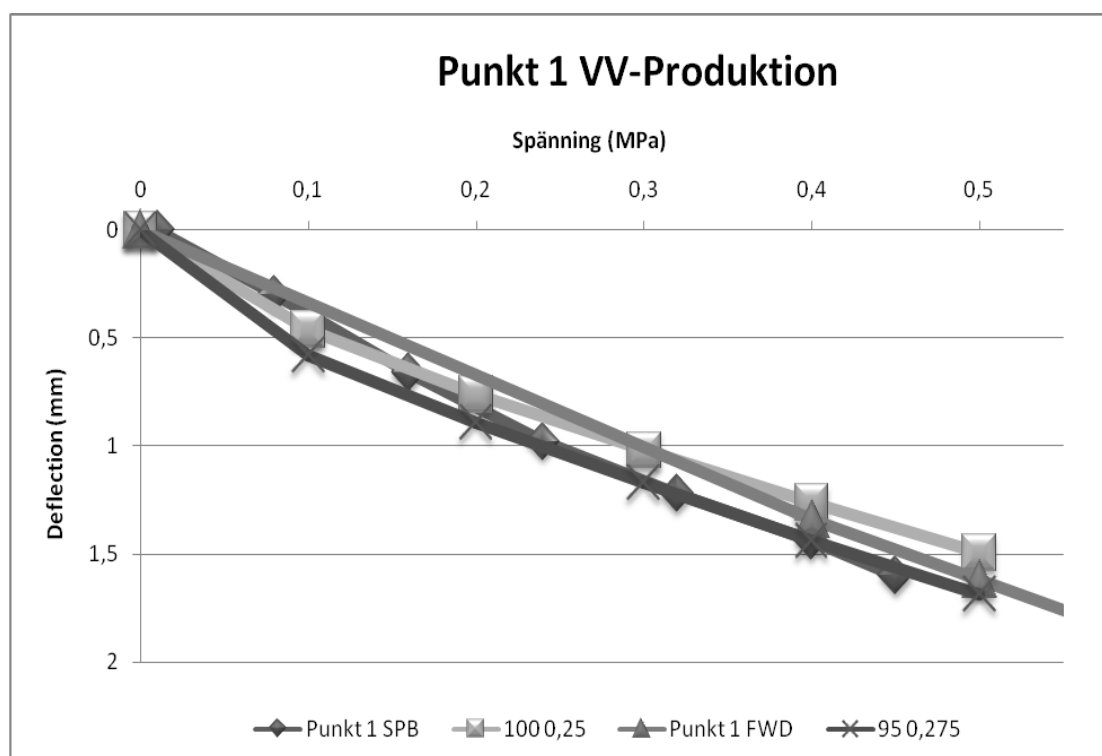
Diagrammen resulterar slutligen i resilientmoduler som beräknas för en 0,5 MPa belastning, se Tabell 8-13 på nästa sida.

Tabell 8-13 k_1 och k_2 utvärderat för obundet bärlager hos PEAB

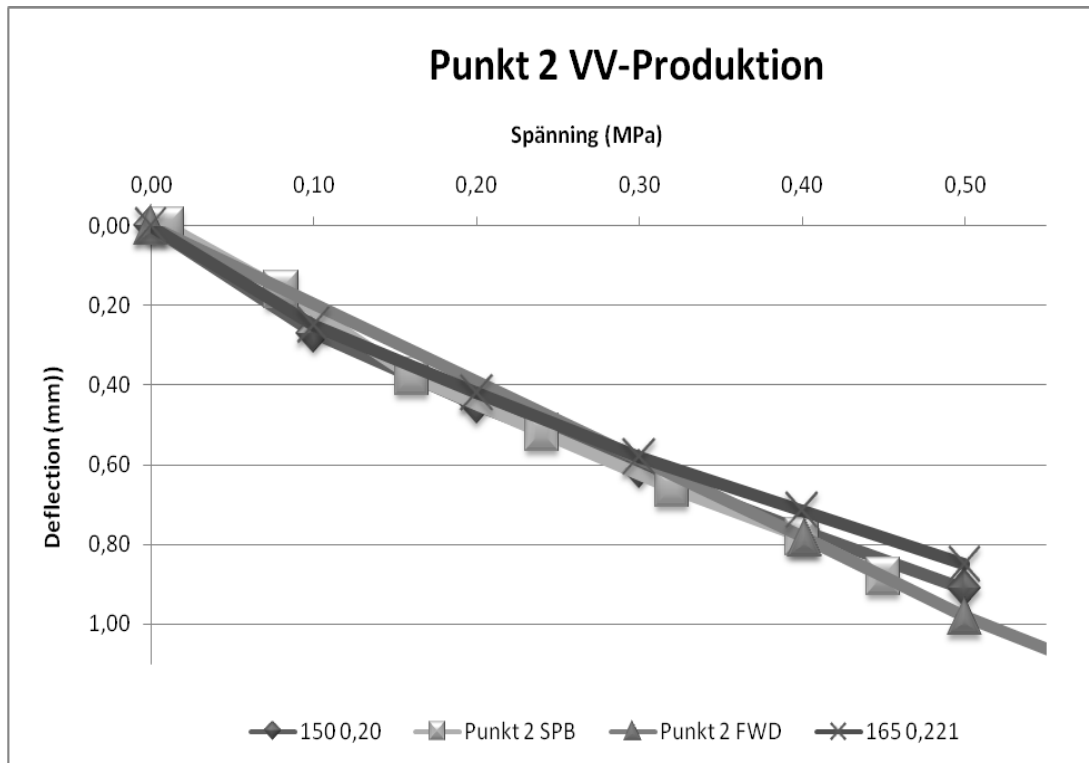
Punkt	Sektion	Sidmått	SPB			FWD		
			k_1	k_2	$M_{R, SPB}$	k_1	k_2	$M_{R, FWD}$
1	8/507,530	3,560	320	0,35	251	220	0,1	205
2	8/512,180	5,604	300	0,2	261	320	0,10	299
3	8/512,035	7,508	325	0,25	273	280	0,1	261
4	8/527,941	9,214	300	0,3	244	240	0,1	224

8.5.3 Vägverket produktion – terrass

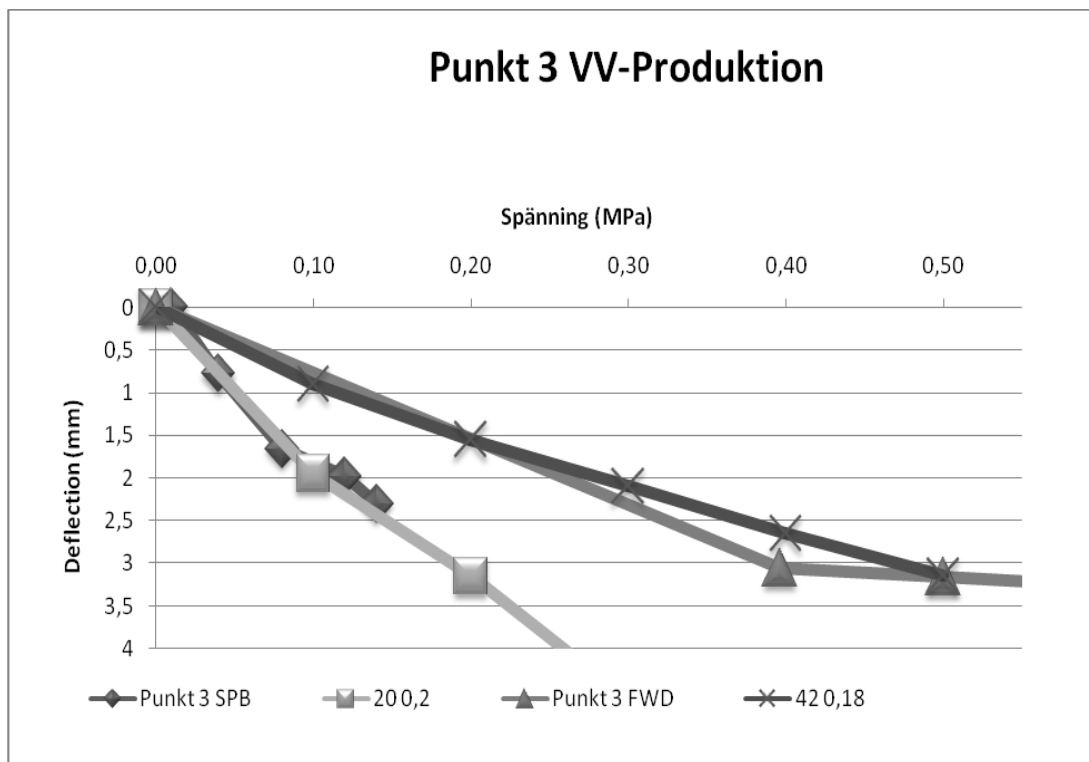
Analysen som genomförts på Peabs etapp sker på samma sätt på Vägverket produktions etapp.



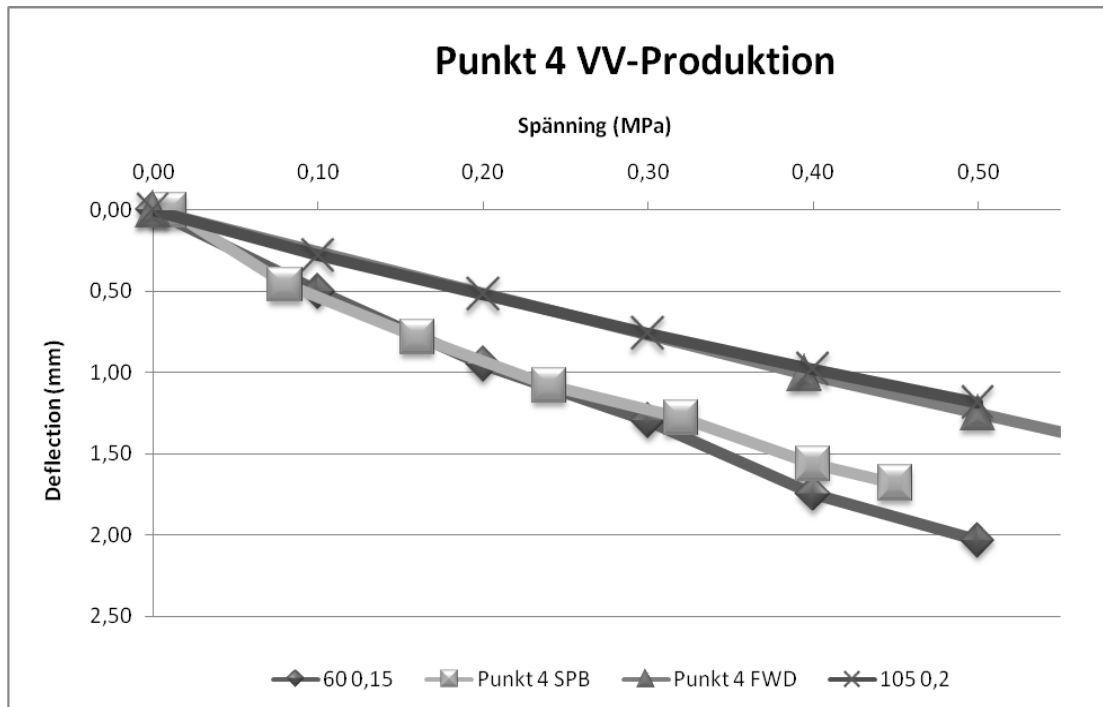
Figur 8-14 SPB och FWD mot VägFEM



Figur 8-15 SPB och FWD mot VägFEM



Figur 8-16 SPB och FWD mot vägFEM



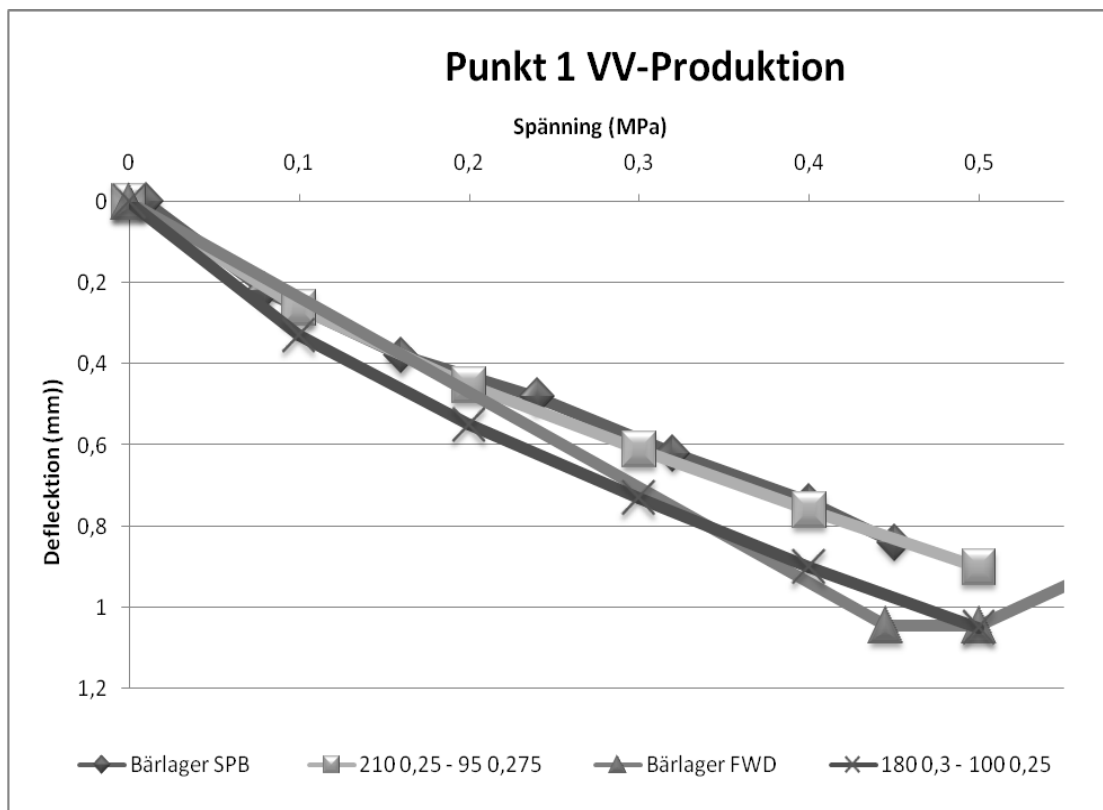
Figur 8-17 SPB och FWD mot VägFEM

Regressionskoefficienter k_1 och k_2 samt resilientmodulen M_R redovisas i Tabell 8-14.

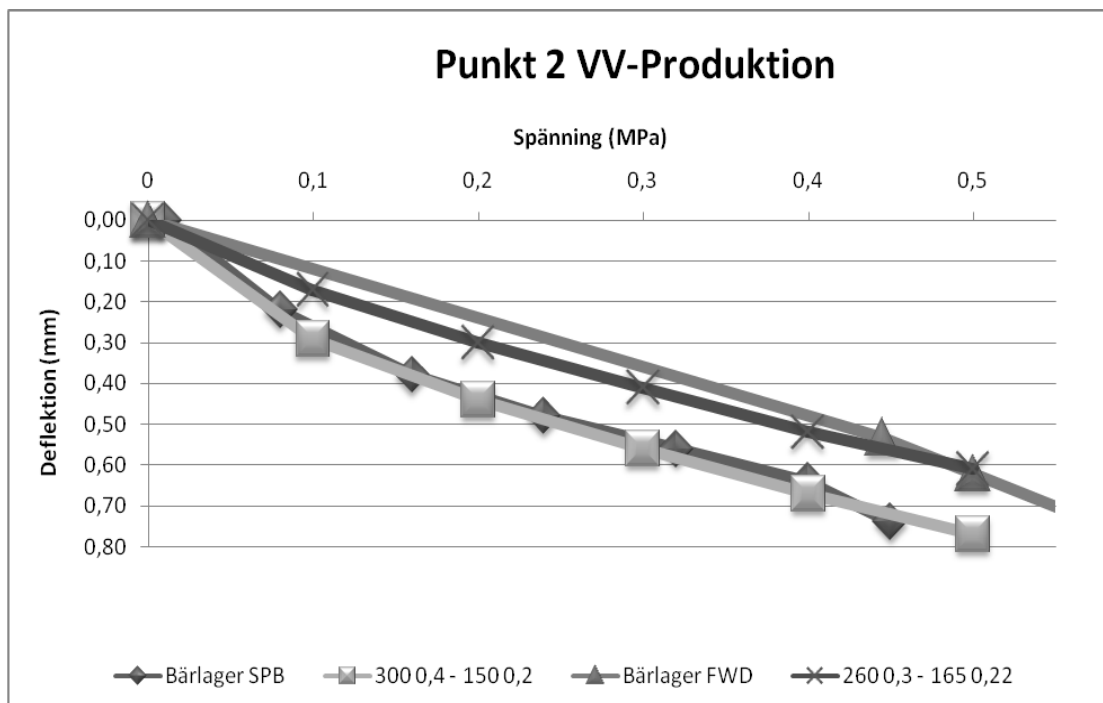
Tabell 8-14 k_1 och k_2 samt resulterande resilientmodul M_R för terrass hos Vägverket produktion

Punkt	Sektion	Sidmått	SPB		$M_{R, SPB}$	FWD		$M_{R, FWD}$
			k_1	k_2		k_1	k_2	
1	16/106	6,7	95	0,275	79	100	0,3	84
2	16/124	6,9	150	0,2	131	165	0,22	142
3	16/153	5,2	20	0,2	17	42	0,2	37
4	16/328	6,4	60	0,15	54	105	0,2	91

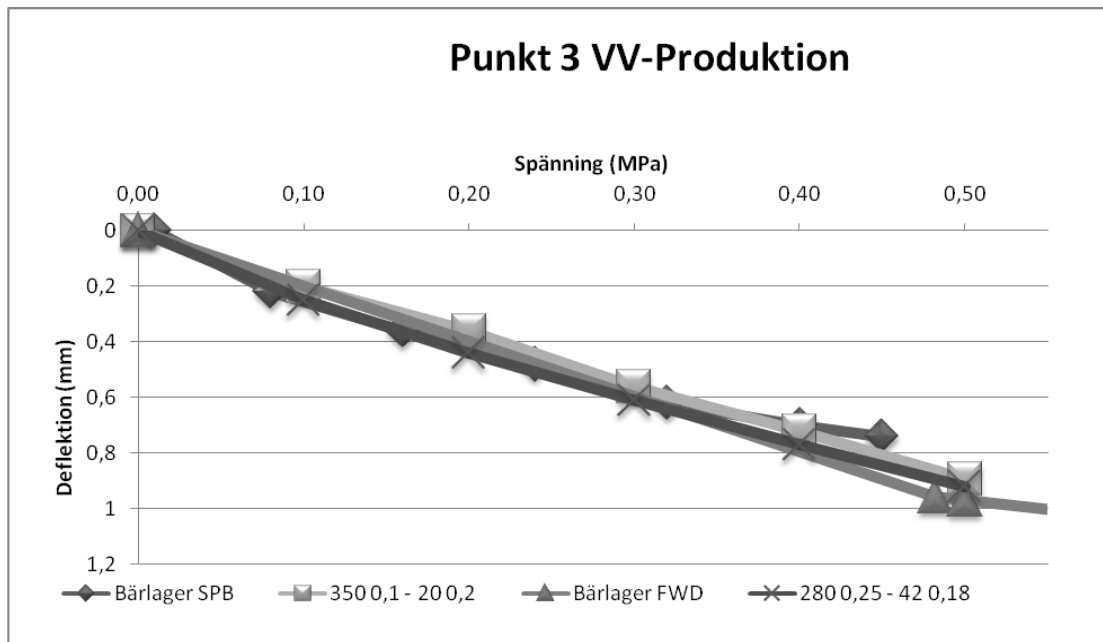
8.5.4 Vägverket production – obunden överbyggnad



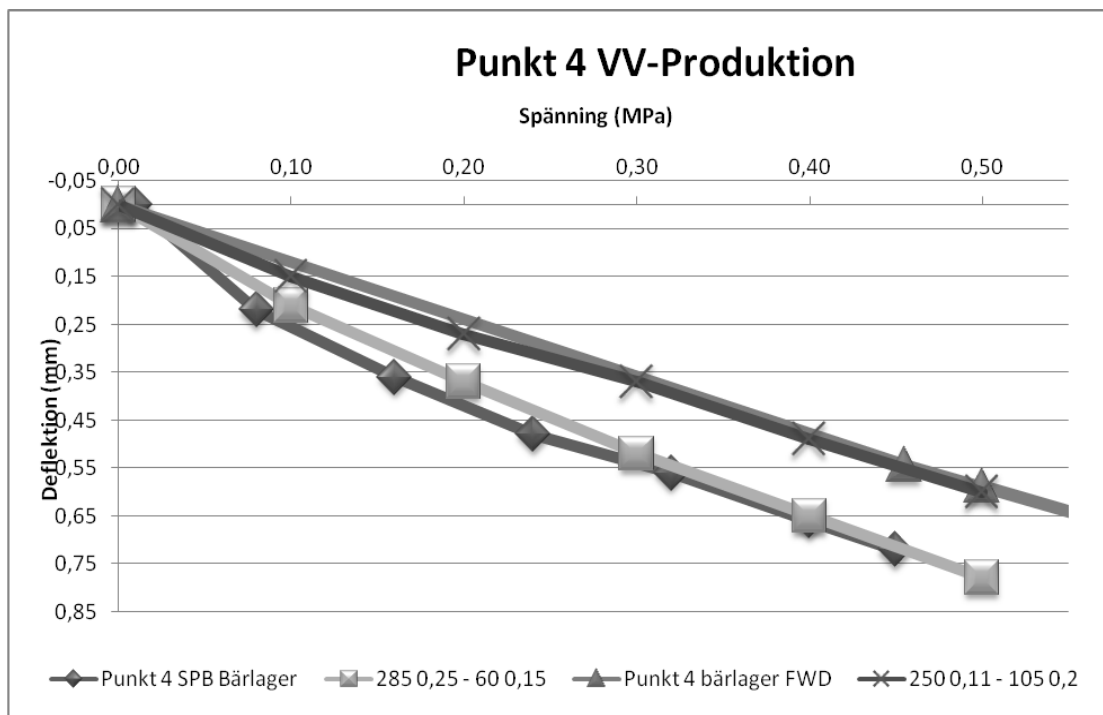
Figur 8-18 Punkt 1, Utvärdering av M_R - Obunden överbyggnad hos Vägverket production



Figur 8-19 Punkt 2, Utvärdering av M_R - Obunden överbyggnad hos Vägverket production



Figur 8-20 Punkt 3, Utvärdering av M_R - Obunden överbyggnad hos Vägverket produktion



Figur 8-21 Punkt 4 Utvärdering av M_R - Obunden överbyggnad hos Vägverket produktion

Regressionskonstanterna som analyserats fram ses i Tabell 8-15.

