

CHALMERS



Mätning av bärighetstillväxt vid varierande packningsinsatser på fördelningslager och förstärkningslager i en överbyggnad

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

ANDREAS OLSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
Forskargruppen i Geologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2005
Examensarbete 2005:82

EXAMENSARBETE 2005:82

Mätning av bärighetstillväxt vid varierande packningsinsatser på
fördelningslager och förstärkningslager i en överbyggnad

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

ANDREAS OLSSON

Institutionen för Bygg- och Miljöteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
Forskargruppen i Geologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2005

Mätning av bärighetstillväxt vid varierande packningsinsatser på fördelningslager och förstärkningslager i en överbyggnad

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

ANDREAS OLSSON

© ANDREAS OLSSON, 2005

Examensarbete 2005:

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
Forskargruppen i Geologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Framsida:

Bild på en grensletruck av sådan sort som trafikerar ytorna i Skandiahamnen.

Chalmers Reproservice
Göteborg, Sverige 2005

Mätning av bärighetstillväxt vid varierande packningsinsatser på fördelningslager och förstärkningslager i en överbyggnad

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

ANDREAS OLSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Geologi och Geoteknik

Forskargruppen i Geologi

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2005

SAMMANFATTNING

Terminalsytor i hamnområden utsätts för stora påfrestningar då tunga fordon trafikerar dessa områden, ofta mycket spårbundet. För att klara framtida lastökningar och undvika spårbildningar, så måste hela väggkonstruktionen utnyttjas optimalt.

Examensarbetet försöker att se samband mellan olika metoder att bestämma bärigheten på de obundna materialen i en överbyggnad och den sättning som sedan uppstår av tung transport. För att bestämma bärigheten så har mätningar gjorts under tiden som ytan har konstruerats med hjälp av yttäckande packningskontroll, statisk plattbelastning och tung fallvikt. Det har även installerats peglar och slangar för att kunna mäta var deformationerna uppkommer i de obundna lagren.

Resultaten visar på en god överensstämmelse mellan de olika metoderna att bestämma bärigheten på. Då ingen sättning uppkommit under försökstiden så har inga paralleller kunnats dras mellan den uppmätta bärigheten och var sättningar uppstår.

Measurement of increase in bearing capacity at fluctuating degrees of compaction on the distribution layer and the subbase in a road pavement

Master's thesis in Engineering Geology, Civil Engineering

ANDREAS OLSSON

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of GeoEngineering

Geology Research Group

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Terminal surfaces in port district are exerted to pressure from heavy vehicles, often trackboundly operated. To prepare for more and heavier cargo in the future and to avoid tracking, the pavement structure needs to be used at its optimum.

The master thesis tries to find correlations between the different methods to measure load bearing capacity in the uncombined materials in a road pavement and the deformation related to heavy transport. To determine the load bearing capacity, measurements have been made during the construction of the surface. The measurements made are: surface compaction control, static plate-bearing tests and heavy falling weight tests. Gauges and tubing have also been installed to measure where in the uncombined materials the deformations appear.

The results of this study show a high correlation between the methods of measuring load bearing capacity. Since no deformation has occurred during the trial period, no comparisons can be made between the measured load bearing capacity and the locations of the deformation.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	III
FÖRORD	V
HANDLEDARES FÖRORD	VI
FIGURER OCH TABELLER	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsning	1
2 TEORI	2
2.1 Vältmonterad packningsmätare	3
2.2 Statisk plattbelastning	4
2.3 Fuktmätare	5
2.4 Tung fallvikt	5
3 GENOMFÖRANDET	8
3.1 Vältning	8
3.1.1 Lastfördelande lager 1	10
3.1.2 Lastfördelande lager 2	10
3.1.3 Lastfördelande lager 3	10
3.1.4 Förstärkningslager	11
3.1.5 Obundet bärlager	11
3.2 Statisk plattbelastning	11
3.3 Fuktmätning	11
3.4 Fallvikt	12
3.5 Instrumentering för mätning av deformationstillväxt	13
3.5.1 Slangsättningsmätning	13
3.5.2 Pegelmätning	13
3.5.3 Stratotestmätning	14
4 RESULTAT OCH ANALYS	15
4.1 Vältning	15
4.2 Plattbelastning	16