Tabell 8-15 k_1 , k_2 samt beräknad M_R för respektive punkt

Punkt	Sektion	Sidmått	SPB			FWD		
			k_1	k_2	$M_{R, SPB}$	k_1	k_2	$M_{R, FWD}$
1	16/106	6,7	210,0	0,25	177	180	0,30	146
2	16/124	6,9	300,0	0,4	227	260	0,30	211
3	16/153	5,2	350,0	0,1	327	280	0,25	235
4	16/328	6,4	285	0,25	240	250	0,11	232

9 Analys av elasticitetsmodulsutvärdering

9.1 CDS-mätning

CDS-mätning har genomförts vid alla tre fälttillfällena, resultatet visar inte på någon korrelation mellan CDS-värdet och resultatet från SPB och FWD. Orsaken till detta kan vara att vertikalacceleratoren i valsen genererar ett värde olikt det från SPB eller FWD på grund av dess stora kontaktyta. Bärighetsproven undersöker en liten yta medan välten kontrollerar ett betydligt större, inom det större området kan hårda områden finnas som blir avgörande då vertikalaccelerationen hos valsen mäts.

Även om metoderna inte stämmer väl överens så är YPK en bra metod för att ta reda på sämre områden i konstruktionen, och kan i dagsläget ligga till grund för ställen som borde kontrolleras med någon av de andra metoderna.

9.2 Jämförelse mellan bärighetsmodulerna E_0 och E_{V2}

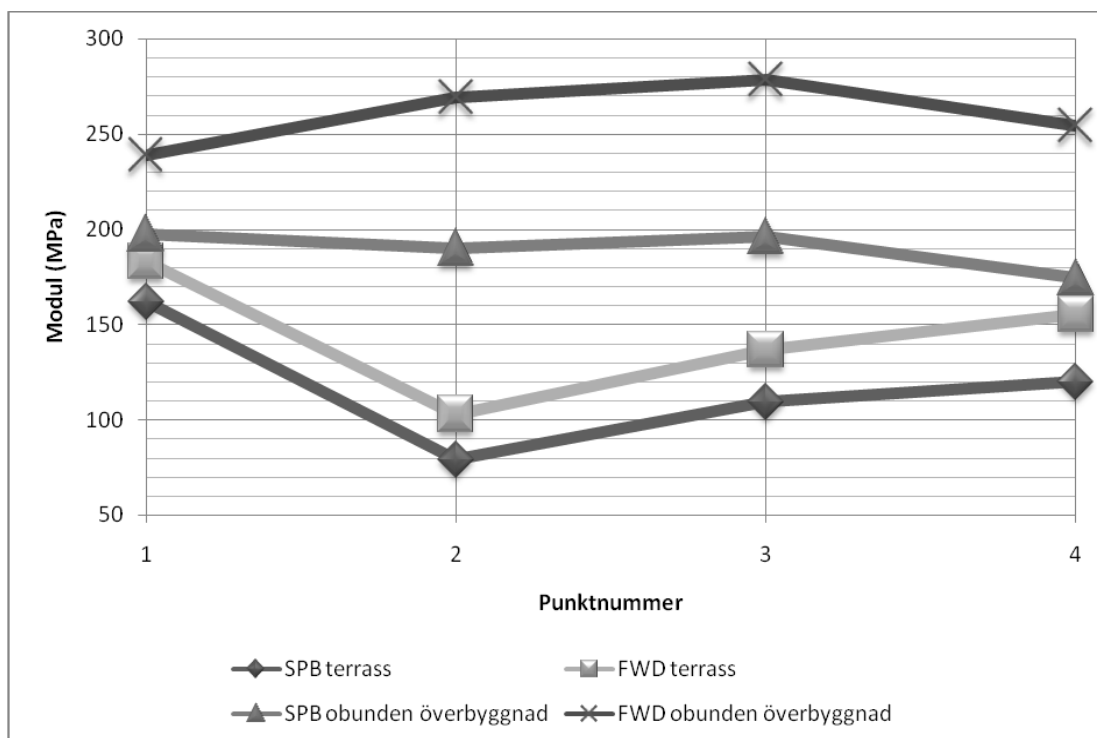
9.2.1 Peab

Bärighetsmodulerna från statisk plattbelastning och tung fallvikt som utvecklats ur fältförsöken skiljer sig åt, modulen blir högre vid användning av beräkningsmodellen för tung fallvikt. Vid terrass skiljer det mellan 20 ~ 30 MPa och ovanpå obundna överbyggnaden ökar skillnaden ytterligare till mellan 40 ~ 80 MPa, se Tabell 9-1

Tabell 9-1 Skillnad mellan E_{V2} och E_0

Punkt	Terrass			Obunden överbyggnad		
	E_{V2} (MPa)	E_0 (MPa)	Skillnad (MPa)	E_{V2} (MPa)	E_0 (MPa)	Skillnad (MPa)
1	162	183	21	198	239	41
2	79	103	24	190	269	79
3	110	137	27	196	279	83
4	120	156	36	174	254	80

Ytmodulen E_0 och E_{V2} skiljer sig åt vid terrassen, när bärigheten hos marken höjs ökar också skillnaden i resultat mellan SPB och FWD. Däremot syns tydligt att metodernas resultat följer varandra åt i Figur 9-1 nedan.



Figur 9-1 E_0 och E_{V2} för terrass och obundet bärlager hos PEAB

9.2.2 Vägverket produktion

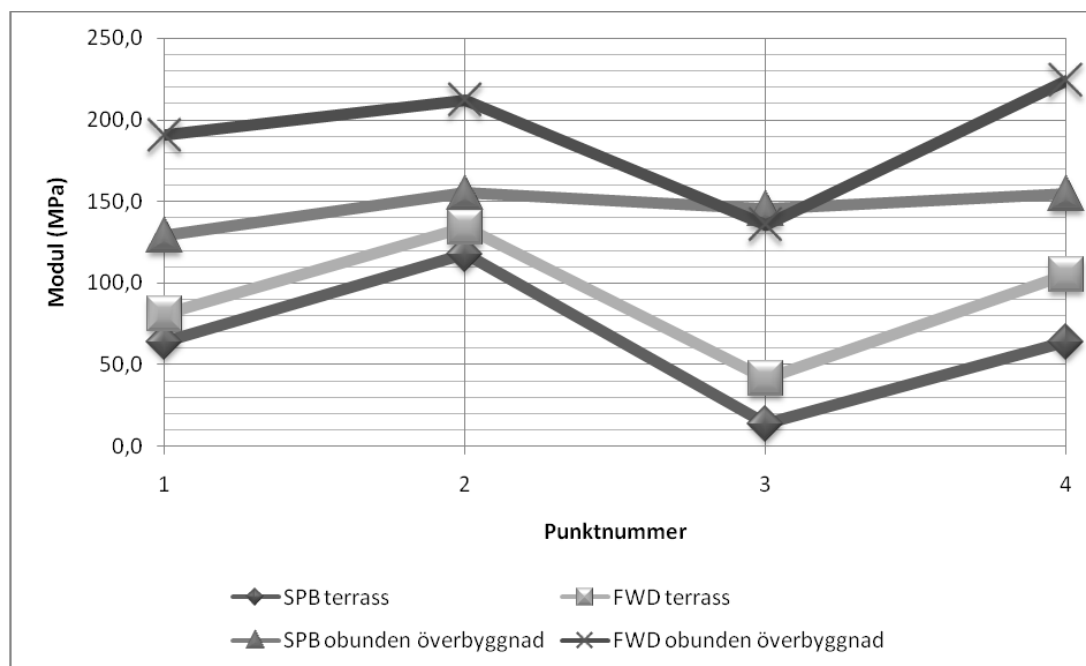
Resultaten vid etapp 5 skiljer sig från etapp 3, bärigheten på terrassen är lägre vilket ger till följd att lägre modulskillnader uppnås. Den lägre bärigheten vid etapp 5 leder också till att bärigheten ovanpå obundna överbyggnaden blir lägre än vid etapp 3. Vid terrassen skiljer sig bärighetsmodulen mellan 15 ~ 40 MPa och vid obundna överbyggnaden mellan 50 ~ 70 MPa, se Tabell 9-2.

Tabell 9-2 Skillnadstillväxt mellan FWD och SPB beroende på underlag

Punkt	Terrass			Obunden överbyggnad		
	E_{V2} (MPa)	E_0 (MPa)	Skillnad (MPa)	E_{V2} (MPa)	E_0 (MPa)	Skillnad (MPa)
1	64	81	17	129	190	61
2	118	134	16	160	214	54
3	14	42	28	145	136	-19
4	64	105	41	155	223	69

För punkt 3 som tidigare nämnts som en problematisk punkt där bärigheten varit väldigt låg på grund av vatten i väggroppen ses även problem vid obundna överbyggnaden. Bärighetsmodulen från tung fallvikt genererar ett lägre värde än den statiska plattbelastningen. Resultatet är underligt och troligen kan ses som ett misslyckat fallviktsförsök eftersom skillnaden mellan värdena tidigare varit konstanta värden.

Analyseras kurvorna i Figur 9-2 närmare ses dock att fallviktskurvan följer resultaten från terrassen och att det är den statiska plattbelastningen som troligen är felaktig.



Figur 9-2 E_{V2} och E_0 för samma punkter hos Vägverket produktion

9.3 Jämförelse mellan resilientmodul och bärighetsmodul

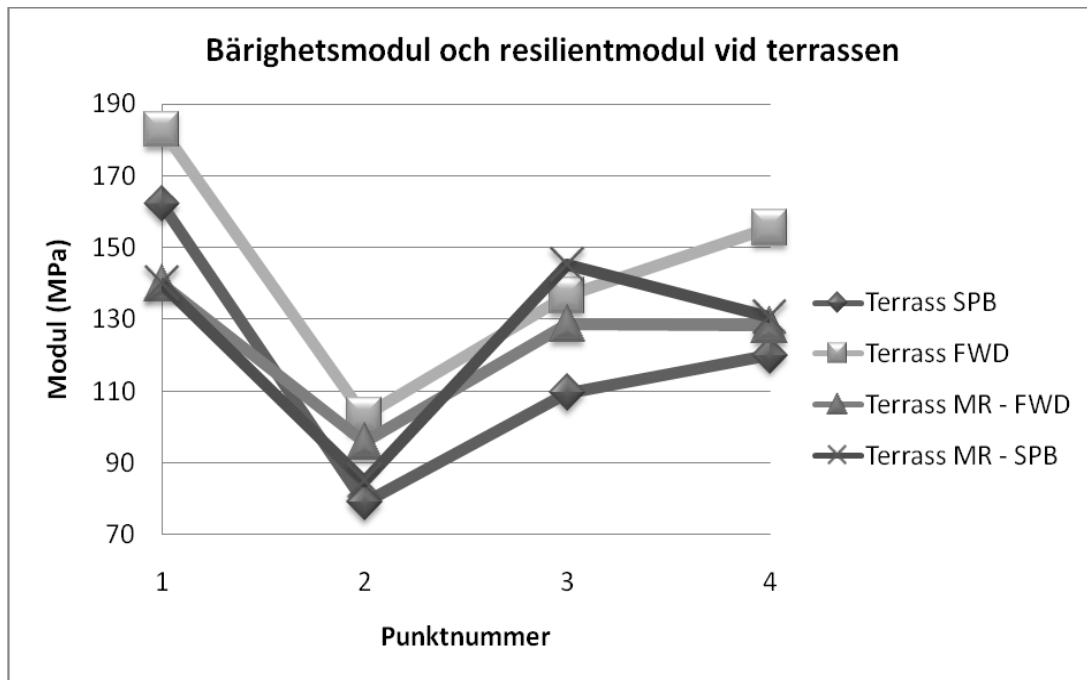
9.3.1 Peab

För att se hur väl resultatet av vägFEManalysen stämmer med beräkningsmetoderna för respektive kontrollmetod jämförs modulerna. Resilientmodulen M_R blir olika från metod till metod, E_{V2} från den statiska plattbelastningen genererar ett lägre värde än resilientmodulen M_R , SPB som utvärderats från dess deflektionskurva. Skillnaden mellan E_{V2} och M_R , SPB stämmer överens med skillnaden mellan bärighetsmodulen hos statisk plattbelastning och tung fallvikt. Mellan bärighetsmodulen E_0 och M_R , FWD ses M_R , FWD vara något lägre vid flera av punkterna. E_0 modulen ligger högre jämfört med M_R , FWD medan förhållandet är det motsatta med E_{V2} , se Tabell 9-3.

Tabell 9-3 Skillnad mellan E_0 , E_{V2} och M_R

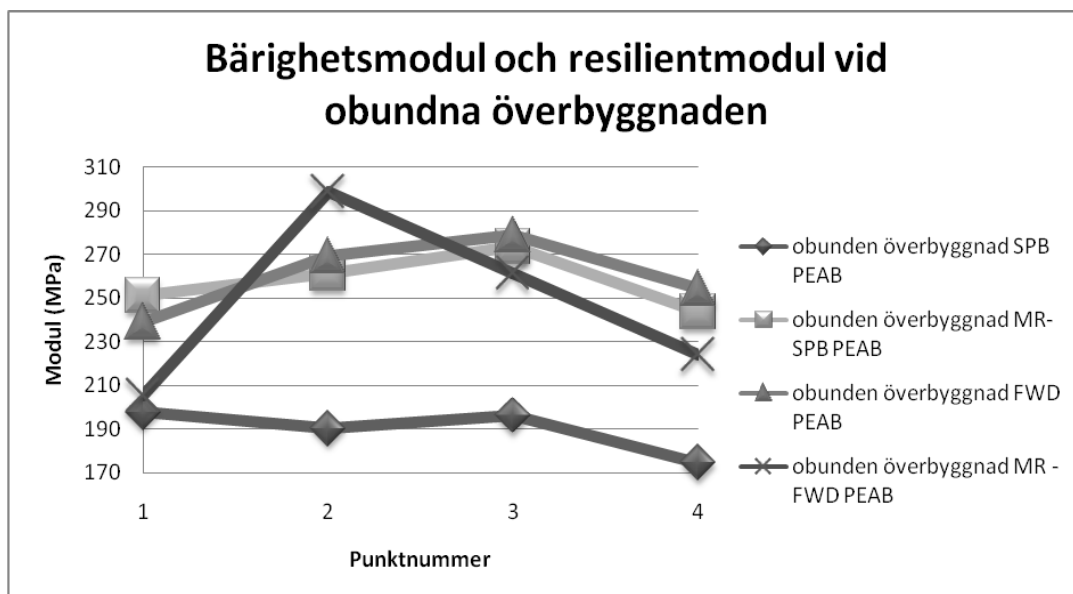
Terrass		Obundet bärlager	
$M_{R, SPB} - E_{V2}$	$M_{R, FWD} - E_0$	$M_{R, SPB} - E_{V2}$	$M_{R, FWD} - E_0$
-22	-24	53	-34
6	-2	71	29
36	1	77	-17
11	-12	69	-30

För att enklare se skillnaderna redovisas resultaten även i Figur 9-3 och 9-4 beroende på vilken del av väggroppen som analyseras.



Figur 9-3 Resilientmodul M_R och E_{V2} , E_0 för terrassen

Vid överbyggnaden blir det väldigt tydligt att bärighetsvärdet E_0 och resilientmodulen $M_{R, SPB}$ stämmer väl överens, se Figur 9-4.



Figur 9-4 Resilientmodul M_R och E_0 , E_{V2} vid obundna överbyggnaden

9.3.2 Vägverket produktion

Resultaten skiljer sig på samma sätt som vid etapp 3, E_{V2} är lägre än $M_{R, SPB}$ medan E_0 ligger i anslutning till $M_{R, FWD}$.

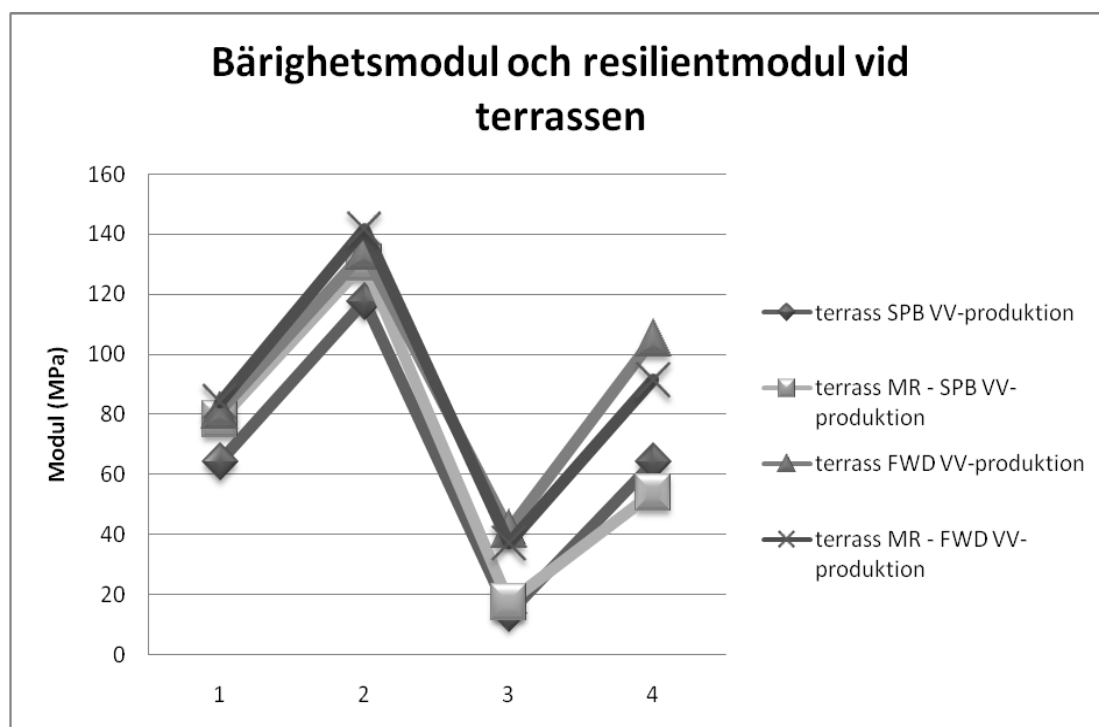
Vid punkt 3 är det som tidigare problem med värdena vilket resulterar i att $M_{R, SPB}$ är ungefär 100 MPa större i jämförelse med övriga punkter, detta trots att E_{V2} vid fältkontrollen inte skiljer sig från övriga punkter, se Tabell 9-1. Inverkan av den dåliga undergrunden blir väldigt stor i vägFEM. Detta betyder att högre

regressionskoefficienter behövs för att få deflektionskurvorna att stämma in, vilket resulterar i en väldigt hög resilientmodul för både $M_{R, SPB}$ och $M_{R, FWD}$. Skillnaderna mellan modulerna ses i Tabell 9-4.