4.3	Fuktmätning	18
4.4	Fallvikt	18
4.5	Slangar	20
4.6	Peglar	20
4.7	Stratotestmätningen	21
4.8	Jämförelser mellan de olika värdena	21
5	SLUTSATSER	24
6	FRAMTIDA UNDERSÖKNINGAR OCH REKOMMENDATIONER	26
7	REFERENSER	27
BILAGA 1	PACKNINGSPROGRAM OCH MÄTSEKVENSER	
BILAGA 2	MÄTPUNKTER FÖR FALLVIKT OCH PLATTBELASTNING	
BILAGA 3	BILD PÅ LASTFÖRDELANDE LAGER 2 FÄRDIG VÄLTAT	
BILAGA 4	INSTRUMENTERINGENS PLACERINGAR	
BILAGA 5	FINMATERIALET RUNT SLANGEN	
BILAGA 6	ALLA VÄRDEN FRÅN STATISK PLATTBELASTNING	
BILAGA 7	EV ₁ VÄRDENA	
BILAGA 8	ALLA MEDELVÄRDEN PÅ YTMODULERNA	
BILAGA 9	RESULTATET FRÅN DEN PASSNINGSRÄKNADE MODULEN PÅ ASFALTSLAGRET	
BILAGA 10	MEDELVÄRDET AV DE PASSNINGSRÄKNADE MODULERNA FRÅN ASFALTSLAGRET	
BILAGA 11	GRAF ÖVER DE 3 SLANGARNA	
BILAGA 12	GRAF ÖVER EV _{1B} OCH EV ₂ VÄRDEN	

Förord

Detta examensarbete har skrivits vid Institutionen för bygg- och miljöteknik, Avdelningen för geologi och geoteknik och med ett tätt samarbete med Skandiahammen.

Jag vill framföra ett stort tack till min handledare Jan Hansson för all hjälp han har gett mig.

Denna rapport hade inte varit möjlig att genomföra om jag inte fått all den hjälp som jag fått från beställarorganisationen och entreprenörerna i Skandiahammen samt det ekonomiska stödet från SBUF via SVR.

Ett särskilt stort tack vill jag ge till

Alla på kontoret i Skandiahammen

Alla i referensgruppen

Alla på SBS entreprenad och deras inhyrda maskinister

Alla på Skanska asfalt

Göteborg oktober 2005

Andreas Olsson

Handledares förord

Föreliggande examensarbete av Andreas Olsson har utförts på institutionen för Geologi och Geoteknik på Chalmers under handledning av undertecknad. Examinator har varit professor Göran Sällfors.

Examensarbetet är initierat av Göteborgs Hamn via SVR:s väggrupp, samt Helene Kennedy NCC/Chalmers. Göteborgs Hamn ville utreda bärighetsförbättrande åtgärder på obundet material i form av utökad packningsinsats. Bärigheten har mätts med olika metoder som jämförelse och bärighetsförbättringen har följts upp med deformationsmätning i olika delar av konstruktionen.

Projektet är finansierat via medel och insatser av SBUF, Göteborgs Hamn, SBS, Eliassons Maskin AB och Skanska. Följande styrgrupp har varit kopplat till projektet:

Sigvard Sundelid, Skanska
Ingemar Moström, Göteborgs Hamn
Stefan Åkerström, Eliassons Maskin AB
Jan Hansson, Skanska/Chalmers

Martin Köster, Skanska
Richard Adestrom, Göteborgs Hamn
Patrik Nordberg, SBS
Andreas Olsson, Chalmers

Andreas Olsson har på ett föredömligt sätt genomfört de till projektet omfattande fältarbetena. Han har på ett aktivt och självständigt sätt tagit sig an installation av deformationsgivare, utvecklat ny metod för att använda pegrar för deformationsmätning på olika delar av en obunden konstruktion, packat provytans olika lager, utfört yttäckande packningskontroll (YPK) samt statisk plattbelastning. Han har dessutom visat prov på god analytisk förmåga vid sammanställning och analys av den omfattande mätdatan. Andreas har visat att han har mycket goda teoretiska och praktiska kunskaper inom anläggningsområdet. Han skall därför ha ett stort tack för ett utmärkt genomfört examensarbete.

Redovisning av arbetet har skett förutom i denna rapport även muntligt vid seminarium på Chalmers och Göteborgs Hamn.

Göteborg 2005-10-27

Jan Hansson
Doktorand

Figurer och tabeller

Figurer

- Figur 2.1 Schematisk bild över vilka lager som påverkar vilka sensorer. Från Lindberg (2004)
- Figur 3.1 Färgöversikt på de 6 vältspåren
- Figur 3.2 Bild över hur VMV varierar över ett vältspår
- Figur 3.3 Schematisk bild över pegeln
- Figur 4.1 Ett exempel på de låga vältvärdena som förekommer i början på vissa spår
- Figur 4.2 Medelvärdet över spår 3 & 4 samt standardavvikelse & variationskoefficient
- Figur 4.3 Medelvärdet av Ev_2 samt standardavvikelse & variationskoefficient
- Figur 4.4 Medelvärdet av kvoten Ev_2/Ev_1 för de olika materiallagren
- Figur 4.5 Indikation på att en fortsatt packningspotential finns
- Figur 4.6 Resultatet från förstärkningslagret 24 överfarter när det gäller den passningsräknade modulen
- Figur 4.7 Jämförelse mellan statisk plattbelastning och vältmätarvärdet
- Figur 4.8 Jämförelse mellan statisk plattbelastning och tungfallvikt

Tabeller

- Tabell 4.1 Översikt över vilka punkter som klarade ATB VÄG & AMA: s krav
- Tabell 4.2 Medelvärdet av fuktkvoten på de olika lagren
- Tabell 4.3 Medeldifferensen av slangarna mot nollmätningen, negativt värde indikerar en deformation
- Tabell 4.4 Differensen av peglarna mot nollmätningen, negativt värde indikerar en deformation
- Tabell 4.5 Medelvärdet av differensen vid mätningen av aluminiumfolien, negativt värde indikerar en deformation

Beteckningar

Bär	Bärlager
C200	Densitets- och fukthaltsmätare Seman modell C200
E_{v1}	Plastisk deformationsmodul (första belastningsserien)
E_{v2}	Plastisk deformationsmodul (andra belastningsserien)
E_{v2}/E_{v1}	Packningskvot
Eviv	Vältillverkarens betäckning på vältmätarvärde
FWD	Tung fallvikt
Först	Förstärkningslager
Last	Lastfördelande lager
PE	Polyeten
PEL	L Står för låg densitet vilket innebär att plasten är mjuk och böjlig
PEM	M Står för medeldensitet
PEH	H Står för hög densitet vilket innebär att plasten är hård och styv
SPB	Statisk plattbelastning
VMV	Vältmätarvärde
YPK	Yttäckande packningskontroll
Över	Överfarter

1 Inledning

För att minska underhållskostnaderna på vägar, flygfält, terminalsytor och andra trafikerade områden har det mer och mer diskuterats hur packningen av de obundna materialen skall utföras och kontrolleras. För att förstå packningens betydelse kan det nämnas att en densitetsökning på 1 % vanligen ger en bärighetsökning på 10-15 %. Så även om packningen bara står för ungefär 1-4 % av hela byggkostnaden har den en avgörande betydelse för det färdiga projektets kvalitet och livslängd. Dynapac (2001)

1.1 Bakgrund

För att klara framtida lastökningar på Skandiahamnens terminalsytor i Göteborg pågår ett omfattande förstärkningsarbete. För hantering av containrar används grensletruckar med en totalvikt på ca 100 ton, fördelat på 8 hjul, vilket ger ca 12,5 ton per hjul. Detta ska ställas i relation till den 10 tons standardaxel, 4 hjul 2,5 ton per hjul, som regelverket baseras på och som dimensioneringen sker efter ATB Väg, Bro (2002) och Anläggnings AMA. Den betydligt högre hjullasten från grensletruckarna samt att denna trafik är extremt spårbunden, en variation på ca 15 cm, gör att de ingående materialen i bundna och obundna lager måste utnyttjas optimalt för att undvika framtida spårbildningar.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är:

- Optimera obundna lagrens funktion med avseende på packningsinsats i syfte att minimera permanent deformationstillväxt
- Föreslå anpassade bärighetskrav för terminalsytor med högre laster.
- Utvärdera olika typer av bärighetsmätningar.
- Studera relationen uppmätt bärighet och permanent deformationstillväxt.
- Klarlägga var permanenta deformationer uppkommer i överbyggnaden.

1.3 Avgränsning

- Data enbart från de obundna lagren har utvärderats
- Deformationen i asfalten har mätts för att veta att denna deformation inte hör till de obundna lagren när hela konstruktionens deformation beaktas
- Ingen kontroll av valvbildningen mellan pålplattorna har utförts
- Endast en begränsad terminalsyta i Skandiahamnen har studerats
- Vibrerande vält av typ Bomag BW 213 DH-3 BVC har använts för packning och packningskontroll

2 Teori

När det gäller omfattande jordpackningsarbeten anses världen över att någon form av resultatkontroll bör ingå som en viktig del av arbetet. Sgf ytpackning (2004)

I de flesta fall tillämpas den av Proctor redan på 30-talet utvecklade metoden att det packade jordmaterialets densitet minst ska uppnå ett föreskrivet minimivärde bestämt med utgångspunkt från ett normerat instampningsprov. På många håll används sand- eller vattenvolymmeter för fältbestämningar av det packade jordmaterialets densitet. Under senare år har isotopmätare blivit allt mer vanliga för densitetsmätningar i fält. Dessa typer av mätare har vissa nackdelar, bl.a. i säkerhetsavseende främst med tanke på radioaktivitet, men några nya typer av densitetsmätare för jordmaterial har inte utvecklats. Sgf ytpackning (2004)

I vissa europeiska länder föreskrivs bärighetsmätningar för resultatkontroll av vägöverbyggnaders obundna material, vanligtvis utförda med statisk plattbelastning. I Sverige tillämpades tidigare endast utförandekontroll, som innebär övervakning av lagertjocklekar och antal överfarter med lämplig typ av packningsmaskin. Då resultatkontroll för packning av vägars obundna material infördes av Vägverket valdes även här kontroll av ytornas bärighet. Kontrollen baseras antingen enbart på statistiska plattbelastningsprov eller på yttäckande packningskontroll med kontrollprov utförda med statisk plattbelastning. Den yttäckande packningskontrollen genomförs lämpligast med vältmonterade packningsmätare. Packningskontroll med utgångspunkt från bestämningar av den packade ytans bärighet, i vissa fall med hjälp av yttäckande packningskontroll, har främst kommit till användning i Sverige, Tyskland och Österrike. Sgf ytpackning (2004)