Tabell 9-4 Skillnader mellan SPB, FWD och respektive resilientmodul

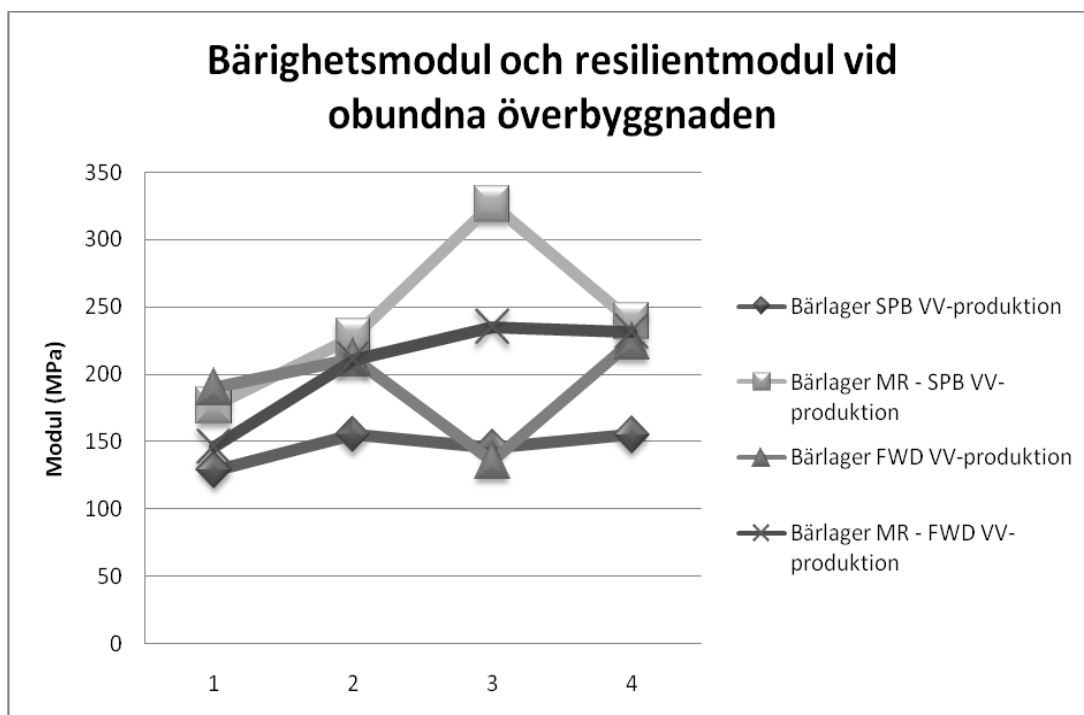
Terrass		Obundet bärlager	
$M_{R, SPB} - E_{V2}$	$M_{R, FWD} - E_0$	$M_{R, SPB} - E_{V2}$	$M_{R, FWD} - E_0$
14,4	2,8	47,7	-44,2
13,0	7,5	72,4	-0,8
3,6	-4,6	181,4	99,7
-10,0	-14,2	85,0	7,6

Precis som vid försöken vid etapp 3 ses att $M_{R, SPB}$ ökar betydligt mer än E_{V2} och att skillnaden mellan dem är ungefär som skillnaden mellan E_0 och E_{V2} . Vid terrassen varierar M_R från att vara högre eller lägre från punkt till punkt men kurvorna ligger i anslutning till varandra, se Figur 9-5.



Figur 9-5 E_0 , E_{V2} och M_R för terrassen hos Vägverket produktion

Vid närmare undersökning av värdena från obundna överbyggnaden ökar skillnaderna mellan modulerna. E_{V2} är betydligt mindre än beräknade $M_{R, SPB}$, medan E_0 och $M_{R, FWD}$ samt $M_{R, SPB}$ inte skiljer sig ifrån varandra nämnvärt förutom vid punkt 3 som behandlades tidigare, se Figur 9-6.



Figur 9-6 M_R , E_{V2} och E_0 för obunden överbyggnad hos Vägverket produktion

9.4 Problem med analysen

9.4.1 Inpassning av deflektionskurvorna

Vid analysen så har korrelationen av deflektionskurvorna jämförts i programmet Microsoft Excel. Deflektionskurvan från resultatfilen som lämnas från vägFEM har överförs till Excel genom att läsa av kurvan och skriva in deflektionerna för en viss belastning. På grund av detta kan givetvis överföringen av data vara felaktig. Att finna regressionskoefficienter som gör att deflektionskurvorna stämmer överens helt korrekt har inte gjorts vid analysen, detta ses i deflektionsfigurerna kopplade till Kapitel 8.5.

9.4.2 Påverkan av undergrunden

Vid vägFEManalys av obundna överbyggnaden användes regressionskoefficienterna från terrassen till att bilda undergrunden. Eftersom dålig bärighet konstaterats vid punkt 3 hos vägverket produktion på grund av omständigheterna vid fältförsöket påverkar det utformningen på regressionskoefficienterna för obundna överbyggnaden. Fältförsöken är väldigt beroende av förutsättningarna när testerna genomförs.

Undergrunden packas också ytterligare när överbyggnaden läggs till konstruktionen och packas. Detta gör att undergrunden får en högre elasticitetsmodul än vad som utvärderats vid fältförsök på terrass.

9.4.3 Inblandning av skjuvkrafter

Beräkningsmodell

Testerna som genomförts i rapporten har alla genomförts på obundna material med avsikten att utvärdera en olinjär elasticitetsmodul och undersöka om modulerna

överensstämmer. När asfalt läggs till konstruktionen minskar skjuvkraften τ_{oct} , och modulen hos de underliggande lagren höjs därför. VägFEM tar ingen hänsyn till skjuvkraften τ_{oct} , och därför behöver resultaten omvärderas ytterligare en gång, deflektionen hos materialet blir inte lika stor när asfalten lagts ut.

Ett enkelt test med bärighetsberäkning i VägFEM har genomförts för att illustrera problemet. Vid testet användes en profil bestående av undergrund och överbyggnad samt asfalt. Asfaltsjocklek och modul varierade dock för att åstadkomma en effekt av att ingen asfalt fanns vid en av körningarna. För att analysera resultatet från bärighetsberäkningen används en excelfil för att utvärdera permanenta deformationer. Inledningsvis beräknas effektivspänningen utifrån huvudspänningarna som blir en del av resultatet i excel filen med ekvation 10.1.

$$\tau_{oct} = \frac{\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}}{3} \quad (10.1)$$

där:

τ_{oct} = Effektivspänningen

σ = Huvudspänning

Med hjälp av effektivspänningen beräknas sedan MR på samma sätt som i VägFEM med tillägg för skjuvspänningens inverkan. Med hänsyn till skjuvspänningarna ser formeln ut enligt ekvation 10.2

$$M_R = k_1 \cdot p_a \left(\frac{\theta}{p_a}\right)^{k_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{p_a} + 1\right)^{k_3} \quad (10.2)$$

där:

p_a = Atmosfärstryck

θ = Tillförd spänning

Resultat

Bärighetsberäkningen genererade en fil som analyserades i excelfilen kallad permanenta deformationer. Ingångsdata till excelfilen som behövdes var information om de ingående materialens beskaffenheter, med hjälp av informationen i Tabell 9-7 genererades huvudskjuvspänningarna.

Tabell 9-7 Ingångs och materialdata till permanenta deformationer

layer A	Material	NCHRP 1-37A, asphalt concrete	
Material parameters	a_1	0.02	
	a_2	0.4	
	a_3	1.5	
Temperature	T	20	

layer C	Material	Gidel model	
Material parameters	ϵ_1^{p0}	0.05	
	B	0.01	
	N	0.5	
	M	2.5	
	S	20	

layer E	Material	Gidel model	
Material parameters	ϵ_1^{p0}	0.05	
	B	0.01	
	N	0.5	
	M	2.5	
	S	20	

Excelfilen gav följande huvudskjuvspänningar i överkant på den obundna överbyggnaden i skikt C för respektive körning med eller med lite asfalt, se Tabell 9-8.

Tabell 9-8 Huvudskjuvspänningar med lite och normalt med asfalt

Huvudskjuvspänningar			
	S1[Pa]	S2[Pa]	S3[Pa]
Med lite asfalt	-108053	-153960	-389047
Med asfalt	-31520	-38782	-114112

De tre huvudskjuvspänningarna utvärderas till en effektivskjuvspänning för respektive förhållande enligt ekvation 10.1 och redovisas i Tabell 9-9.

Tabell 9-9 Beräknade effektivspänningar vid försöket

τ_{oct}
123077
37340

Med effektivskjuvspänningarna som hjälp utvärderades sedan MR enligt följande ekvation 10.2 med ingångsdata enligt Tabell 9-10.

Tabell 9-10 Ingångsdatat till resilientmodulsberäkning

parameter	Med lite asfalt	Med asfalt
k1	150	150
k2	0,2	0,2
k3	0,2	0,2
P_a	100000	Pa
Θ	500000	Pa

Detta resulterade i modulerna:

Tabell 9-11 Resilienmodul M_R för försök med och utan asfalt

MR utan asfalt	17,64	MPa
MR med asfalt	19,41	MPa

På detta enkla sätt illustreras hur modulen hos underliggande marken varierar när hänsyn också tas till minskning av skjuvspänningar i de obundna lagren. Plattbelastningsmodellen i VägFEM som använts till utvärderingen av elasticitetsmodul vid fältförsöken är förenklad och tar inte hänsyn till skjuvspänningen.

10 Slutsatser

10.1 Aktiv design

Aktiv designprojektet är fortfarande i ett tidigt stadium och utrymme finns för utveckling. Projektet har krävt ökade insatser av samtliga inblandade men ökningen har varit rimlig och de flesta har fått, eller kommer att få, ut ett mervärde av sina insatser. För att kunna utvärdera mervärdet krävs för entreprenörens del att projektet slutförts och intäkter och utgifter sammanställts. Beställaren måste ändå vänta flera år innan denne kan vara säker på att projektet är framgångsrikt. Teorin talar dock till beställarens förmån. Om beställaren i stället skulle vänta till det framgånget att projektet lyckats, ungefärligen tio år, innan incitament utbetalas uppstår viss problematik.

Problematiken belastar både entreprenör och beställare. Problemet ligger i att entreprenörens utgifter blir utdragna över lång tid, och binder upp kapital, innan det fastställs att projektet lyckats eller misslyckats. Beställarens problem ligger i att budgetera för eventuella framtida utbetalningar där stora summor pengar reserveras för att eventuellt inte betalas ut om projektet inte lyckas, ger stort utrymme för osäkerhet. Då det sedan tidigare är strama ekonomiska förhållanden inom de statliga finanserna kan det vara svårt att motivera ett sådant tillvägagångssätt.

Projektet har mottagits positivt av samtliga om än med vissa tveksamheter. Flera av dessa tveksamheter kan begränsas eller elimineras med ökad förståelse för materialen som används eller ökad förståelse för det arbete som utförs av övriga inblandade aktörer i ett vägprojekt. Genom att införa Aktiv design i förfrågningsunderlaget kan man skapa en grund där Aktiv design initieras tidigt och genomsyrar hela projektet.

Genom att sprida Aktiv designprojektet inom branschen kan en hälsosam konkurrens hjälpa utvecklingen och resultera i att alla entreprenörer arbetar under samma förutsättningar. Genom att samma förutsättningar föreligger för alla kan kostnader, om än små, som belastar entreprenörer, som valt att använda sig av Aktiv design, påverka alla entreprenörer vid ett anbuds förfarande. Genom konkurrensen tvingas entreprenörer, som tidigare inte varit intresserade av projektet, anpassa sig till Aktiv design för att få möjlighet att lägga anbud.

Saker som de medverkande i projektet har tagit upp som problem handlar om fastställande av regler för hur packning av material skall gå till samt ett klarläggande av vad som krävs för att erhålla ett incitament. Inget av de inblandade projekten kring rv40 har investerat i utbildning av dess vältoperatör som de ändå kallat "byggets viktigaste person". Det visar inte på någon direkt kunskapsbrist eller vilja att försöka effektivisera packningen, utan istället har de förlitat sig på nya tyngre vältar och fler överfarter för att nå de goda resultat de behöver.

För att komplettera utvecklingen av bättre system i vältarna behövs utbildning om hur packning verkligen skall gå till, någonting som saknats på arbetsplatserna. Därför hade det varit bra med en lärobok som stöd för att utbilda vältmaskinister till att producera en bättre väg till mindre kostnad. Ändå kvarstår problemet med att många av arbetarna är nöjda med sitt arbete och inte eftersträvar att lära sig nya saker utan är nöjda med att bli tillsagda vad de skall göra.

10.2 Elasticitetsmodulsutvärdering

Skillnaden mellan E_{V2} och $M_{R, SPB}$ överensstämmer med skillnaden mellan E_{V2} och E_0 vid terrass och ovanpå obundna överbyggnaden. Vid examensarbetet är tendensen är att resultatet från fallviktsförsök stämmer väl överens med beräkningsmodellen vägFEMs grundläggande beräkning av elasticitetsmodul. Med avseende på detta skulle bärighetskontroll med tung fallvikt ge ett verkligare värde beträffande konstruktionens bärighet än den statiska plattbelastningen som används idag.

Att resultaten från jämförelsen mellan E_0 och M_R även överensstämmer visar på att utvärderingen av ett resultat från fältförsöken är betydligt bättre vid försök med tung fallvikt än med statisk plattbelastning.

Utvärderingen av M_R från vägFEM har dock flera brister vilket kan påverka resultaten från fältförsöken. Slutsatsen att försök med tung fallvikt är bättre som kontrollmetod och att resultatet från denna överensstämmer med en grundläggande beräkningsmodell för elasticitetsmodul kan därför vara felaktig. Några exempel på brister med undersökningen är:

- Insamlandet av data kan förbättras, vid fallviktsförsöken har inte så låga belastningar använts som vid statisk plattbelastning. Detta resulterar i att enbart två punkter använts för att passa in deflektionskurvan från vägFEM med fältförsöken.
- Inpassningen av deflektionskurvorna från fältförsök och vägFEM inte är tillräcklig.
- När lagret för den obundna överbyggnaden adderas till konstruktionen används de utvärderade regressionskonstanterna för terrassen till det undergrunden. Undergrunden packas dock ytterligare då ett nytt lager läggs till och därför ändras regressionskonstanterna.
- Förhållandet för de obundna lagren förändras när det bundna lagret läggs till konstruktionen. Skjuvkrafterna minskar och därmed ökar elasticitetsmodulen hos de obundna lagren.

Även om det finns brister kan beräkningsprogrammet vägFEM användas för att utvärdera elasticitetsmoduler utifrån mätdata erhållen vid fältförsök. Användarvänligheten är dock begränsad eftersom användaren behöver anta regressionskoefficienter för att slutligen finna en deflektionskurva som stämmer överens med den genererade i vägFEM.

11 Förslag till fortsatt utveckling

11.1 Aktiv design

Målet med Aktiv designprojektet har varit att förlänga underhållsintervallen och förlänga vägkonstruktionens livslängd, en allmän förbättring av vägens funktion. Delmål med projektet eller rent ut av positiva effekter som följer i bakvattnet är ett eventuell förbättrat ryckte för vägbranschen överlag. Aktiv designprojektet kan innefatta många delar av ett vägprojekt. Denna rapport har avgränsats till att endast behandla den del där ökad packningsgrad i obundna lager ger möjlighet för minskad asfalttjocklek. Då det finns möjligheter att utveckla branschen ytterligare har det vid insamlandet av material genom intervjuer framkommit möjliga infallsvinklar som kan härledas och inkluderas i ett Aktiv designprojektet.

Både beställare och entreprenörer har tidigare använt sig av möjligheten att till exempel ändra profiler och liknande åtgärder för att spara pengar i projektet. Åtgärder som sparar pengar åt beställaren och ofta även ger tillskott hos entreprenören. Det finns andra delar av ett vägprojekt där det med fördel kunnat minska kostnader eller på enkelt vis kunnats förbättra konstruktionen. Till exempel har massdisponeringen fördelats på ett sätt som förbättrat bärigheten, och omfattande dräneringsarbeten utförts då fukt har en negativ inverkan på bärigheten i de obundna lagren.

För att kunna bestämma framtida funktion och eventuella incitament för detta behövs modeller för att beräkna bärighet och nedbrytning. Det finns i dag ett antal modeller som utvecklats, ingen har dock allmänt erkänts som korrekt. De flesta modeller som tagits fram har på ett eller annat sätt förenklats för att kunna tillämpas i verkligheten på ett någorlunda enkelt sätt. Trots, och på grund av, att förenklingar gjorts finns det ändå program som har brister i handhavandet och förståelsen, modellerna kan därför upplevas som användarovänliga.

En fråga som uppkommer i sammanhanget är varför det krävs incitament för att prestera en väg med en bärighet och livslängd som håller högre klass än minimum. Är det så att anläggningsbranschen är så konservativ och ekonomiskt beroende att utveckling är långt från det primära målet.

För att inkludera ett incitament i förfrågningsmaterialet krävs stor vetskap om grundförutsättningarna för att risken för båda parter skall minimeras. Svårigheten är att incitamentets storlek varierar från projekt till projekt eftersom markförutsättningarna varierar från plats till plats. Därför går det inte att använda en fast summa per kontrollobjekt vid varje projekt utan risken måste utvärderas och vägas samman för att få en slutgiltig summa. Beställaren måste stå för mark/grundförutsättningarna så att entreprenören känner en tilltro till incitamentsprojektet, att kasta sig ut i mörkret i jakt på incitament löser ingenting eftersom entreprenören antagligen höjer sin byggkostnad något eftersom förutsättningarna inte är kartlagda på optimalt sätt.

Införande av incitament kan även leda till lägre kostnader eftersom en asfaltminskning leder till mindre byggkostnader för entreprenören som även inkasserar en bonus om arbetet utförts med fullgott resultat. Incitamentet ses som ett sätt att få entreprenören och beställaren att närma sig varandra för att tillsammans bygga en billigare och bättre

väg. Beställarombudet har moroten att få bonus om bygget blir billigare än väntat och entreprenören får större inkomst. När båda parterna ser en chans att tjäna pengar ökar samarbetet och detta leder förhoppningsvis till förenklade och effektivare metod vid konstruktionen. Väljs istället att bara höja kravnivån uppstår inte samverkansbehovet från båda parter på samma sätt.

- Det skulle kunna finnas flera olika sätt att introducera incitament i förfrågningsunderlaget:
- En summa per kontrollobjekt där asfaltminskning eller högre bärighet uppnås, på samma sätt som genomförts vid testprojektet utmed rv40.
- Det enklaste sättet att betala ut incitament är om entreprenören klarar av att sänka asfalttjockleken och ändå får behålla de pengarna som asfaltbeläggningsen skulle ha kostat.

Det finns också möjlighet till att använda incitament där avvikelser i bärighet och kvalitet hos vägen utvärderas med VMV alternativt georadar för att se att jämn kvalitet uppnåtts hos vägkroppen. Genom att undvika avvikelser i bärighet inom ett område kan en ökad funktion antas och ett incitament utbetalas.

Funktionsentreprenader behöver vara stora vägvägsnitt eftersom det blir krångligt då flera entreprenörer skall genomföra underhållsåtgärder på sina små vägområden under garantitiden. Behövs det under garantitiden genomföra förbättringar kostar det pengar så fort entreprenören behöver ut på vägsträckan för att åtgärda brister. Kostnaderna som tillkommer vid ett eventuellt stängning av till exempel ett körfält styrs av effektsamband. Därför ser entreprenören det som bättre att leverera med bra kvalitet och slippa underhållsåtgärderna. På så vis efterlämnar de en bra produkt efter garantitiden. Vid överlämnandet av färdig väg efter funktionsentreprenadens garantitid (ca 15 år) används spårdjups-, jämnhets- och friktionsmätningar för att utröna vägens egentliga funktion. Utifrån detta ska beräknade framtida underhållsåtgärder jämföras med bedömda framtida underhållsåtgärder för att få till stånd ett incitament till entreprenören.

Vid konstruktioner där det inte går att minska beläggningstjockleken, tunna konstruktioner på 13-14 cm, kan det ändå utgå ett incitament. På dessa konstruktioner måste modellerna som beskrivits i rapporten utvecklas ytterligare, då arbetas det med någon form av bonus som baseras på en ökad bärighet i färdig konstruktion tillskillnad från incitament där framtida funktion beräknas. En summa utgår då som bonus beroende på uppmätt bärighet hos obundna lagren, på samma sätt som vid alternativ 1 ovan. Skillnaden är dock att asfaltlagret inte minskas, trots att incitament betalas ut.

För att inte orsaka problem med finanserna, lägger man på incitamentkostnaden på projektet och kan på så sätt få ut pengarna på en gång. Misslyckas entreprenören med att nå tillräcklig bärighet ses det istället som en vinst för beställaren då pengar finns över.

11.2 Elasticitetsmodulsutvärdering

Statisk plattbelastning som används för bärighetskontroll idag är en långsam metod och enligt slutsatsen i rapporten är värdet som genereras, inte heller helt korrekt. Användning av en tung fallvikt skulle inte bara resultera i mätdata som stämmer bättre överens med verkligheten utan bärighetskontrollen skulle kunna utökas för att få fler kontrollpunkter. Ett fallviktsprov tar inte mer än en minut, och därför skulle större områden kunna undersökas mer utförligt på samma tid som bara ett fåtal statistiska plattbelastningar genomförs. Kontroll med fallvikt kräver inte heller en motvikt som till exempel en vält för att genomföras och hindrar därför inte fortsatt arbete med välten. Inköpskostnaden av en fallvikt är större än den för utrustning till statisk plattbelastning, men samtidigt kan fler punkter utvärderas för att få en form av yttäckande bärighetskontroll.

Yttäckande packningskontroll behöver utvecklas ytterligare för att i framtiden fungera som en slutgiltig metod vid packning, processerna skulle snabbas på och arbetet förenklas betydligt om välten kunde generera en riktig elasticitetsmodul för underlaget. Om så vore fallet skulle ingen av ovanstående metoder behöva användas och kontroller skulle kunna ske kontinuerligt i den takt som ytor blir färdiga för packning. Dock behöver metoderna vara fristående från kalibrering mot statisk plattbelastning, som används av flera vältfabrikanter idag.

Inför framtiden finns en mängd områden att arbeta vidare med, funktionskontrollen på arbetsplatserna behöver utvecklas ytterligare för att generera ett värde som kan användas till modeller för utveckling av framtida funktion hos väggkroppen.

12 Referenser

Internet

Bengt Jäderholm, 2006-04-11, FIA i Sverige, Alternativa samverkansformer, <http://www.fiasverige.se/files/fileArchive/Projekt//Alternativa%20samverkansformer/FIA%20Rekommendation-Samverkan%20för%20ökad%20effektivitet.pdf> 19/10/2007

Byggledarna – Leder byggen till bättre hus, (2007-10-19), Entreprenadformer, <http://www.byggledarna.se/entreprenadform.htm>, 19/10/2007

CHAOS, <http://chaos.vv.se>, 19/10/2007

FB Engineering, (2005-10), Vägverket Region Väst: Väg 40 - Utbyggnad av motorväg, delen Brämhult – Dällebo: Projektinformation September 2005; www.vv.se/filer/6158/broschyr_v40_delen_Brämhult-Dällebo.pdf, 24/10/2007

FIA, 2006; Projektresultat; Alternativa samverkansformer (2006-04-11); <http://www.fiasverige.se/files/fileArchive/Projekt//Alternativa%20samverkansformer/FIA%20Rekommendation-Samverkan%20för%20ökad%20effektivitet.pdf> 22/11/2007

Geodynamik; Dokumentationssystem för Yttäckande Packningskontroll: CDS-012-J <http://www.geodynamik.com/languages/pdf/mcdse010.pdf> 19/11/2007

Johansson, Mats S (2007-10-16) Volvo IT: Användarhandledning för VägFEM http://vagfem.volvo.com/vagfem/images/guide/VagFEM_Manual.htm

Nils-Gunnar Göransson, (2007), VTI notat 2-2007: *Prognosmodell för spårutveckling orsakad av tung trafik – Delmoment för nybyggnation*, http://www.vti.se/templates/Report_2796.aspx?reportid=7321, 19/10/2007

Peter Molin, Harri Spoof, (2006-06-20), GNA - Gemensam Nordisk Anläggningsmarknad; Utkast: Utveckling av entreprenadformer och alternativa Samarbetsformer, <http://ptl.fi/NVFnorden/priv/gna/documents/utveckling/GNA-slutrapport-entreprenadform.pdf>, 19/10/2007

SABO – de allmännyttiga bostadsföretagens organisation, (2007), Allmänt om upphandling av entreprenader, <http://www.sabo.se/2295.ASP>, 19/10/2007

VV Vägverkets FUD-program: DO-nummer 42:2128, Benämning Vägkonstruktion www20.vv.se/fudinfoexternwebb/pages/DoVisaNy.aspx?id=32 5/9/2007

VV Metodbeskrivning 112 (1998), Vägverket publikation: *Deflektionsmätning vid provbelastning med fallviktsapparat*, www.vv.se/filer/publikationer/vvmb112.pdf 13/6/2007

VV Metodbeskrivning 603 (1994), Vägverket publikation: *Yttäckande packningskontroll*, www.vv.se/filer/publikationer/vvmb603.pdf 13/6/2007

VV Metodbeskrivning 114 (2000) Vägverket publikation: *Bearbetning av deflektionsdata, erhållna på väg belastade med FWD-apparat*, www.vv.se/filer/publikationer/vvmb114.pdf 13/6/2007

VV Metodbeskrivning 606 (1993) Vägverket publikation: *Bestämning av bärighetsegenskaper med statistisk plattbelastning*, www.vv.se/filer/publikationer/vvmb606.pdf 13/6/2007

VV Metodbeskrivning 111 (1997) Vägverket publikation: *Vägytemätning av objekt* www.vv.se/filer/publikationer/mb111.pdf , 19/10/2007

Werner, Mats (2004-10-08) FB Engineering AB: Normalsektion Väg 40 Brämhult - Rångedala kallad *110T0401.PLT* ,<http://chaos.vv.se>, 17/8/2007

Muntlig källa

Huvstig, Anders (2007) handledare

Opublicerad litteratur

Huvstig, Anders (2006): *Aktiv design av vägens överbyggnad*. VVÄsp(2006)

Publicerad litteratur

Wågberg, L.-G. (1991): *Bära eller brista – Handbok i tillståndsbedömning av belagda gator och vägar*. Svenska Kommunförbundet, VTI och Vägverket, 1991

Forssblad L (2000): *Packning*. Svensk byggtjänst, Stockholm

Locke, Björn Loven, Joel (2007): Validering och utveckling av modeller för beräkning av tillståndsutveckling hos vägar - Inriktning på permanenta deformationer i obundna lager; Institutionen för bygg- och miljöteknik; Avdelningen för geologi och geoteknik; CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA; Examensarbete 2007:18

Rosengren, Peter Sanohradski, Davor (2007): Modell för klassificering av ytor för selektiva bärighetsförbättrande åtgärder; Institutionen för bygg- och miljöteknik; Avdelningen för geologi och geoteknik; CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA; Examensarbete 2007:15

Camargo, Larsen, Chadbourn, Roberson, Siekmeier, 2006: *Intelligent Compaction: A Minnesota Case History*. 54th Annual University of Minnesota Geotechnical Conference .February 17th, 2006. Minnesota Department of Transportation-Office of Materials, Maplewood, Minnesota USA)

13 Bilagor

Bilaga I Dimensioneringsförutsättningar

Bilaga II Dimensionering av Rv40 med PMS objekt med indata från (Werner Mats, 2004)

Bilaga III Ändrade värden i PMS-objekt för Aktiv design då marken är ytterligare packad.

Bilaga IV Dimensionering med PMS objekt efter packningsinsats och minskning av beläggningstjockleken

Bilaga V Krav på terrass och överbyggnad vid minskning av beläggningstjocklek

Bilaga VI CDS-mätning hos Peab

Bilaga VII Utvärdering av statisk plattbelastning vid terrass hos Peab

Bilaga VIII Fallviktsprov från terrass hos Peab

Bilaga IX Utvärdering av statisk plattbelastning vid obunden överbyggnad hos Peab

Bilaga X Fallviktsprov från obundet bärlager hos Peab

Bilaga XI CDS-mätning hos vägverket produktion

Bilaga XII Utvärdering av statisk plattbelastning vid terrass hos Vägverket produktion

Bilaga XIII Fallviktsprov från terrass hos Vägverket produktion

Bilaga XIV Utvärdering av statisk plattbelastning vid obunden överbyggnad hos Vägverket produktion

Bilaga XV Fallviktsprov från obundet bärlager hos Vägverket produktion

DIMENSIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VÄG 40:

REFERENSHASTIGHET: 110 km/h

KLIMATZON: 2

DIMENSIONERINGSPERIOD FÖR BUNDNA LAGER: 20 ÅR

ACKUMULERAD TRAFIKLAST PER KÖRFÄLT: $N_{ekv} = 11$ MILJ. STD.AXLAR

ÅDTk: 5500 f/d

ÅDTkjust: 7100 f/d

ÅDTktung: 700 f/d

ÅDTkstab: 600 f/d

DIMENSIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ÖVRIGA

GATOR OCH VÄGAR SE RITNING 110T0402

från normalsektionen för rv40

Bilaga II Dimensionering av Rv40 med PMS objekt med indata från (Werner Mats, 2004)

Skapad med PMS Objekt version 4.2

Utskriftsdatum: 2007-08-14 12:30

Projektinformation - PEAB riktigt

Skapat: 2007-08-14 12:14

Kommentarer till projektet

Avsnittsinformation - Peab E3

Avsnitt nr:	1
Avsnittstyp:	NYBYGGNAD
Skapat datum:	2007-08-14 12:18
Vägnummer:	40
Klimatzon:	Klimatzon 2
Referenshastighet(km/h):	110
Antal körfält:	4
Län:	Västra Götaland
Dimensioneringsperiod(år):	20
Avsnittslängd(m):	100
Vägbredd(m):	21,5
Vägrensbredd(m):	2
Vägtyp:	Motorväg
Körfält:	K1

Trafikberäkning avsnitt

Beräkningsmetod: Angivet ekvivalent antal standardaxlar

Ekvivalent antal standardaxlar: 11 000 000

Konstruktionens uppbyggnad

Överbyggnadstyp: GBÖ E2 - basse

Egen överbyggnadstyp: JA

Materialtyp, övre terrass: 4a - Blandkornig jord > 30%

Tjälfarlighetsklass övre terrass: 3 - Måttligt tjällyftande

Lager

Lageröversikt

Lager	Tjocklek(mm)	Förändrat	Namn	
1	40	NEJ	Bitumenbundet slitlager	
2	60	NEJ	Bindlager	
3	70	NEJ	Bitumenbundet bärlager	
4	80	NEJ	Obundet bärlager	
5	500	NEJ	Förstärkningslager krossat material	
6	0	NEJ	4a - Blandkornig jord > 30%	ÖVRE
TERRASS				

Total tjocklek ovanför övre terrassyta: 750

Styvhetsmoduler [MPa]

Lager	Vinter	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår	Sommar	Höst
1	14500 11000	13000	12000	11500	4000	
2	15000 10000	15000	10000	10000	4000	
3	12500	10500	10000	9500	3000	9000
4	1000	150	300	450	450	450
5	450	450	450	450	450	450
6	1000	1000	30	40	50	50

Övriga egenskaper

Lager	Lyft	ω	ρ	η	σ	λ_{ofr}	λ_{fr}
1	NEJ	0,01	2200	0,17	0,13	2	2
2	NEJ	0,01	2200	0,17	0,13	2	2
3	NEJ	0,01	2200	0,17	0,13	2	2
4	NEJ	0,03	2000	0,25	0,24	1,33	1,02
5	NEJ	0,03	2000	0,25	0,24	1,33	1,02
6	JA	0,2	1700	0,36	0,94	1,61	2,5

Bärighetsberäkning

Beräkningsmetod: Egen

Korrigeringsfaktor för dränering(FD): 1,0

Antal axellaster, ackumulerad avseende:

Krav i underkant bitumenlager

Ntill, bb: 14 653 300

Nekv: 11 000 000

Kvot: 0,75

Terrassytekraft

Ntill, te: 41 678 164

Nekv * 2: 22 000 000

Kvot: 0,53

Vertikala trycktöjningar(strain)

Töjning i terrassytan, enstaka last(strain)

Beräknad: 0,0006

Största tillåtna: 0,0024

Kvot: 0,26

Töjningar i detalj(strain)

Dragtöjning i bitumenlager, ackumulerad

Vinter	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår	Sommar	Höst
--------	---------------------	--------------	--------	--------	------

0,0000610,0000880,0000940,0000900,0001580,000092

Trycktöjning i terrassytan, ackumulerad

Vinter	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår	Sommar	Höst
--------	---------------------	--------------	--------	--------	------

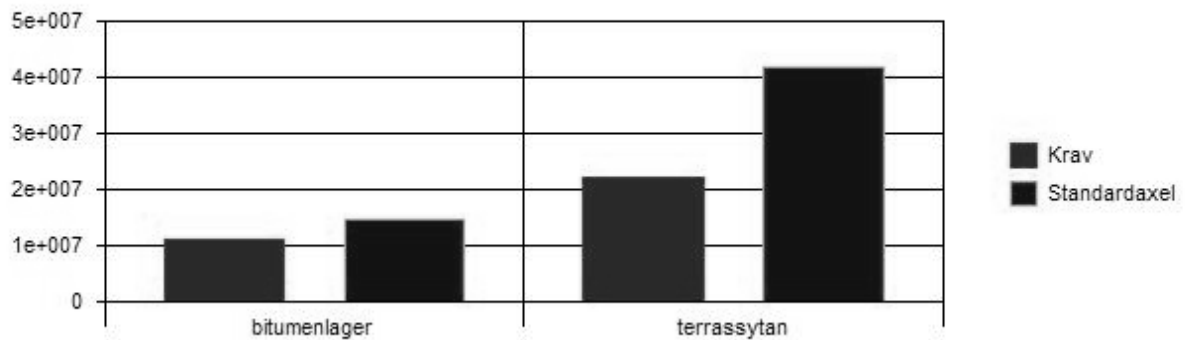
0,0000280,0000310,0002390,0002120,0002340,000197

Trycktöjning i terrassytan, enstaka last

Vinter	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår	Sommar	Höst
--------	---------------------	--------------	--------	--------	------

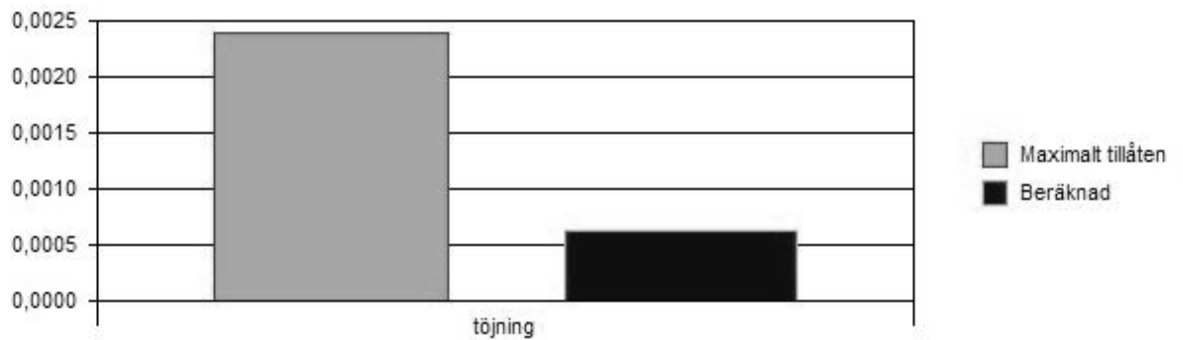
0,0000730,0000790,0006160,0005450,0006020,000506

Antal axellaster, avser töjning i:



Antal axellaster, avser töjning i bitumenlager och terrassyta

Trycktöjning i terrassyta, av enstaka last

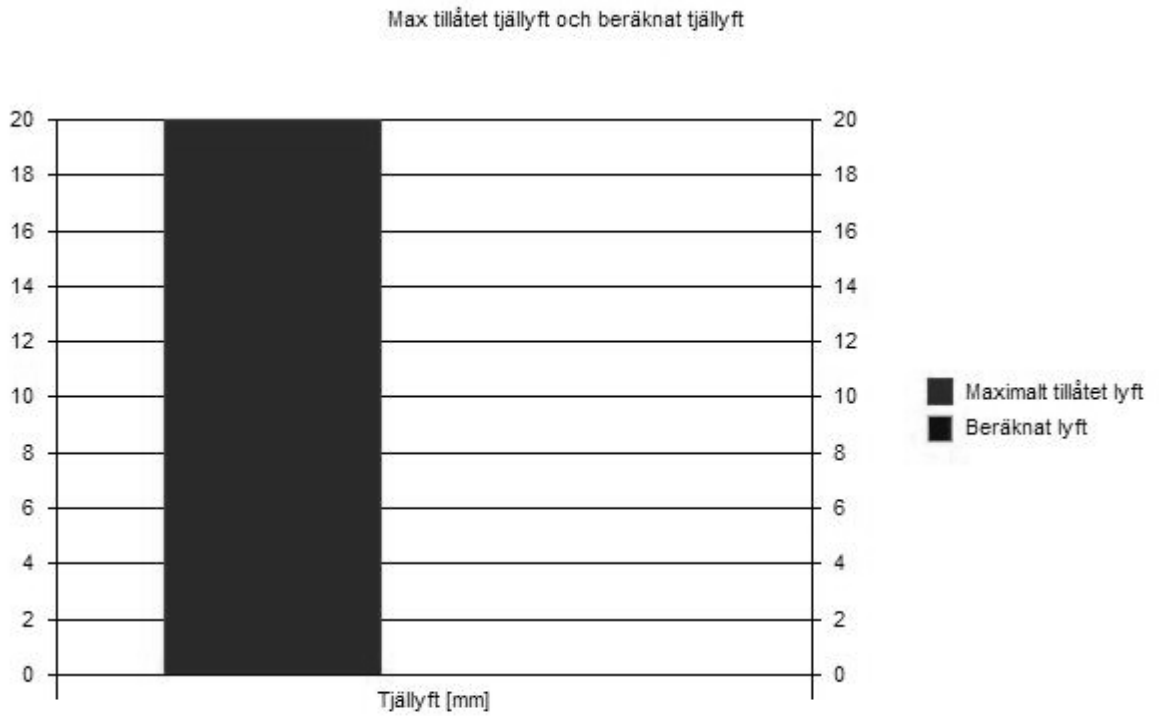


Trycktöjning i terrassyta, av enstaka last

Tjälberäkning

VViS Id:	1549
Beräknat lyft(mm):	0
Maximalt beräknat tjäldjup(mm):	590
Max tillåtet lyft(mm):	20
Lyfthastighet ovan terrass(mm/dag):	0,5
Lyfthastighet under terrass(mm/dag):	1,5
Grundvattentemperatur(C):	7,0
Kvot:	0,00
VViS stationsnamn:	Sjöbo

X koordinat: 6407436
Y koordinat: 1330550
Z koordinat: 0
Använd säsong: 00/01
Kommentar:



Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft

Bilaga III Ändrade värden i PMS-objekt för Aktiv design då marken är ytterligare packad.