Vad menas då med bärighet? Enligt Vägverket (VV publikationer 112 (1998)) så är definitionen ”högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer”. Detta skall nu inte förväxlas med styvhet som är förhållandet mellan påförd last och deformation och benämns vanligen i form av en E-modul (deformationsmodul). E-modulen fungerar däremot som en bra indikator på bärighet och modulen är lätt att få fram tex genom plattbelastningsprov. Deformation kan bero på i huvudsak två olika orsaker, volymändring och formändring. Dessa kan sedan delas in i flera olika undergrupper. Normalt är deformationerna i en jord en kombination av dessa två huvudgrupper. För att uppnå en bra bärighet så krävs det att deformationerna sker innan ytan är färdig att tas i bruk. Detta uppnås med hjälp av packningsinsatser. De viktigaste faktorerna som påverkar packningsresultatet är jordart, vattenkvot, packningsmetod och underlagets styvhet. Forsblad (2000)

Deformationen som sker efter att konstruktionen har tagits i bruk kan enligt Werkmeister (2003) utvecklas på tre olika sätt, beroende på vilken typ av belastning som konstruktionen blir utsatt för. Belastningen antas vara konstant i alla tre fallen men störst i fall 3 och minst i fall 1.

Fall 1: Konstruktionen får en mindre deformation som växer fram sakta men avtar efter hand och blir nästan stabil men viss deformation kommer alltid att fortgå. Deformationerna är små och beror på nötning av de enskilda kornen, en smärre form av efterpackning.

Fall 2: Konstruktionen uppför sig som i fall 1 men deformationerna kommer fortare och blir större. Deformationshastigheten minskar efter en tid och kommer därefter att hålla sig på en låg nivå under en längre tid. Deformationen beror framförallt på nötning av de enskilda kornen, rotation av partiklarna och att friktionen inte varit tillräcklig mellan kornen. Konstruktionen kommer efter en lång tid att kollapsa då friktionen mellan kornen minskar och kornens form bryts ner.

Fall 3: Konstruktionen går igenom samma förlopp som i fall 2 men nu sker första deformationen snabbt och nu uppkommer även brott på de enskilda kornen vilket kan leda till större omorganisationer av kornen. Perioden av stabilitet är kort och under denna tid utvecklas större deformationer än i tidigare fall, vilket bidrar till en tidigare kollaps.

Nedan beskrivs teorin bakom de mätmetoder som används i projektet.

2.1 Vältmonterad packningsmätare

Ett praktiskt sätt att utföra en omfattande kontroll av underlagets elasticitetsgenskaper är att använda en vältmonterad packningsmätare. Metoden kallas i allmänhet för yttäckande packningskontroll [YPK] och lanserades redan 1978, Forssblad (2000). YPK är avsedd för kontinuerlig registrering och dokumentation av elasticiteten i obundna jord- eller bergmaterial. Utrustningen finns i en rad olika fabrikat och med delvis olika mätprinciper. En del ger endast ett värde som kan relateras till tidigare överfarter för att se om det blir en tillväxt för varje överfart, andra går att kalibrera med statisk plattbelastning och några ger ett värde direkt som är jämförbart med statisk plattbelastning.

Packningskontrollen sker med särskild provningsvält eller ett annat packningsredskap kompletterat med mät- och dokumentationsutrustning. Principen är att en sensor (accelerometer), monterad på trumlagret, mäter kontinuerligt de anslagskrafter som uppkommer när den vibrerande trumman arbetar på ytan. Desto mer packad jorden är ju kraftigare studs får välttrumman vid anslag. Signalen från sensorn ändrar karaktär när underlaget blir hårdare och mer stabilt under packning.

Vältmätarvärdet [VMV] påverkas av olika egenskaper hos underlaget. Eftersom YPK är en indirekt mätmetod av egenskaper och tillstånd i det packade lagret, såsom styvhet och komprimering, är det viktigt att andra faktorer (kornfördelning, vattenkvot och underliggande lagers styvhet) varierar i minsta möjliga utsträckning. Hur dessa faktorer påverkar VMV beskrivs nedan. VV Metodbeskrivning 603 (1994)

- Kornfördelningens inverkan på VMV är beroende av jordartens och vältens verkningssätt men generellt gäller att grövre jordarter ger en högre styvhet i lagret och därmed också ett högre VMV.
- Vattenkvoten har olika inflytande beroende på materialets grovkornighet. I grovkorniga material spelar vattenkvoten en mindre roll, dock får vattenkvoten redan vid en finjordhalt på 5 – 10 % en ökad betydelse. Vid finjordhalter >15 % har vattenkvoten mycket stor inverkan på materialets styvhet och därmed VMV.