Innan:

Lager	Tjocklek	Förändrat	Namn
1	40	NEJ	Bitumenbundet slitlager
2	60	NEJ	Bindlager
3	70	NEJ	Bitumenbundet bärlager
4	80	NEJ	Obundet bärlager
5	500	NEJ	Förstärkningslager krossat material
6	0	NEJ	4a – Blandkornig jord >30%
Total tjocklek ovanför övre terrassyta : 750 mm			

Styvhetsmoduler [MPa]

Lager	Vinter	Tjällostningsvinter	Tjällostning	Senvår	Sommar	Höst
1	14500	13000	12000	11500	4000	11000
2	15000	15000	10000	10000	4000	10000
3	12500	10500	10000	9500	3000	9000
4	1000	150	300	450	450	450
5	450	450	450	450	450	450
6	1000	1000	30	40	50	50

Efter:

Lager	Tjocklek	Förändrat	Namn
1	40	NEJ	Bitumenbundet slitlager
2	60	NEJ	Bindlager
3	50	NEJ	Bitumenbundet bärlager
4	80	JA	Obundet bärlager
5	500	JA	Förstärkningslager krossat material
6	0	JA	4a – Blandkornig jord >30%
Total tjocklek ovanför övre terrassyta : 730 mm			

Styvhetsmoduler [MPa]

Lager	Vinter	Tjällostningsvinter	Tjällostning	Senvår	Sommar	Höst
1	14500	13000	12000	11500	4000	11000
2	15000	15000	10000	10000	4000	10000
3	12500	10500	10000	9500	3000	9000
4	1200	260	380	580	580	580
5	580	580	580	580	580	580
6	1000	1000	45	60	70	70

Bilaga IV Dimensionering med PMS objekt efter packningsinsats och minskning av beläggningstjockleken

Skapad med PMS Objekt version 4.2

Utskriftsdatum: 2007-08-14 13:24

Projektinformation - PEAB riktigt

Skapat: 2007-08-14 12:14

Kommentarer till projektet

Avsnittsinformation - Peab E3

Avsnitt nr:	1
Avsnittstyp:	NYBYGGNAD
Skapat datum:	2007-08-14 12:18
Vägnummer:	40
Klimatzon:	Klimatzon 2
Referenshastighet(km/h):	110
Antal körfält:	4
Län:	Västra Götaland
Dimensioneringsperiod(år):	20
Avsnittslängd(m):	100
Vägbredd(m):	21,5
Vägrensbredd(m):	2
Vägtyp:	Motorväg
Körfält:	K1

Trafikberäkning avsnitt

Beräkningsmetod: Angivet ekvivalent antal standardaxlar

Ekvivalent antal standardaxlar: 11 000 000

Konstruktionens uppbyggnad

Överbyggnadstyp: Överbyggnaden ej sparad men förändrad!

Egen överbyggnadstyp: JA

Materialtyp, övre terrass: 4a - Blandkornig jord > 30%

Tjälfarlighetsklass övre terrass: 3 - Måttligt tjällyftande

Lager

Lageröversikt

Lager	Tjocklek(mm)	Förändrat	Namn	
1	40	NEJ	Bitumenbundet slitlager	
2	60	NEJ	Bindlager	
3	50	NEJ	Bitumenbundet bärlager	
4	80	JA	Obundet bärlager	
5	500	JA	Förstärkningslager krossat material	
6	0	JA	4a - Blandkornig jord > 30%	ÖVRE
TERRASS				

Total tjocklek ovanför övre terrassyta: 730

Styvhetsmoduler [MPa]

Lager	Vinter	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår	Sommar	Höst
1	14500 11000	13000	12000	11500	4000	
2	15000 10000	15000	10000	10000	4000	
3	12500	10500	10000	9500	3000	9000
4	1200	260	380	580	580	580
5	580	580	580	580	580	580
6	1000	1000	45	60	70	70

Övriga egenskaper

Lager	Lyft	ω	ρ	η	σ	λ_{ofr}	λ_{fr}
1	NEJ	0,01	2200	0,17	0,13	2	2
2	NEJ	0,01	2200	0,17	0,13	2	2
3	NEJ	0,01	2200	0,17	0,13	2	2
4	NEJ	0,03	2000	0,25	0,24	1,33	1,02
5	NEJ	0,03	2000	0,25	0,24	1,33	1,02
6	JA	0,2	1700	0,36	0,94	1,61	2,5

Bärighetsberäkning

Beräkningsmetod: Egen

Korrigeringsfaktor för dränering(FD): 1,0

Antal axellaster, ackumulerad avseende:

Krav i underkant bitumenlager

Ntill, bb: 12 690 813

Nekv: 11 000 000

Kvot: 0,87

Terrassytekraft

Ntill, te: 80 746 291

Nekv * 2: 22 000 000

Kvot: 0,27

Vertikala trycktöjningar(strain)

Töjning i terrassytan, enstaka last(strain)

Beräknad: 0,0005

Största tillåtna: 0,0024

Kvot: 0,22

Töjningar i detalj(strain)

Dragtöjning i bitumenlager, ackumulerad

Vinter	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår	Sommar	Höst
--------	---------------------	--------------	--------	--------	------

0,0000650,0000930,0000990,0000930,0001520,000095

Trycktöjning i terrassytan, ackumulerad

Vinter	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår	Sommar	Höst
--------	---------------------	--------------	--------	--------	------

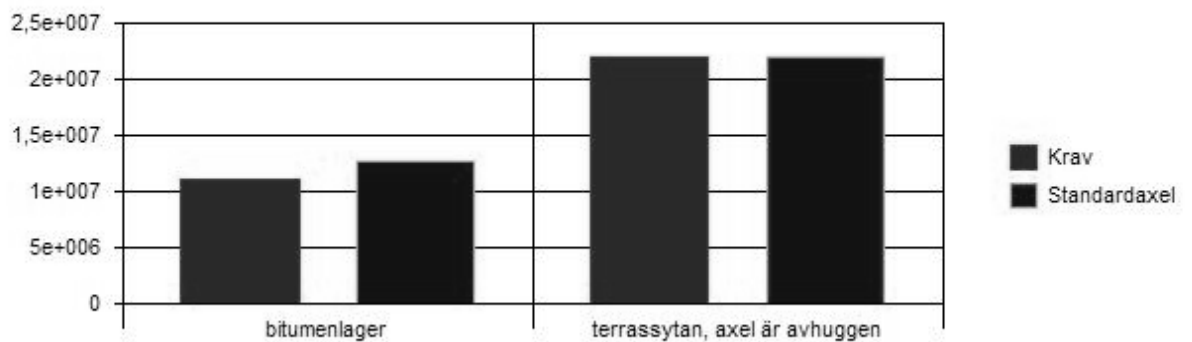
0,0000320,0000350,0002050,0001800,0001970,000171

Trycktöjning i terrassytan, enstaka last

Vinter	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår	Sommar	Höst
--------	---------------------	--------------	--------	--------	------

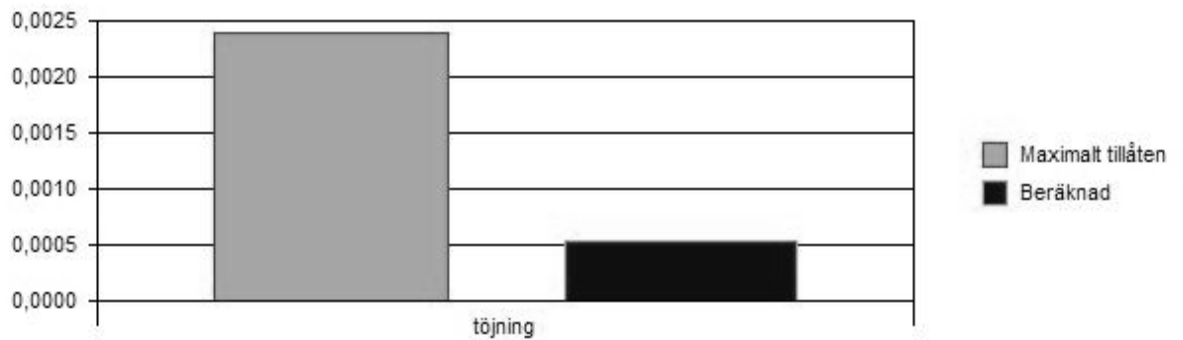
0,0000820,0000900,0005270,0004620,0005050,000439

Antal axellaster, avser töjning i:



Antal axellaster, avser töjning i bitumenlager och terrassyta

Trycktöjning i terrassytan, av enstaka last

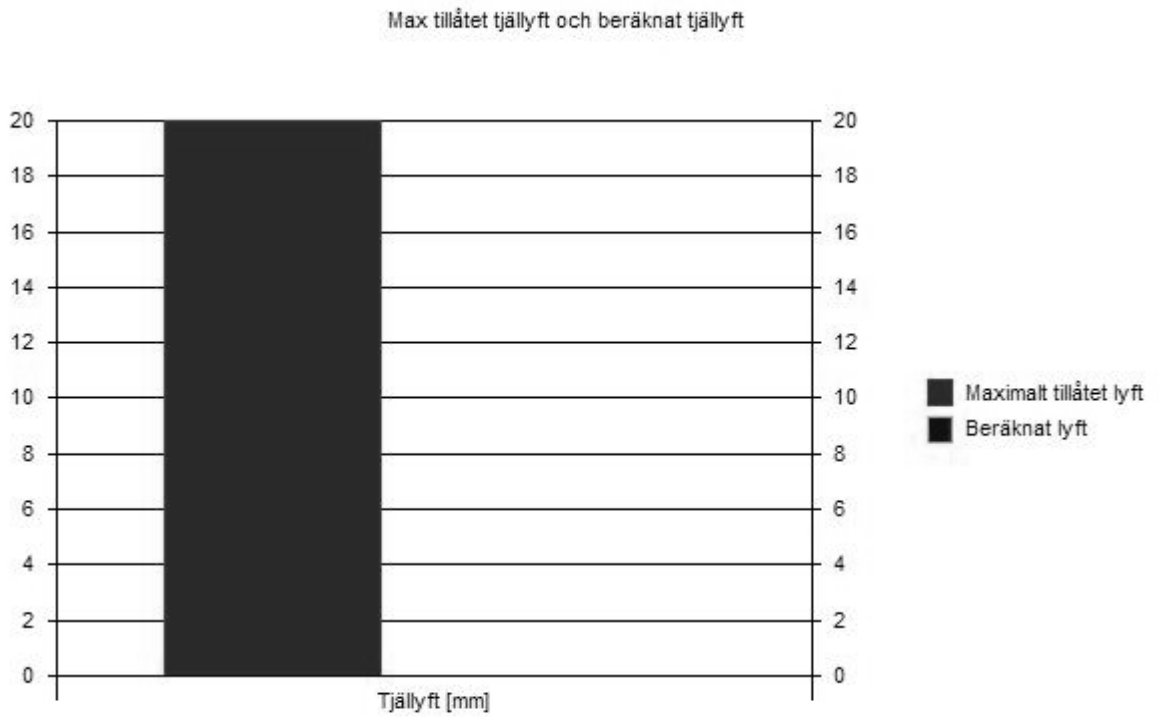


Trycktöjning i terrassyta, av enstaka last

Tjälberäkning

VViS Id:	1549
Beräknat lyft(mm):	0
Maximalt beräknat tjäldjup(mm):	585
Max tillåtet lyft(mm):	20
Lyfthastighet ovan terrass(mm/dag):	0,5
Lyfthastighet under terrass(mm/dag):	1,5
Grundvattentemperatur(C):	7,0
Kvot:	0,00
VViS stationsnamn:	Sjöbo

X koordinat: 6407436
Y koordinat: 1330550
Z koordinat: 0
Använd säsong: 00/01
Kommentar:



Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft

Bilaga V Krav på terrass och överbyggnad vid minskning av beläggningstjocklek

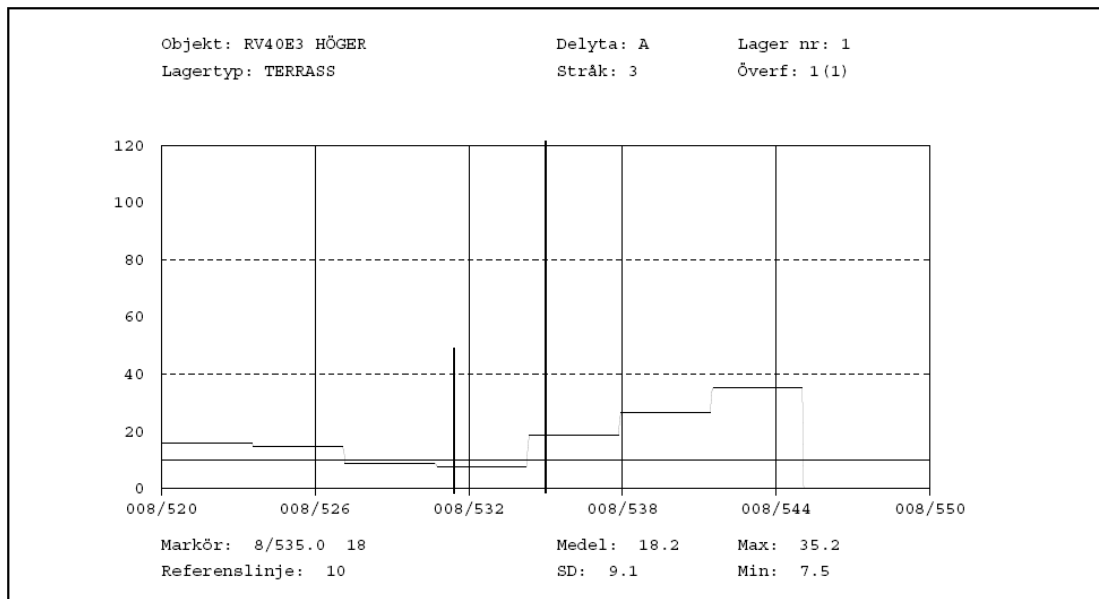
Följande krav skall vara uppfyllda om beläggningstjockleken skall minskas.

1. All schakt i bergskärning skall utföras så att nedkrossat finmaterial från utlastningen inte hamnar i eller under terrass (välj en utlastningsmodell där nedersta skiktet lastas ut med grävmaskin så att terrassen inte trafikeras).
2. Underborrning till minst 1,5 meter under färdig vägyta utförs i alla bergskärningar.
3. Obundna material som används i överbyggnaden skall testas med treaxialtestning på ett utsorterat material med maximal stenstorlek av 50 mm, se bifogat diagram. För ett projekt behövs det 4-6 treaxialförsök. Treaxialförsöken skall utföras i enlighet med Svensk Standard SS-EN 13286-7:2004.
4. Det obundna bär- och förstärkningslagret skall vara av klass C1 i SS-EN 13286-7:2004, Annex C.
5. Den med programmet VägFEM beräknade spänningen bör enbart i extrema situationer (varma sommar dagar med beläggningstemperatur högre eller lika med 40 °C), överskrida det obundna materialets "Shake down last", som beräknas med stöd av resultat från treaxialförsöken.
6. Packning och bärighetsmätning:
 - Alla terrasser packas och bärigheten mäts med hjälp av plattbelastning. Resilientmodulen för terrassmaterialet räknas fram med stöd av programmet VägFEM.
 - Alla överytor på bärlagren packas och bärigheten mäts med hjälp av plattbelastning. Resilientmodulen för överbyggnadsmaterialet räknas fram med stöd av programmet VägFEM.
 - All vältning av terrass och överbyggnadslager skall ske med en vält med yttäckande packningskontroll, som är utrustad med GPS så att mätningsresultatet kan lägesbestämmas och dokumenteras.
 - All packningskontroll av terrass och överbyggnadslager skall utföras i princip enligt tabell E5.2-6, yttäckande packningskontroll, i ATB VÄG, med ändringen att omfattningen på plattbelastningsförsöken på bärlagret dubblas till $n = 4$, där hälften av testerna utförs på ytor där den yttäckande kontrollen visar ett genomsnittsvärde.
 - Övrig packningsinsats utförs av entreprenören på ett fackmannamässigt sätt (vältning och packning genom transportfordon m.m.).
7. Följande krav på bärigheten skall vara uppfyllda:
 - Om lägsta uppmätta värdet på E_{V2} i K1 överstiger 160 MPa får beläggningstjockleken minskas med 1 cm.
 - Om lägsta uppmätta värdet på E_{V2} i K1 överstiger 180 MPa får beläggningstjockleken minskas med 2 cm.
8. För K2 (vid motorväg) och väggen kan en speciell beräkning av beläggningstjockleken göras, där hänsyn även tas till beräknade trafikmängder.
9. Den beräknade framtida spårbildningen beräknas med stöd av beräkningsmodellerna i VägFEM.

Alternativ A:

<i>Kurva för triaxialprov</i>								
Sikt mm	0,063	0,25	1	4	16	31,5	45	63
Övre %	4	8	16	30	63	85	100	-
Undre %	3	6	13	25	56	75	90	-

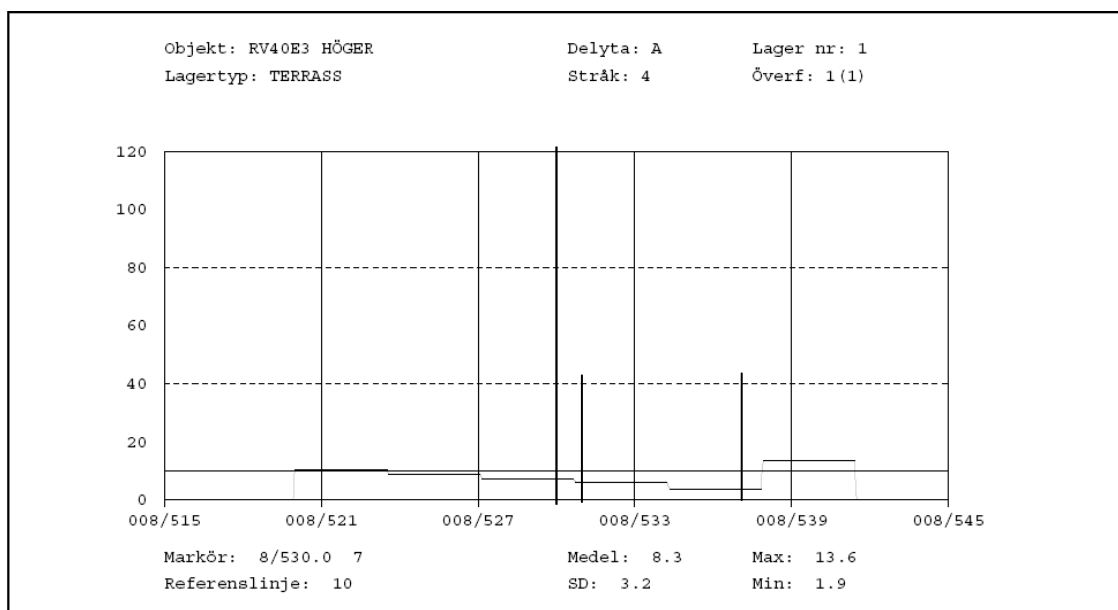
Kontrollobjekt	Lageryta $\leq 5\,000\text{ m}^2$. Samtliga kontrollobjekt undersöks.			
Stickprov	n = 4. Hälften av kontrollpunkternas koordinater väljs i de partier inom ytan som packningsmätaren har pekat ut som de svagaste, enligt förfarande beskrivet i VVMB 908. Andra hälften av kontrollpunkternas koordinater väljs i de partier inom ytan som packningsmätaren har pekat ut som medelvärde för ytan.			
Mätförfarande	Enligt VVMB 606 och VVMB 603.			
Mätvariabel	Deformationsmodulerna E_{v1} och E_{v2} , mätta i MPa.			
Kriterievariabel	De två uppmätta E_{v2} -värdena, samt de två kvoterna E_{v2}/E_{v1} .			
Acceptansintervall för flexibel konstruktion				
Översta obundna lagret	<i>I</i>	<i>varje</i>	<i>enskild</i>	<i>kontrollpunkt:</i>
	E_{v2}	\geq	125	(160 alt 180)
	Samtliga kontrollpunkter skall vara godkända			
	<i>I</i>	<i>varje</i>	<i>enskild</i>	<i>kontrollpunkt:</i>
	Om $E_{v2} \leq 125$:		E_{v2}/E_{v1}	\leq 3,2
	Om $E_{v2} > 125$:		$E_{v2}/E_{v1} \leq 1,5$	+ $0,0136 \cdot E_{v2}$
	Samtliga kontrollpunkter skall vara godkända			



CdsView 4.02.18AC PEAB WIRTGEN

Geodynamik AB

CDS mätning för stråk 3 hos PEAB



CdsView 4.02.18AC PEAB WIRTGEN

Geodynamik AB

CDS mätning för stråk 4 hos PEAB

Bilaga VII Utvärdering av statisk plattbelastning vid terrass hos Peab

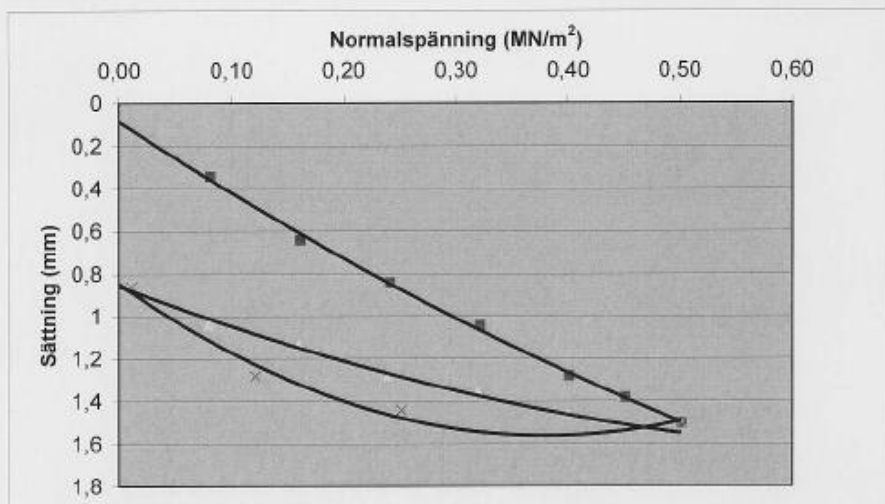


Provningsresultat, statisk plattbelastning

Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Brämhult-Rångedala etapp 3	Entreprenör:	Peab Sverige AB
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-06-19	Material:	Terrass
Provningsplats:	Punkt 1		
Registreringsnr:	P0706-103		
Beställare:	Peab Sverige AB		

	Första belastning									Andra belastning						
Normalspänning, (MN/m ²)	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45
Sättning, (mm)	0,34	0,54	0,84	1,04	1,28	1,38	1,50	1,44	1,28	0,86	1,04	1,14	1,28	1,36	1,46	1,52



		1:a belastning	2:a belastning
a ₀	mm	0,086	0,856
a ₁	mm/(MN/m ²)	3,470	2,045
a ₂	mm/(MN/m ²)	-1,298	-1,312
E _v	Mpa	79,8	162,0
E _{v2} /E _{v1}		2,03	

GEOMILJÖ VÄST KB

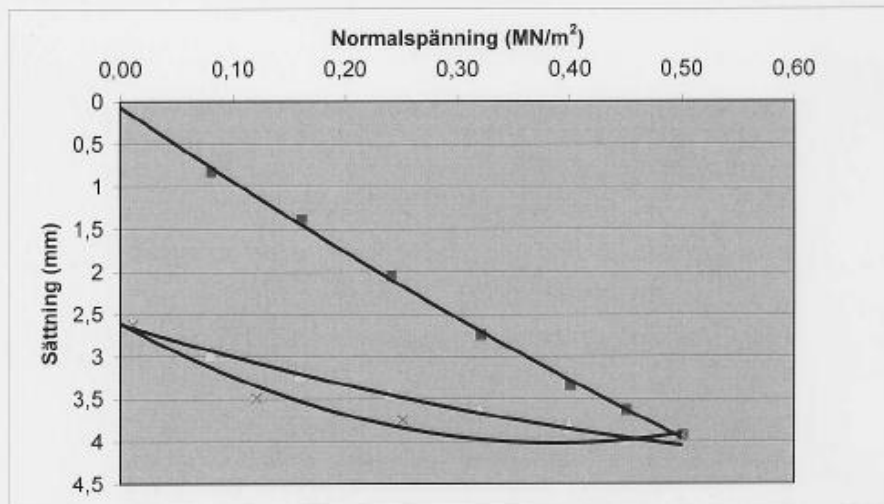
Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sönerbovägen 6 432 92 Varberg	0340-62 14 61 070-590 53 88	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningsresultat, statisk plattbelastning

Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Brämhuil-Rängedala etapp 3	Entreprenör:	Peab Sverige AB
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-06-19	Material:	Terrass
Provningsplats:	Punkt 2		
Registreringsnr:	P0706-104		
Beställare:	Peab Sverige AB		

	Första belastning										Andra belastning					
Normalspänning, (MN/m ²)	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,46	0,50	0,25	0,12	0,01	0,06	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45
Sättning, (mm)	0,62	1,38	2,04	2,74	3,34	3,62	3,92	3,74	3,48	2,62	2,98	3,22	3,44	3,64	3,64	3,98



		1:a belastning	2:a belastning
a_0	mm	0,065	2,618
a_1	mm/(MN/m ²)	9,018	4,054
a_2	mm/(MN/m ²)	-2,465	-2,409
E_v	Mpa	28,9	79,0
E_{v2}/E_{v1}		2,73	

GEOMILJÖ VÄST KB

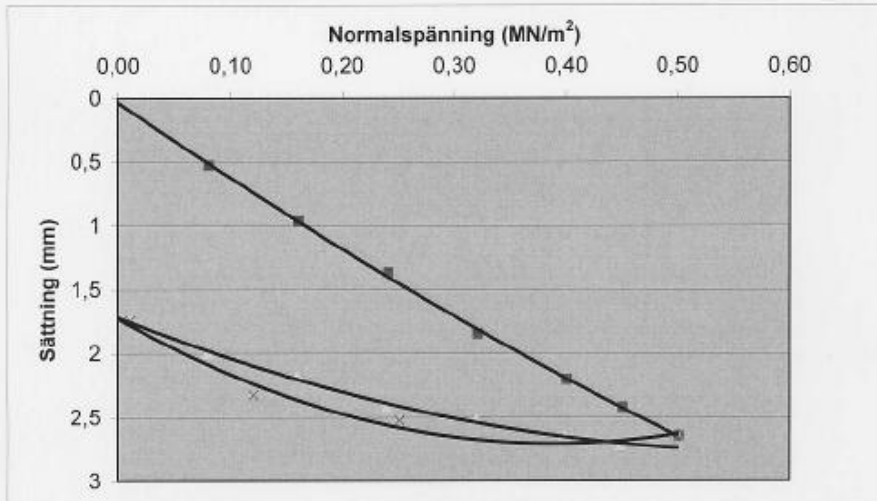
Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sönerbovägen 6 432 92 Varberg	0340-62 14 61 070-590 53 86	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningsresultat, statisk plattbelastning

Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Brämhult-Rängedala etapp 3	Entreprenör:	Peab Sverige AB
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-06-19	Material:	Terrass
Provningsplats:	Punkt 3		
Registreringsnr:	P0706-105		
Beställare:	Peab Sverige AB		

	Första belastning										Andra belastning					
Normalspänning, (MN/m ²)	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45
Sättning, (mm)	0,52	0,96	1,36	1,84	2,20	2,42	2,64	2,52	2,32	1,74	2,00	2,18	2,42	2,52	2,64	2,72



		1:a belastning	2:a belastning
a_0	mm	0,034	1,716
a_1	mm/(MN/m ²)	6,093	3,499
a_2	mm/(MN/m ²)	-1,735	-2,891
E_v	Mpa	43,1	109,5
E_{v2}/E_{v1}		2,54	

GEOMILJÖ VÄST KB

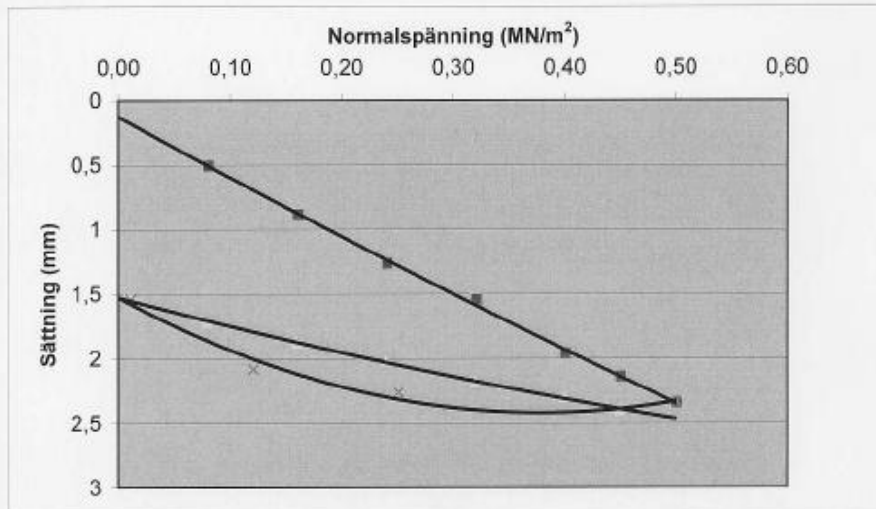
Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sönerbovägen 6 432 92 Varberg	0340-62 14 61 070-590 53 88	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningsresultat, statisk plattbelastning

Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Bramhult-Rångedala etapp 3	Entreprenör:	Peab Sverige AB
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-06-19	Material:	Terrass
Provningsplats:	Punkt 4		
Registreringsnr:	P0706-106		
Beställare:	Peab Sverige AB		

	Första belastning									Andra belastning						
Normalspänning, (MN/m ²)	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45
Sättning, (mm)	0,50	0,88	1,26	1,54	1,96	2,14	2,34	2,26	2,08	1,54	1,72	1,86	2,02	2,18	2,30	2,40



		1:a belastning	2:a belastning
a_0	mm	0,126	1,527
a_1	mm/(MN/m ²)	4,801	2,305
a_2	mm/(MN/m ²)	-0,723	-0,858
Ev	Mpa	50,7	120,0
Ev_2/Ev_1		2,37	

GEOMILJÖ VÄST KB

Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sönerbovägen 6 432 92 Varberg	0340-62 14 61 070-590 53 88	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Bilaga VIII Fallviktsprov från terrass hos Peab

IKUAB FWD FILE : DPEAHPEA.F01
 HUtrustning : fv 915
 HLän :
 HVägnummer : Peab
 HSpårläge (H/M/V) : H
 HRiktning (F/B) : F
 HMätning nummer : 1
 HProvsträcka : peab
 HLoad : 30,50,65
 HKommentar : Vögbygge peab

 IDate Created : 19-06-2007
 ILoad Mode : 1 (2+2 buffers)
 IPlate Radius : 15.0 (cm)
 IExtra Field Set : VTISTANDARD
 IDrop Sequence : 3223344
 IRecord Drop? : NYYYYYY
 IDrop Height : 1 2 3 4
 IImpact Load : 14.7 29.4 49.0 63.7 kN
 ISensor Number : 0 1 2 3 4 5 6
 ISensor Distance : 0.0 20.0 30.0 45.0 60.0 90.0 120.0
 (cm)
 ISensor Position : CENTER BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND

 IReference Offset : 0 m
 ITestpoint spacing: 0 m

JDistance Imp Load D0 D1 D2 D3 D4 D5 D6 Air Pave time
 J m ### kN µm µm µm µm µm µm µm °C °C
 hh:mm:ss
 J-----

Punkt 1

kN	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
28,7	628	366	238	175	139	90	63
47,2	1008	590	397	297	230	149	107
59,4	1282	740	509	376	292	190	134

Punkt 2

kN	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
29	999	617	315	200	147	83	58
46,9	1646	1020	529	334	242	138	95
58,9	2104	1331	675	425	306	171	115

Punkt 3

kN	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
29	793	497	232	182	128	78	54
46,9	1276	797	400	306	213	132	90
58,9	1629	1007	531	396	266	167	113

Punkt 4

kN	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
29	693	307	167	108	79	54	41
46,9	1125	500	285	180	133	91	71
58,9	1446	632	360	228	164	113	89

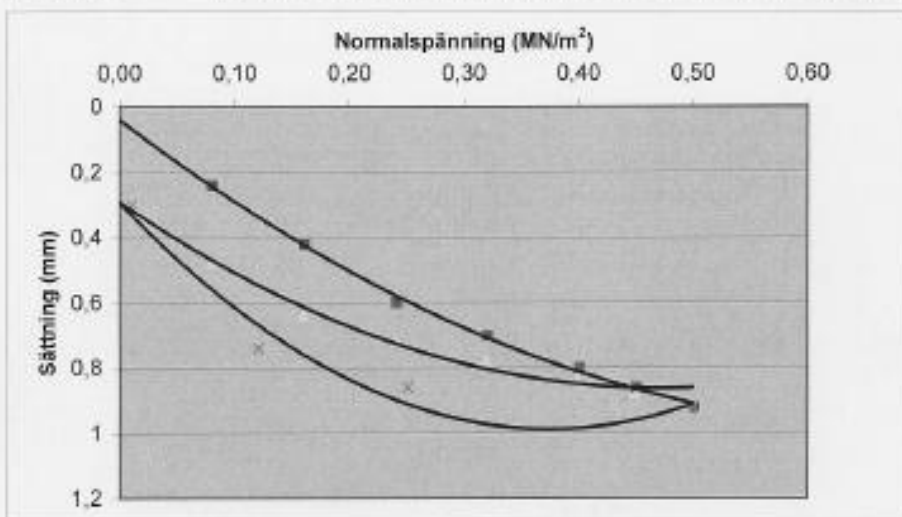
Bilaga IX Utvärdering av statisk plattbelastning vid obunden överbyggnad hos Peab



Provningsresultat, statisk plattbelastning
Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Brånhult-Rångedala etapp 3	Entreprenör:	Peab Sverige AB
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-08-30	Material:	Bärlager
Provningsplats:	8/507,5 H 3,51		
Registreringsnr:	PO708-144		
Beställare:	Peab Sverige AB		

	Första belastning										Andra belastning					
Normalspänning, (MN/m ²)	0,09	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,06	0,18	0,24	0,32	0,40	0,45
Sättning, (mm)	0,24	0,42	0,60	0,70	0,80	0,85	0,92	0,86	0,74	0,30	0,48	0,64	0,72	0,78	0,84	0,88



		1:a belastning	2:a belastning
a ₀	mm	0,040	0,292
a ₁	mm/(MN/m ²)	2,704	2,424
a ₂	mm/(MN/m ²)	-1,933	-2,560
Ev	Mpa	129,5	197,6
Ev ₂ /Ev ₁		1,53	

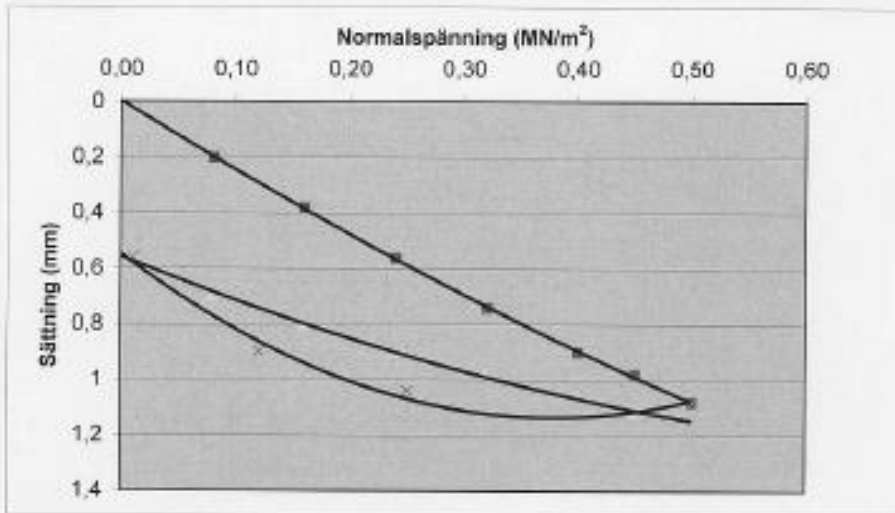
GEOMILJÖ VÄST KB	Adress:	Telefon:	Telefax:	E-post:
	Sönersboväg 6 432 92 Varberg	0340-62 14 61 070-580 63 85	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningsresultat, statisk plattbelastning

Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Brämhult-Rängedala etapp 3	Entreprenör:	Peab Sverige AB
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-08-30	Material:	Bärlager
Provningsplats:	8/512 H 5,54		
Registreringsnr:	P0708-145		
Beställare:	Peab Sverige AB		

	Första belastning								Andra belastning							
Normalspänning, (MN/m ²)	0,06	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,04	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45
Sättning, (mm)	0,20	0,38	0,56	0,74	0,90	0,98	1,08	1,04	0,90	0,65	0,70	0,80	0,90	0,98	1,06	1,12



		1:a belastning	2:a belastning
a_0	mm	-0,003	0,556
a_1	mm/(MN/m ²)	2,548	1,667
a_2	mm/(MN/m ²)	-0,771	-0,968
E_v	Mpa	104,0	190,2
E_{v2}/E_{v1}		1,83	

GEOMILJÖ VÄST KB

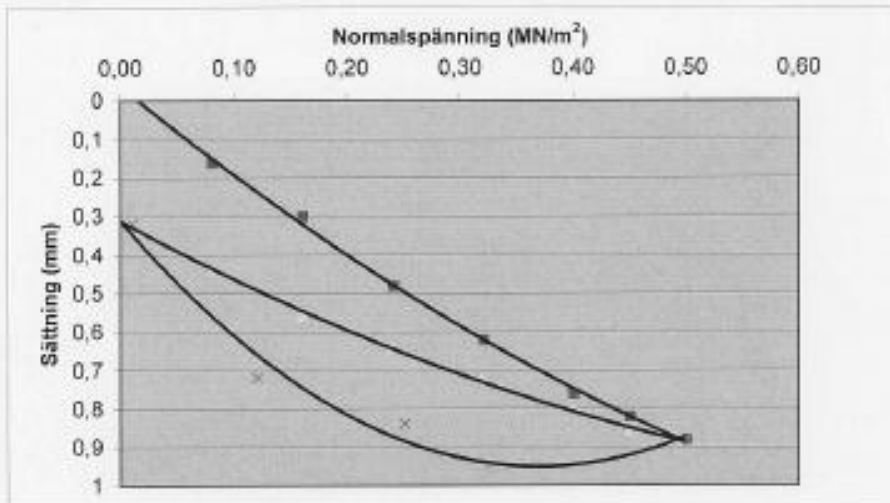
Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sönersbovägen 6 432 92 Varberg	0340-62 14 61 070-580 53 88	0340-62 12 15	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningsresultat, statisk plattbelastning

Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Brämhult-Rängedala etapp 3	Entreprenör:	Peab Sverige AB
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-06-30	Material:	Bärlager
Provningsplats:	B/S12 H 7,48		
Registreringsnr:	P0708-146		
Beställare:	Peab Sverige AB		

	Första belastning										Andra belastning					
Normalspänning, (MN/m ²)	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,08	0,15	0,24	0,32	0,40	0,45
Sättning, (mm)	0,15	0,30	0,48	0,62	0,78	0,82	0,85	0,84	0,72	0,32	0,44	0,55	0,64	0,72	0,80	0,88