- Underliggande lagers styvhet. Om undergrunden är lös, påverkas VMV-värdet om den ligger inom vältens mätområde.

Vid packning med vibrovält på mycket hårda underlag eller då det uppnåtts en mycket hård packning kan sk dubbelslag (dubbelstuds) förekomma. Dubbelslag innebär att vibrationsvängningarna kommer i otakt och välten kommer i egensvängning. VMV ger i detta fall ett lägre värde i förhållande till vad som erhållits på samma yta tidigare. Geodynamik. Vid uppkomst av dubbelslag kan vibrovälten ställas om till en lägre amplitud. Information om eventuell tillväxt av styvheten kan då åter kontrolleras men ej jämföras med tidigare mätningar. Lind & Hermelin (1988)

”Om VMV används för egenkontroll måste kalibreringar vara utförda med den använda amplituden.” VV Metodbeskrivning 606 (1994)

Maskinparametrarnas inverkan på vältmätarvärdet enligt VV Metodbeskrivning 606 (1994)

- **Frekvens** Högre vibrationsfrekvens ger lägre VMV
- **Amplitud** Lägre vibrationsamplitud ger lägre VMV
- **Hastighet** Högre välthastighet ger lägre VMV
- **Anliggning** Sämre anliggning av valsen mot underlaget ger lägre VMV
- **Körriktning** Backning av välten ger vanligtvis lägre VMV

2.2 Statisk plattbelastning

Statisk plattbelastning [SPB] används för att bestämma underlagets elasticitets- och deformationsegenskaper genom att belasta underlaget med en bestämd tryckspänning. Kraften påförs underlaget via en cirkulär stålplatta som belastas i två omgångar med en mellanliggande avlastning på tre steg. Första lastökningen sker i åtta steg och den andra i sju steg. Vid alla lastförändringar registreras den deformation som uppkommer under stålplattan. Resultatet plottas för alla mätpunkter i ett tryckspänning – sättningsdiagram där deformationsmodulerna från den första och den andra belastningsserien (E_{v1} och E_{v2}) och kvoten mellan deformationsmodulerna (E_{v2}/E_{v1}) beräknas. Deformationsmodulen (E_v) används för att karakterisera deformationsbarheten hos jorden. Dess värde beräknas med utgångspunkt från trycksättningslinjen vid det första och andra belastningsprovet. Trycksättningslinjen beräknas genom att en andragradskurva anpassas till de uppmätta mätvärdena och sättningen beskrivs som andragradsekvationen (2.1) E_v fås sedan fram genom formel (2.2)

$$s = a_0 + a_1 \sigma + a_2 \sigma^2 \quad (2.1)$$

där s = Sättning i belastningsplattans centrum i mm

σ = Medelnormalspänningen eller tryckspänning under plattan i MPa

a_0 a_1 a_2 = Konstanter i andragradsekvationen som hämtas från andragradskurvan ur dataprogrammet.

$$E_v = \frac{1,5 \cdot r}{(a_1 + a_2 \cdot \sigma_{1\max})} \quad (2.2)$$

där r = Belastningsplattans radie

$\sigma_{1\max}$ = Maximal medelnormalspänning vid den första belastningen i MPa

För en mer noggrann förklaring se VV Metodbeskrivning 606 (1994) och Aghaali-Tari & Nayebi (1995).

”I Tyskland, Finland, Norge och Sverige används vanligen $\phi 300$ mm belastningsplattor, och i Danmark beroende av mätobjekten $\phi 300$, 400, 450, 600, eller 760 mm plattor. Mättekniken varierar något från land till land.” Amen & Lekarp 1994. Mätvärdena som fås ger i allmänhet en ganska stor spridning vilket kan bero på många faktorer t.ex. brister i utrustningen, handhavande fel och variationer på platsen.