		1:a belastning	2:a belastning
a ₀	mm	-0,037	0,313
a ₁	mm/(MN/m ²)	2,413	1,596
a ₂	mm/(MN/m ²)	-1,130	-0,896
E _v	Mpa	121,7	196,0
E _{v2} /E _{v1}		1,61	

GEOMILJÖ VÄST KB

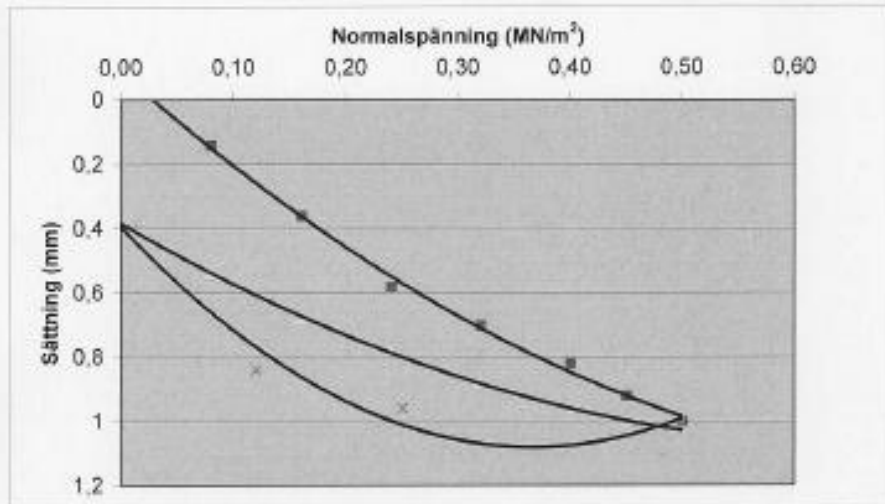
Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sönnebovägen 6 432 92 Varberg	0340-82 14 61 070-590 53 88	0340-82 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningsresultat, statisk plattbelastning

Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Brämhult-Rängedala etapp 3	Entreprenör:	Peab Sverige AB
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-08-30	Material:	Bärlager
Provningsplats:	8/526 H 9,17		
Registreringsnr:	P0708-147		
Beställare:	Peab Sverige AB		

	Första belastning									Andra belastning								
Normalspänning, (MN/m ²)	0,05	0,15	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45		
Sättning, (mm)	0,14	0,35	0,55	0,70	0,82	0,82	1,00	0,98	0,64	0,40	0,54	0,68	0,78	0,88	0,95	1,00		



		1:a belastning	2:a belastning
a_3	mm	-0,088	0,384
a_1	mm/(MN/m ²)	3,113	2,040
a_2	mm/(MN/m ²)	-1,936	-1,499
E_v	Mpa	104,9	174,4
E_{v2}/E_{v1}		1,66	

GEOMILJÖ VÄST KB

Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sönerbovägen 6 432 92 Varberg	0340-62 14 61 070-580 53 88	0340-62 12 10	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Bilaga X Fallviktsprov från obundet bärlager hos Peab

Punkt 1

kN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
28,3	1342	584	315	147	84	29	16
46,8	2072	978	560	269	153	54	29
58,4	2481	1192	703	342	194	69	37

Punkt 2

kN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
28,4	785	471	331	198	129	48	23
47,3	1254	792	576	347	223	83	42
60,2	1560	1002	744	454	291	108	53

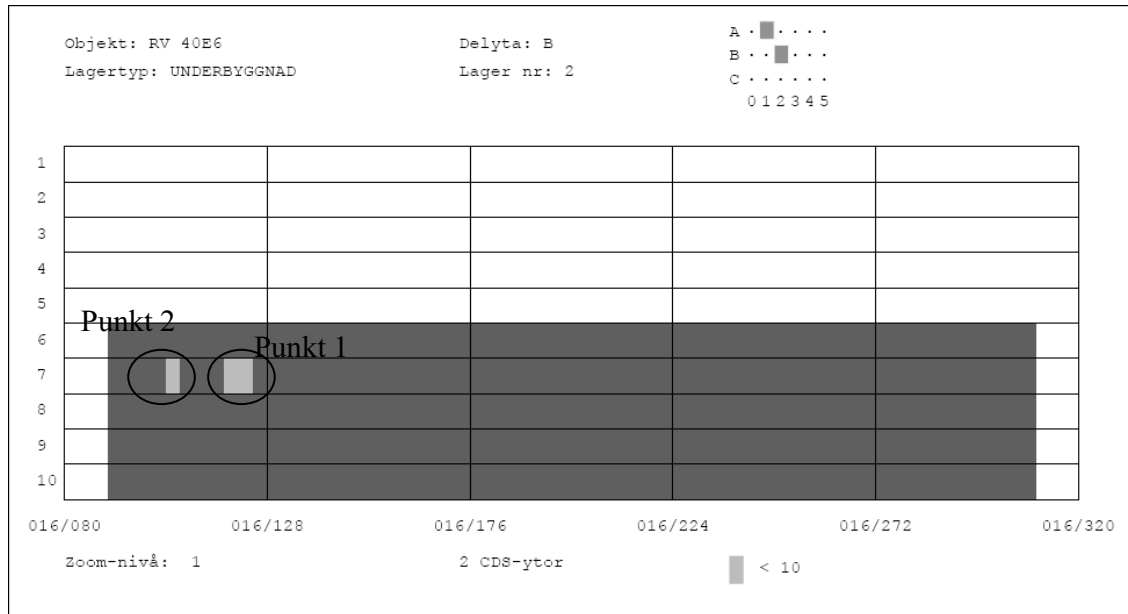
Punkt 3

kN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
28	3058	1428	850	401	187	49	48
46,3	3317	1698	1063	527	265	59	63
58,5	3291	1823	1138	591	309	61	66

Punkt 4

kN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
27,9	1008	690	356	165	102	49	27
45,8	1594	1101	604	302	193	86	44
57,6	2022	1369	781	395	254	115	59

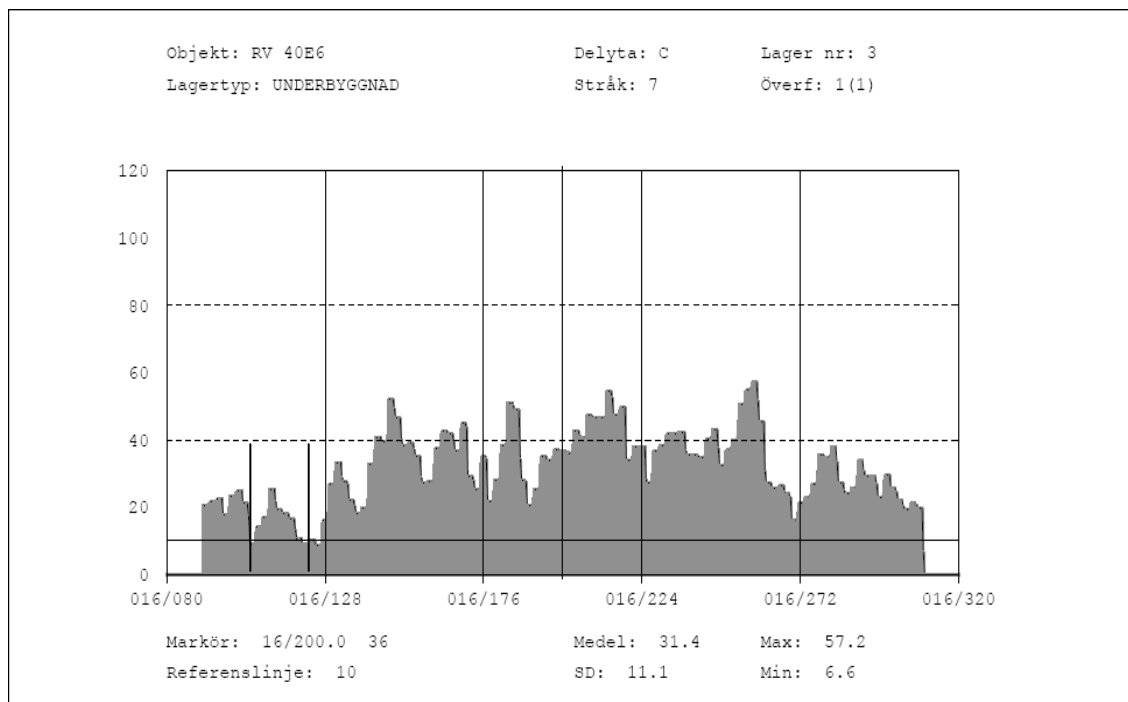
Bilaga XI CDS-mätning hos vägverket produktion



CdsView 4.03.18AH Cramo

Geodynamik AB

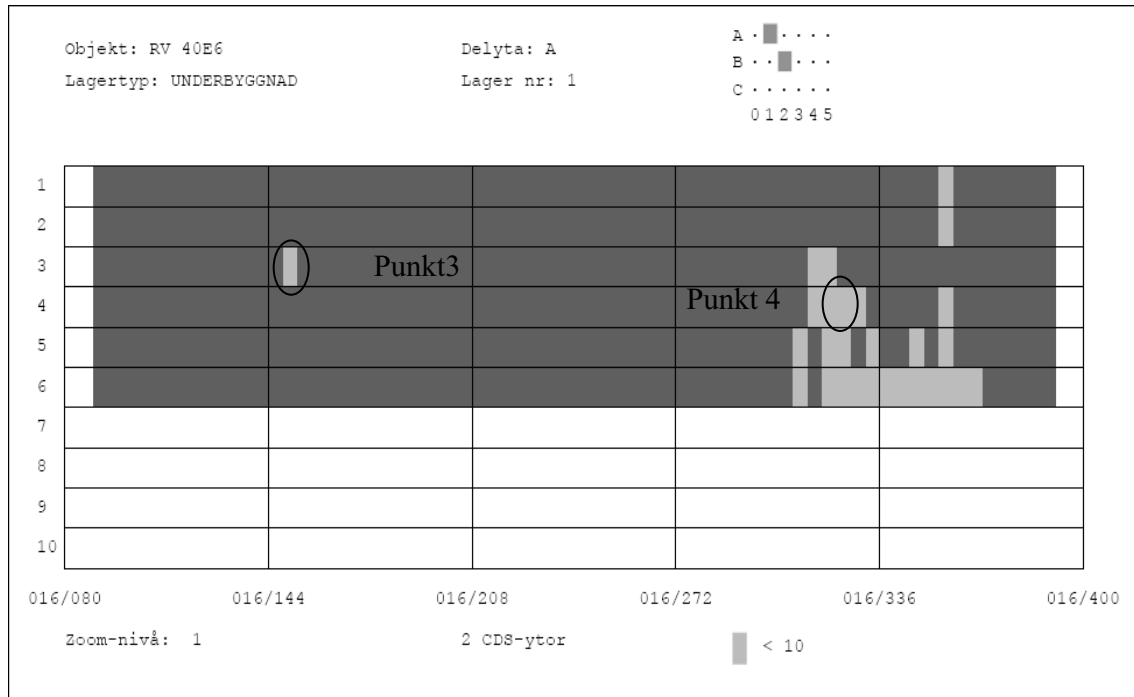
CDS värden inom kontrollobjekten(högra sidan)



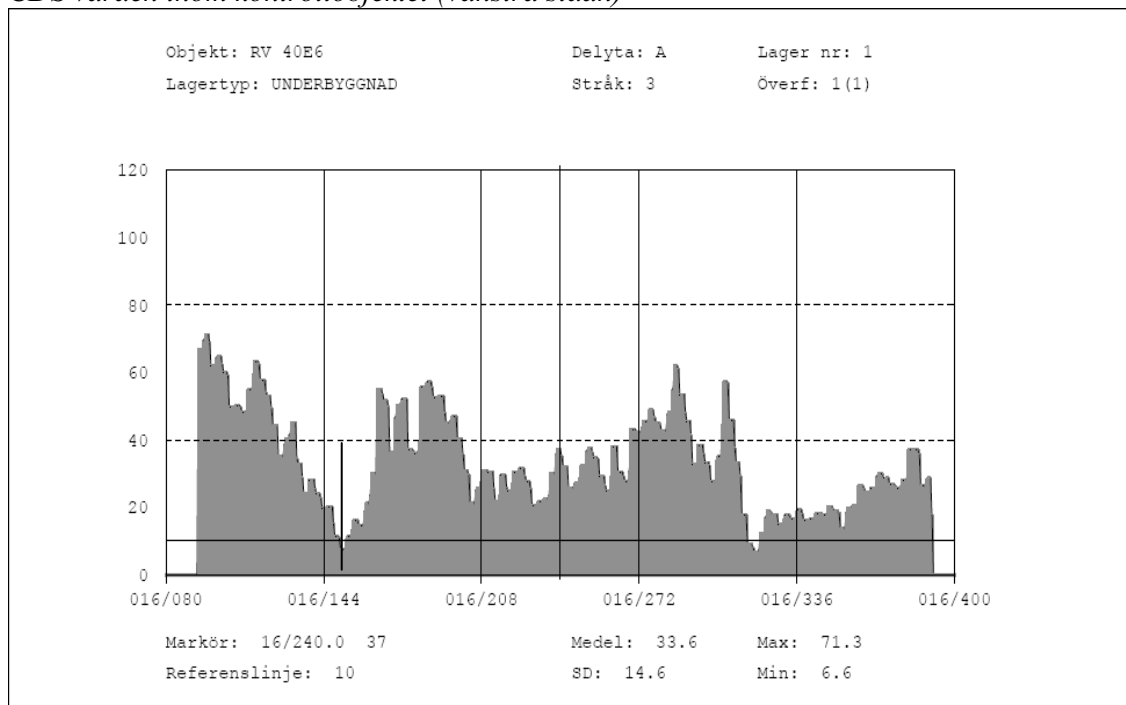
CdsView 4.03.18AH Cramo

Geodynamik AB

CDS värden från stråk 7



CdsView 4.03.18AH Cramo ————— Geodynamik AB
CDS värden inom kontrollobjektet (vänstra sidan)



CdsView 4.03.18AH Cramo ————— Geodynamik AB
CDS graf från stråk 3

Objekt: RV 40E6

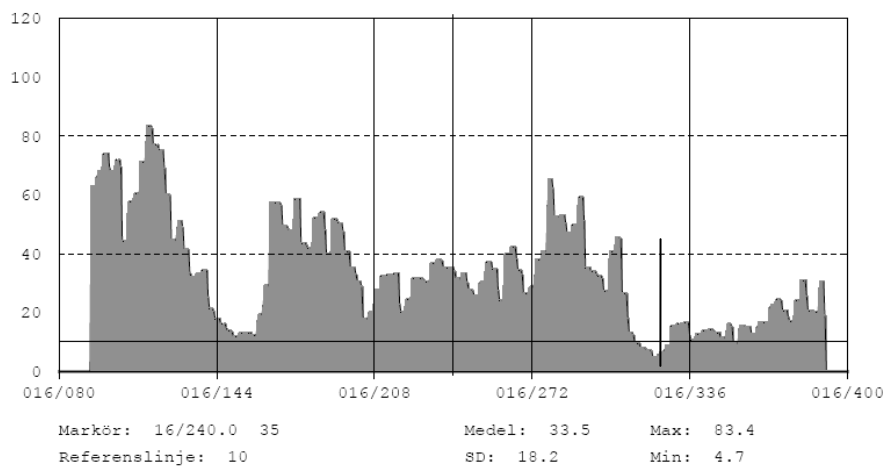
Delyta: A

Lager nr: 1

Lagertyp: UNDERBYGGNAD

Stråk: 4

Överf: 1(1)



CdsView 4.03.18AH Cramo
CDS graf från stråk 4

Geodynamik AB

Bilaga XII Utvärdering av statisk plattbelastning vid terrass hos Vägverket produktion

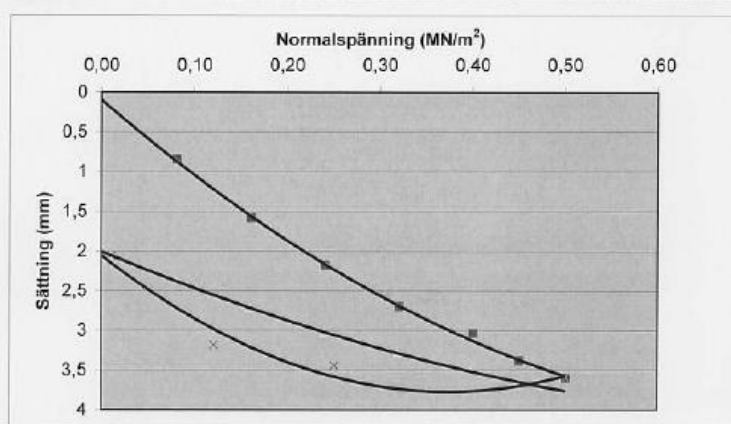


Provningsresultat, statisk plattbelastning

Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Bråmhult-Rångedala, etapp 5	Entreprenör:	Vägverket Produktion
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-06-19	Material:	Terrass
Provningsplats:	16/106 V 6,7	Avjämningsmaterial:	
Registreringsnr:	P0706-083	Väderlek:	
Beställare:	Vägverket Produktion	Anteckningar:	

	Första belastning										Andra belastning					
Normalspänning, (MN/m ²)	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,06	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45
Sättning, (mm)	0,84	1,58	2,16	2,70	3,04	3,36	3,60	3,44	3,18	2,08	2,36	2,72	3,04	3,28	3,50	3,66



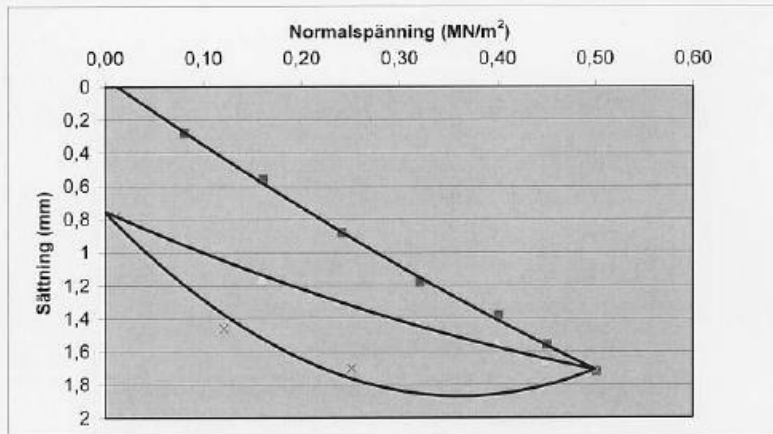
		1:a belastning	2:a belastning
a_0	mm	0,101	2,004
a_1	mm/(MN/m ²)	10,068	4,897
a_2	mm/(MN/m ²)	-6,253	-2,770
E_v	Mpa	32,4	64,1
E_{v2}/E_{v1}		1,98	

GEOMILJÖ VÄST KB	<i>Adress</i>	<i>Telefon</i>	<i>Telefax</i>	<i>E-post</i>
	Sönerbovägen 6 432 92 Värberg	0340-62 14 61 070-500 53 86	0540-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningresultat, statisk plattbelastning
Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Bråmhult-Rångedala, etapp 5	Entreprenör:	Vägverket Produktion
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-06-19	Material:	Terrass
Provningsplats:	16/124 V 6.9	Avjämningsmaterial:	
Registreringsnr:	PD706-084	Väderlek:	
Beställare:	Vägverket Produktion	Anteckningar:	

	Första belastning										Andra belastning					
Normalspänning, (MN/m ²)	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45
Sättning, (mm)	0,26	0,56	0,86	1,18	1,38	1,58	1,72	1,70	1,48	0,78	0,94	1,16	1,30	1,44	1,56	1,66