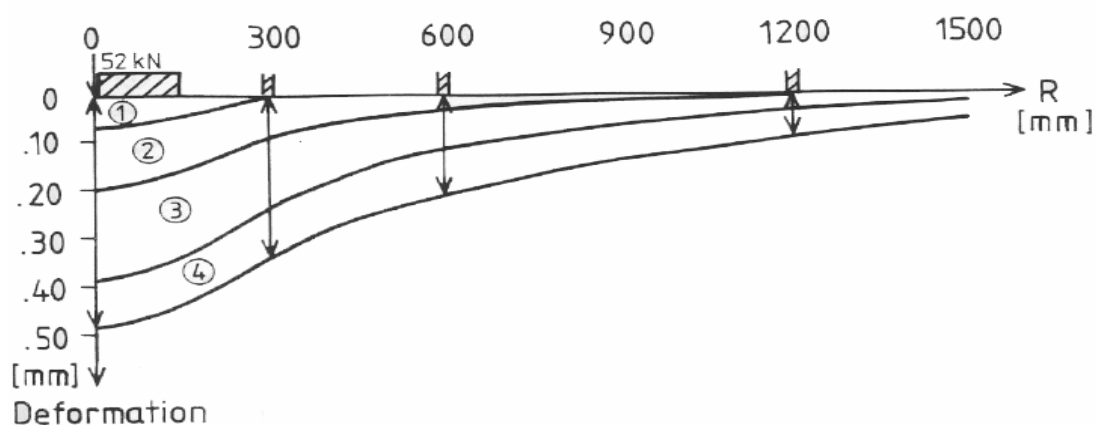
2.3 Fuktmätare

Fuktmätning kan ske på flera olika sätt, det traditionella är att ta ett prov och att väga det, torka det och väga det igen. Genom denna procedur erhålls vikten på det förångningsbara vattnet och det går då att räkna fram fuktkvoten. Detta kan också göras med en isotopmätare som är en icke förstörande metod. Isotopmätare fungerar enligt principen att den sänder iväg en känd mängd neutroner med hög hastighet där några kommer att träffa väteatomer och då få en starkt reducerad hastighet, det är dessa med låg hastighet som isotopmätare räknar. Vid ett ökande vatteninnehåll kommer hastigheten att sjunka på flera neutroner, vilket är det som mätprincipen bygger på. Isotopmätare kan även mäta densiteten. Operatörsmanual

2.4 Tung fallvikt

Fallviktsapparaten åstadkommer en belastning motsvarande överfarten av ett tungt fordon, genom att en vikt får falla på ett fjädersystem monterat på en belastningsplatta, vilken överför kraften till vägen. Kraftpulsens beror av viktens massa, fjädersystemets egenskaper, fallhöjden och väggkroppens styvhet vilken är den sökta variabeln. Vägytans deformation under stöten registreras av sensorer, dels i

belastningscentrum och i flera punkter på valda avstånd från belastningscentrum. En hjälp då det ska bestämmas hur många sensorer som skall användas, är att ha fler sensorer än lager i vägen. Deformationen under belastningsplattan beror på alla de underliggande lagren, medan skillnaden i deformation mellan belastningsplattan och den närmaste givaren beror på de översta lagren osv. De yttersta sensorerna används således då information om lagren längre ner i konstruktionen skall analyseras. I figur 2.1 finns en schematisk bild över hur de olika lagren påverkar de olika sensorerna. (sensorerna sitter på 300, 600, 1200 mm). Lindberg (2004)



Figur 2.1 Schematisk bild över vilka lager som påverkar vilka sensorer. Från Lindberg (2004)

Belastningsplattan som leder ner kraften mot marken kan vara styv eller segmenterad (ledad). Den styva plattan används då underlaget är helt plant så att hela plattan kan ligga an mot underlaget. Lindberg (2004)

Fallviktsapparater finns av olika fabrikat vilket innebär att tekniskt viktiga egenskaper kan skilja dem åt, samt andra parametrar. Kraftpulsens längd och form är exempel på sådana parametrar som kan skilja dem åt, så värden som ska jämföras med varandra bör därför vara framtagna med en maskin av samma märke. Om det skall vara riktigt noggrant så skall det vara samma maskin som utför de olika mätningarna. Om jämförelser skall göras mellan olika vägar bör även det tänkas på att göra mätningarna då det är liknande förhållanden i marken, lämpligast under sommar- och höstmånaderna då tjälen har gått ur och inte hunnit utvecklas på nytt. Detta varierar givetvis mycket beroende på var någonstans i Sverige platserna är lokaliserade. Lindberg (2004)

Definitionen på ytmodul är enligt Vägverket (VV publikationer 114 (2000)) "Den fiktiva modul som kan beräknas för en yta om underlaget antas bestå av endast ett homogent, isotropt och linjärelastiskt lager." Ytmodulen beräknas med formeln 2.3.

$$E_0 = \frac{1000 * f * (1 - \nu^2) * \sigma_0 * a}{D_0} \quad 2.3$$

där	E_0	=	Ytmodul [MPa]
	f	=	2 för segmenterade belastningsplattor och $\pi/2$ för styva belastningsplattor
	ν	=	Tvärkontraktionstalet [dimensionslöst]
	σ_0	=	Kontakttrycket under belastningsplattan [MPa]
	a	=	Plattans radie [mm]
	D_0	=	Deformationen i centrum [μm]

Om det istället är E-modulen som är av intresse för de olika lagren kan denna erhållas med hjälp av passningsräkning. I detta arbete har Clevercalc 3.9 använts. Antaganden som då görs är en linjärelastisk responsmodell samt att materialen är homogena och isotropa. Alla lager antas ha begränsad tjocklek, förutom för det understa som antas ha en oändlig mäktighet. Utbredningen av lagren i horisontalplanet antas vara oändlig och lasten antas vara statisk. Det antas sedan en E-modul för de olika lagren för vilka mäktigheten bör vara känd. Dataprogrammet räknar fram en deformation som skulle ha uppstått med dessa förutsättningar. Denna jämförs med den uppmätta deformationen och ny E-modul antas. Denna procedur fortgår tills en framräknad deformation stämmer väl överens med den uppmätta. VV publikationer 114 (2000)

3 Genomförandet

Projektet genomfördes i form av ett fältförsök bestående av en provyta med måtten 12*16 meter som är placerad i en stor yta med samma konstruktionsprincip. Provytans konstruktion var en standardkonstruktion som har använts tidigare i Göteborgs hamn.

Från ovensidan räknat består konstruktionen av:

- | | | |
|---|-----------------------------|--------------|
| • Slitlager. | Asfaltbetong Duratop 11, | 40 mm |
| • Bindlager. | Asfaltbetong Durabind 22, | 65 mm |
| • Bärlager. | Asfaltbetong Durabase 22, | 70 mm |
| • Bärlager. | Obundet krossmaterial 0-45, | 80 mm |
| • Förstärkningslager | Krossmaterial 0-125, | 320 mm |
| • Lastfördelande lager 3, | Krossmaterial 0-200, | 420 – 670 mm |
| • Lastfördelande lager 2, | Krossmaterial 0-200, | 420 – 670 mm |
| • Lastfördelande lager 1, | Krossmaterial 0-200, | 500 mm |
| • 2 lager Basetex | | |
| • Skyddslager | Krossmaterial | 100 mm |
| • Fiberduk | | |
| • Skyddslager | Krossmaterial 0-40 | 100 mm |
| • Pålplattor av betong med kringfyllning av material 0-200 mm | | |

Till standardkonstruktionen hör ett packningsprogram, se bilaga 1, vilket innehåller grundförutsättningarna för packningsarbetet. Packningsprogram är framtaget av BO Johansson & Helene Kennedy på NCC teknik.

Bärighetstillväxten vid packning undersöktes med en datoriserad packningsmätare på en vibrovält. Provytan packades tills vältmätarvärdet [VMV] avstannat eller att det minsta antalet överfarter är gjorda enligt grundförutsättningarna. Parallellt med detta genomfördes ytterligare bärighetsmätningar efter varierat antal överfarter med statisk plattbelastning och på förstärkningslagret och bärlager även med tung fallvikt. Innan varje mätning med statisk plattbelastning [SPB] och tung fallvikt, gjordes också mätning av fuktkvoten. På detta sätt kan olika bärighetsmätningar relateras till varandra. För att få en överskådlig bild av hur ytan packats och mätts, se bilaga 1.

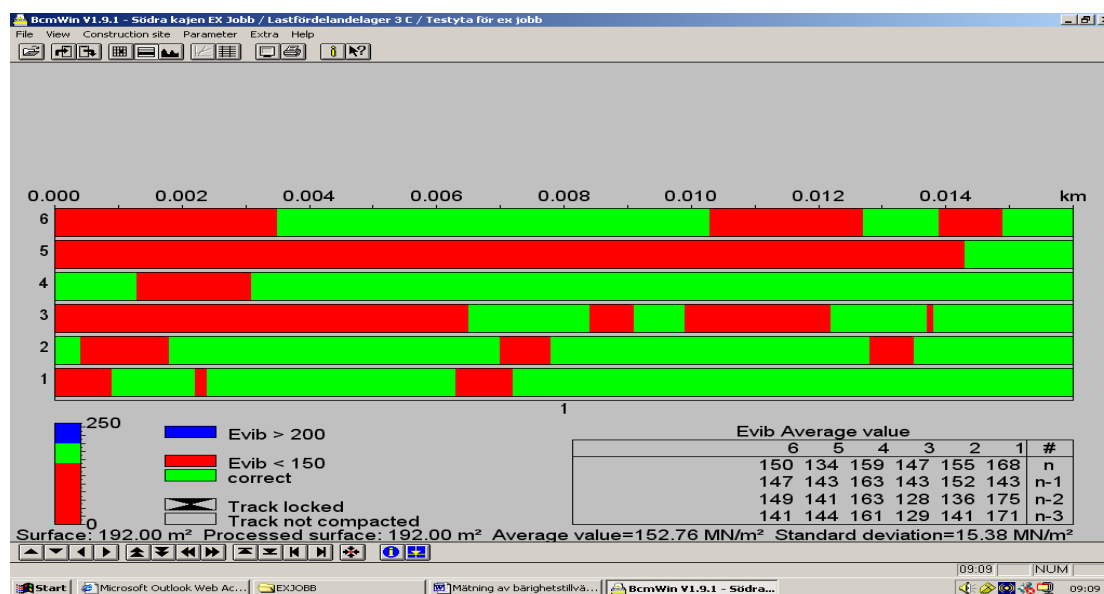
I kapitel 3.1 – 3.4 beskrivs de olika mätmetoderna mer utförligt och i kapitel 3.5 förklaras instrumenteringen för mätning av deformationstillväxt.