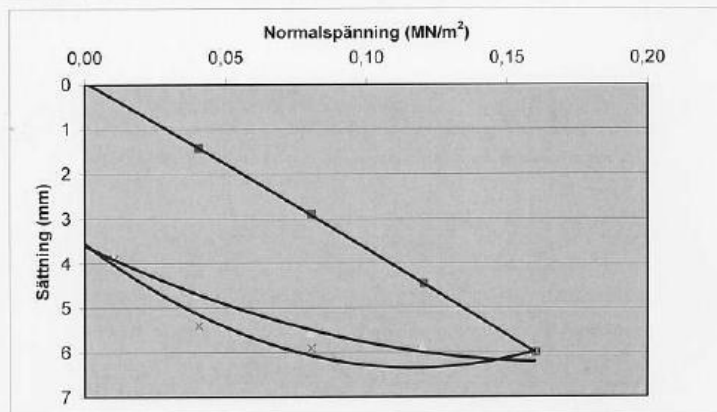
		1:a belastning	2:a belastning
a_0	mm	-0,053	0,753
a_1	mm/(MN/m ²)	4,169	2,625
a_2	mm/(MN/m ²)	-1,284	-1,423
E_v	Mpa	63,8	117,6
E_{v2}/E_{v1}		1,84	

GEOMILJÖ VÄST KB	Adress	Telefon	Telefax	E-post
	Sönerbovågen 6 432 92 Varberg	0340-62 14 61 070-590 53 88	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningresultat, statisk plattbelastning
Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Brämhult-Rångedala, etapp 5	Entreprenör:	Vägverket Produktion
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-06-19	Material:	Terrass
Provningsplats:	16/153 H 5,2	Avjämningsmaterial:	
Registreringsnr:	P0706-085	Vaderlek:	
Beställare:	Vägverket Produktion	Anteckningar:	

	Första belastning					Andra belastning					
Normalspänning, (MN/m ²)	0,04	0,08	0,12	0,16	0,08	0,04	0,01	0,04	0,08	0,12	0,14
Sättning, (mm)	1,42	2,90	4,46	6,00	5,90	3,40	3,80	4,68	5,56	5,88	6,20



		1:a belastning	2:a belastning
a ₀	mm	-0,065	3,605
a ₁	mm/(MN/m ²)	36,375	30,879
a ₂	mm/(MN/m ²)	9,375	-91,335
E _v	Mpa	5,9	13,8
E _{v2} /E _{v1}		2,33	

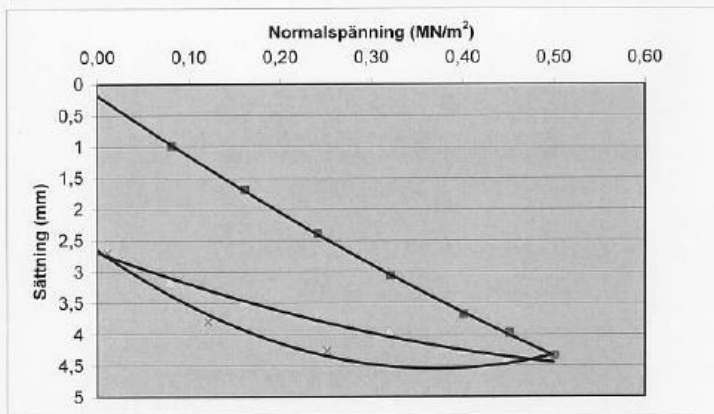
GEOMILJÖ VÄST KB

Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sönerbovägen 6 432 92 Valberg	0340-62 14 61 070-590 53 88	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningsresultat, statisk plattbelastning
Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Brämhult-Rångedala, etapp 5	Entreprenör:	Vägverket Produktion
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-06-19	Material:	Terrass
Provningsplats:	16/328 H 6,4	Avjämningsmaterial:	
Registreringsnr:	PO706-085	Väderlek:	
Beställare:	Vägverket Produktion	Anteckningar:	

	Första belastning												Andra belastning				
Normalspänning, (MN/m ²)	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	
Sättning, (mm)	0,98	1,68	2,38	3,06	3,68	3,96	4,34	4,26	3,80	2,70	3,16	3,48	3,78	3,99	4,26	4,38	



		1:a belastning	2:a belastning
a_0	mm	0,182	2,689
a_1	mm/(MN/m ²)	10,058	5,478
a_2	mm/(MN/m ²)	-3,476	-3,921
E_v	Mpa	27,0	64,0
E_{v2}/E_{v1}		2,37	

GEOMILJÖ VÄST KB

Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sönnersövägen 6 432 92 Värberg	0340-62 14 61 070-590 53 88	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Bilaga XIII Fallviktsprov från terrass hos Vägverket produktion

IKUAB FWD FILE : DVVPHVVP.F01
 HUtrustning : fv 915
 HLän :
 HVägnummer : VVprod
 HSpårläge (H/M/V) : H
 HRiktning (F/B) : F
 HMätning nummer : 1
 HProvsträcka : VVprod
 HMätplats : VVprod
 HLoad : 30,50,65
 HKommentar : Vögbygge VV produktion

IDate Created : 19-06-2007
 ILoad Mode : 1 (2+2 buffers)
 IPlate Radius : 15.0 (cm)
 IExtra Field Set : VTISTANDARD
 IDrop Sequence : 3223344
 IRecord Drop? : NYYYYYY
 IDrop Height : 1 2 3 4
 IImpact Load : 14.7 29.4 49.0 63.7 kN
 ISensor Number : 0 1 2 3 4 5 6
 ISensor Distance : 0.0 20.0 30.0 45.0 60.0 90.0 120.0
 (cm)
 ISensor Position : CENTER BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND

 IReference Offset : 0 m
 ITestpoint spacing: 0 m

JDistance Imp Load D0 D1 D2 D3 D4 D5 D6 Air Pave time
 J m ### kN μm μm μm μm μm μm μm $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$
 hh:mm:ss

J-----
 Punkt 1

kN	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
31	499	237	120	78	71	52	45
51	737	373	199	128	114	86	70
63,7	880	462	252	162	143	106	88

Punkt 2

kN	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
31,2	442	222	148	110	87	55	44
50,9	665	349	244	180	139	92	71
64,5	800	430	305	226	172	114	90

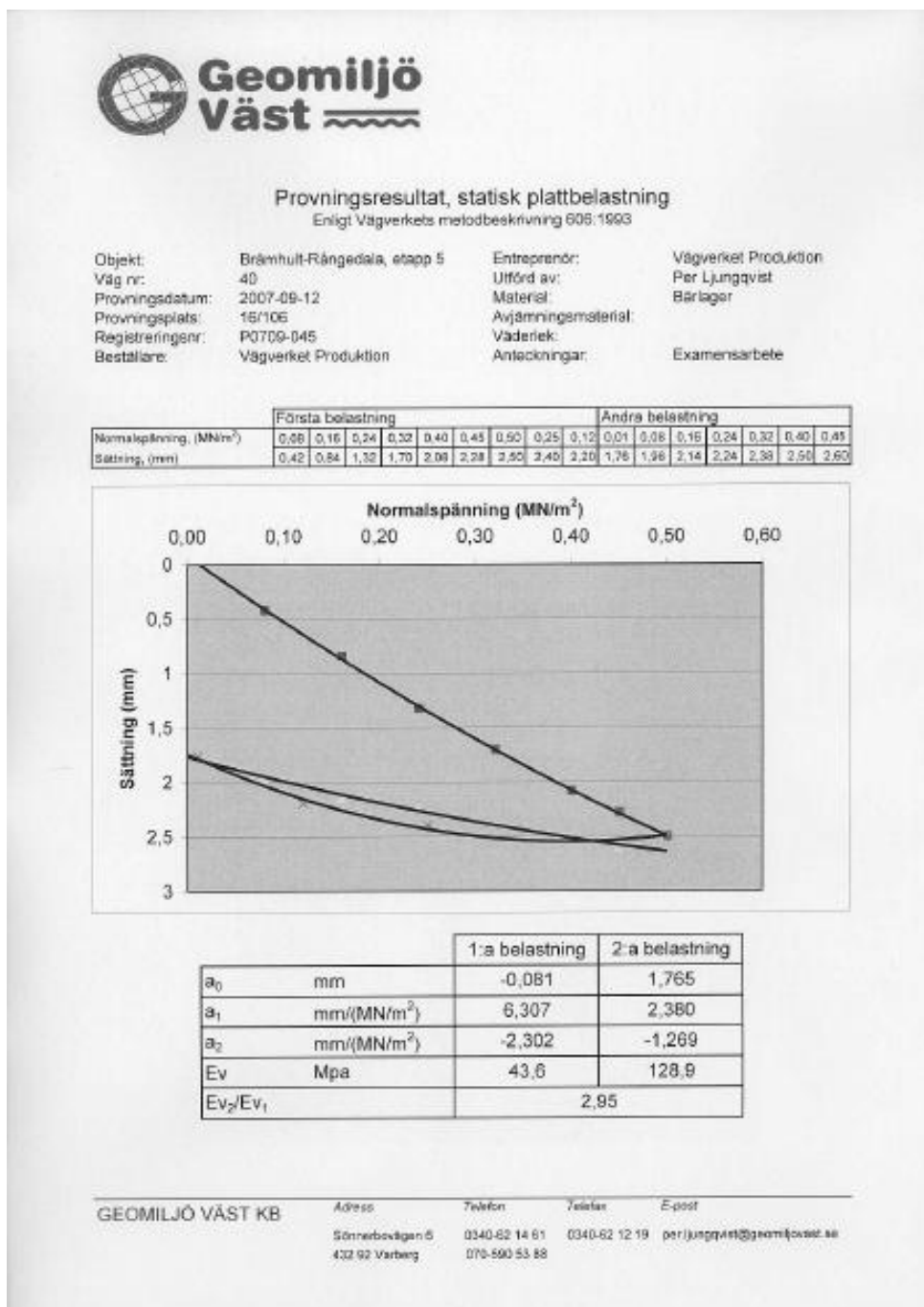
Punkt 3

kN	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
30,4	424	183	105	83	73	52	42
50,9	624	280	176	138	119	87	70
63,9	762	344	222	172	148	109	86

Punkt 4

kN	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
30,5	467	235	136	85	60	39	31
50,7	678	363	217	139	100	66	52
64	811	444	272	174	126	85	68

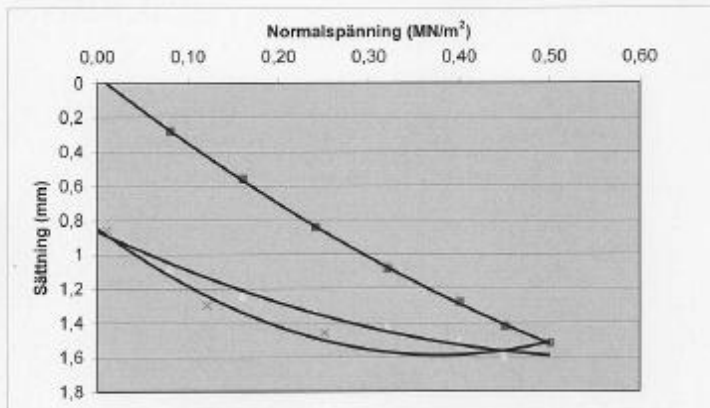
Bilaga XIV Utvärdering av statisk plattbelastning vid obunden överbyggnad hos Vägverket Produktion



Provningsresultat, statisk plattbelastning
Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Brämhult-Rångedala, stapp 5	Entreprenör:	Vägverket Produktion
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-09-12	Material:	Bärlager
Provningsplats:	16/152	Avjämningsmaterial:	
Registreringsnr:	P0700-046	Väderlek:	
Beställare:	Vägverket Produktion	Anteckningar:	Examensarbete

	Första belastning										Andra belastning									
Normalspänning (MN/m ²)	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72	0,80	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,08	1,20
Sättning (mm)	0,28	0,56	0,84	1,08	1,28	1,42	1,52	1,46	1,30	0,95	1,28	1,24	1,34	1,42	1,56	1,60				



		1:a belastning	2:a belastning
a_0	mm	-0,041	0,864
a_1	mm/(MN/m ²)	4,133	2,508
a_2	mm/(MN/m ²)	-2,011	-2,113
E_v	Mpa	71,9	155,0
E_{v2}/E_{v1}		2,15	

GEOMILJÖ VÄST KB

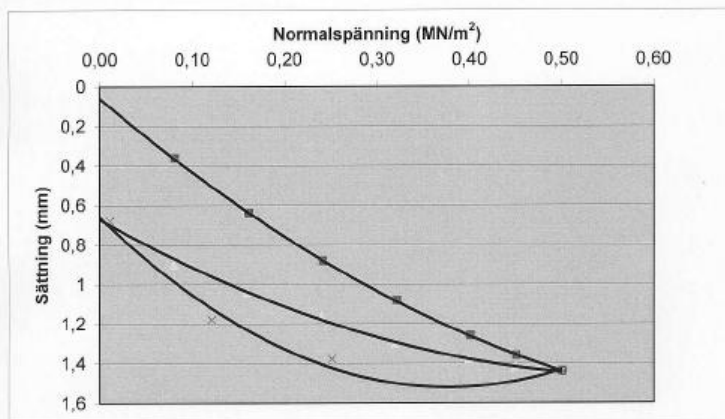
Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sörnerbovägen 6 432 82 Varberg	0340-62 14 61 070-590 93 88	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningsresultat, statisk plattbelastning

Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1993

Objekt:	Bråmhult-Rångedala, etapp 5	Entreprenör:	Vägverket Produktion
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-09-12	Material:	Bärlager
Provningsplats:	16/235 H 5,5	Avjämningsmaterial:	
Registreringsnr:	P0709-029	Väderlek:	
Beställare:	Vägverket Produktion	Anteckningar:	

	Första belastning											Andra belastning											
Normalspänning, (MN/m ²)	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	
Sättning, (mm)	0,35	0,64	0,88	1,08	1,26	1,36	1,44	1,38	1,18	0,68	0,90	1,04	1,16	1,30	1,38	1,42	0,68	0,90	1,04	1,16	1,30	1,38	1,42



		1:a belastning	2:a belastning
a ₀	mm	0,059	0,671
a ₁	mm/(MN/m ²)	4,002	2,660
a ₂	mm/(MN/m ²)	-2,482	-2,221
Ev	Mpa	81,5	145,2
Ev ₂ /Ev ₁		1,78	

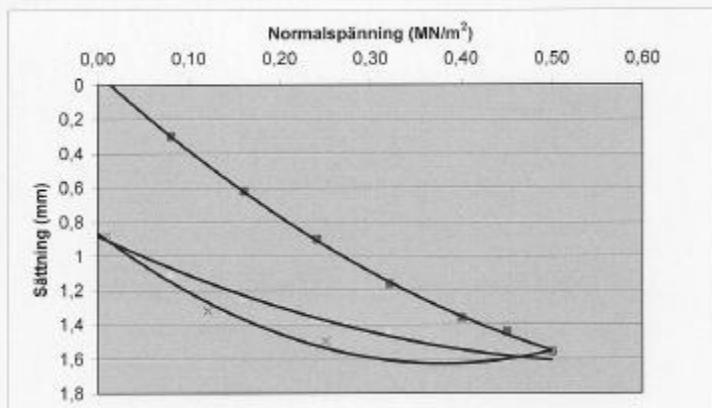
GEOMILJÖ VÄST KB

Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sönerbovägen 6 432 92 Värberg	0340-62 14 61 070-550 53 88	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Provningsresultat, statisk plattbelastning
Enligt Vägverkets metodbeskrivning 606:1893

Objekt:	Brännhult-Rångedala, stapp 5	Entreprenör:	Vägverket Produktion
Väg nr:	40	Utförd av:	Per Ljungqvist
Provningsdatum:	2007-09-12	Material:	Bärlager
Provningsplats:	16/328	Avjämningsmaterial:	
Registreringsnr:	P0709-047	Väderlek:	
Beställare:	Vägverket Produktion	Anteckningar:	Examensarbete

	Första belastning										Andra belastning					
Normalspänning (MN/m ²)	0,05	0,15	0,24	0,32	0,40	0,45	0,50	0,25	0,12	0,01	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45
Sättning (mm)	0,30	0,62	0,90	1,16	1,36	1,44	1,50	1,50	1,32	0,85	1,10	1,24	1,36	1,44	1,54	1,60



		1:a belastning	2:a belastning
a_0	mm	-0,066	0,880
a_1	mm/(MN/m ²)	4,800	2,517
a_2	mm/(MN/m ²)	-3,134	-2,125
E_v	Mpa	69,6	154,7
E_{v2}/E_{v1}		2,22	

GEOMILJÖ VÄST KB

Adress	Telefon	Telefax	E-post
Sörmarbovägen 6 432 02 Varberg	0340-62 14 61 070-560 53 88	0340-62 12 19	per.ljungqvist@geomiljovast.se

Bilaga XV Fallviktsprov från obundet bärlager hos Vägverket produktion

5001,25.20,1,40, 3, 1,"FwdWin "

5002,"25SIN ", "8082-081","CP15-106"

5003,"Knud. Da", "Rambøll ", "Borås Gr", "F25"

5010,0,0,0,0,0,0,0,3,1,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,1,"MDB"

5011,0,1,2007,09,12,11,19,0,"Non",000

5200,"0088 ",3,0.997,147.7, -0.02, 1.551

5201,"4781 ",4,1.001,1.049

5030,"Knud. Daugaard "

5031,"Borås", "", "", ""

Punkt 1

	kN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
1,	391,	1045.6,	335.7,	152.3,	105.7,	80.2,	40.5,	32.5,	34.8,	9.8
2,	445,	619.0,	264.7,	184.7,	163.2,	97.2,	51.0,	36.9,	21.8,	12.9
3,	681,	987.5,	395.4,	268.7,	195.4,	141.0,	76.2,	53.7,	34.5,	22.6
4,	720,	980.3,	410.9,	286.8,	209.0,	156.8,	87.2,	59.0,	38.2,	31.7
5,	903,	1227.3,	540.8,	378.3,	263.5,	193.0,	105.3,	72.0,	47.5,	33.9
6,	915,	1227.6,	564.0,	402.9,	281.4,	204.8,	114.0,	77.4,	50.4,	37.6

Punkt 2

	kN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
1,	450,	885.9,	409.5,	271.2,	142.0,	85.5,	47.9,	31.2,	22.4,	17.6
2,	445,	532.2,	304.0,	228.5,	143.8,	103.1,	60.6,	38.3,	25.9,	20.3
3,	685,	927.0,	476.9,	368.1,	233.4,	157.1,	87.0,	55.7,	39.4,	30.0
4,	711,	961.9,	494.2,	365.5,	277.2,	170.3,	95.6,	63.2,	40.6,	30.9
5,	910,	1193.0,	663.3,	485.7,	467.0,	223.2,	117.5,	79.2,	51.2,	39.3
6,	915,	1146.9,	675.3,	475.2,	340.7,	231.5,	121.0,	84.2,	57.8,	42.5

Punkt 3

kN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
1,	370,1623.4,	337.0,	204.0,	123.8,	112.2,	26.3,	15.3,	11.6,	5.6
2,	482,957.4,	351.6,	257.3,	142.5,	84.4,	49.3,	26.6,	18.1,	12.6
3,	688,1234.1,	533.6,	386.1,	215.6,	110.9,	63.4,	35.1,	27.0,	19.4
4,	705,1105.0,	525.2,	384.1,	227.7,	111.7,	67.4,	40.5,	29.8,	22.2
5,	911,1398.0,	687.2,	499.1,	285.4,	129.5,	77.2,	46.7,	34.9,	25.9
6,	926,1340.3,	666.0,	500.9,	299.7,	134.4,	82.5,	49.9,	37.8,	28.4

Punkt 4

kN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
1,	447,1239.0,	218.6,	138.4,	95.8,	61.5,	81.0,	14.1,	9.3,	56.2
2,	455,543.6,	193.0,	134.9,	95.4,	68.1,	37.6,	22.8,	13.3,	8.3
3,	694,849.3,	311.5,	209.4,	140.3,	97.8,	51.2,	30.0,	18.5,	13.2
4,	705,790.7,	310.0,	213.4,	142.3,	101.7,	54.7,	34.8,	20.4,	14.3
5,	910,1001.3,	399.4,	274.7,	179.2,	124.7,	60.9,	41.2,	24.2,	16.5
6,	911,949.1,	398.5,	277.8,	182.5,	127.4,	64.2,	43.8,	26.0,	17.2