3.1 Vältning

Vältningen är utförd med en Bomag BW 213 DH-3 BVC som är av typen vibrationsvält med en linjelast på ungefär 42 kN/m. Denna vält har en speciell funktion som gör att den kan variera amplituden (0-2,5 mm) automatiskt beroende på underlagets respons för att uppnå en optimal packning. Denna funktion har inte utnyttjats utan en fast inställd amplitud har använts för att bättre kunna jämföra vältmätarvärden [VMV] med varandra, se kapitel 2.2 för information om vad som inverkar på VMV. Ytan som är 12 meter bred har delats upp i 6 vältspår, vilket passade bra då välten maximalt täcker 2,13 meter, dessa har enligt dataprogrammet

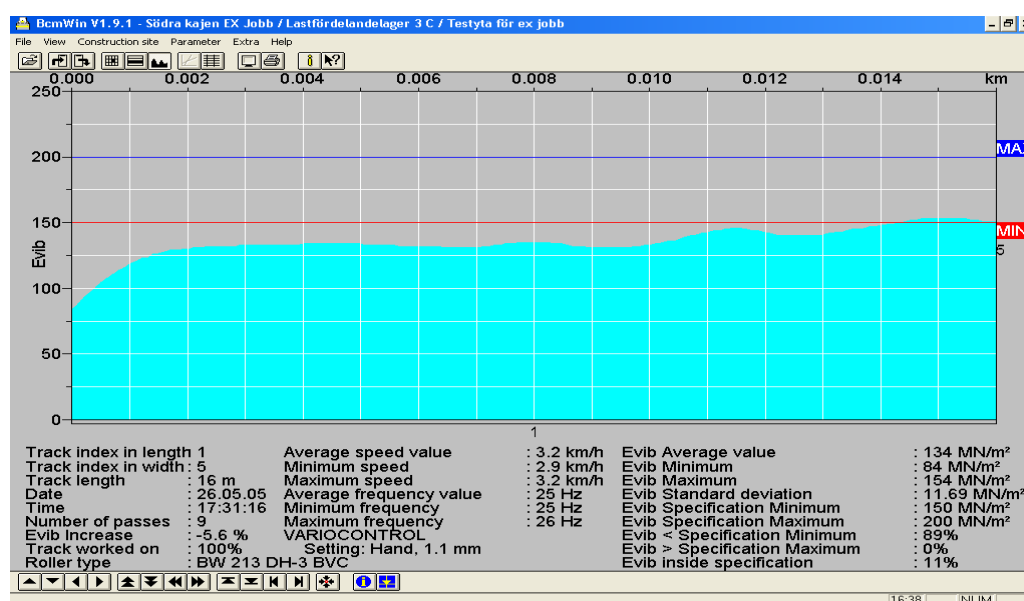
(BcmWin 1.9.1) benämns 1-6 där spår 1 är det som är längst söder ut. För att VMV enkelt skulle kunna dokumenteras, var det enklast att välta färdigt varje spår innan nästa spår kunde påbörjas.

Välten registrerade ett värde var tionde cm, vilket är ett medelvärde över den yta som bildats av valsens bredd och en längd på 10 cm. Värdena kan sedan redovisade på tre olika sätt. Det första sättet ger en färgöversikt på alla de sex vältspåren, se figur 3.1. Denna redovisningsprincip ger en överskådlig bild över vilka områden som överstigit utvalda VMV i detta fall är det satt till Evib =150 och 200 MPa.



Figur 3.1 Färgöversikt på de 6 vältspåren.

Färgöversikten säger inget om hur nära värdena ligger de olika gränserna. Redovisningsätt 2 visar en graf över varje vältspår där det framgår hur värdena pendlar över vältspåret se figur 3.2.



Figur 3.2 Bild över hur VMV varierar över ett vältspår.

Redovisningssättet som har använts mest i detta projekt har varit möjligheten att få ut värden var tionde cm i en Excelfil. Nackdelen med vältens programvara har varit att det endast är den sista överfarten som sparats.

Nedan beskrivs packningsinsatsen för respektive lager.

3.1.1 Lastfördelande lager 1

Detta lager har inte vältats överhuvudtaget utan endast sex överfarter, där varje överfart är en tur fram och tillbaka över ytan, med bandgående grävmaskin har genomförts då det har antagits att pålplattorna kan ta skada om vält används på detta tidiga stadium.

3.1.2 Lastfördelande lager 2

Enligt grundförutsättningarna skulle detta lager vältas med minst 20 överfarter med en låg amplitud, vilken valdes till 1,5 mm. En hög amplitud fick inte användas då risk för att förstöra pålplattorna förelåg. Vältningen skedde i två etapper, först 10 överfarter, sedan SPB och därefter minst 10 överfarter ytterligare. De första 10 överfarterna genomfördes genom att spår 6 kördes först och sedan 5 osv. Detta var enda gången som turordningen var omvänd, alla andra vältsekvenser är körda spår 1 till 6.

Vid de resterande överfarterna skulle vältning ske till VMV avstannat eller minst 10 överfarter gjorts. Detta testades genom att spår 1 vältades samtidigt som VMV kontrollerades, men då värdet varierade mycket och föraren var ovan blev det 23 överfarter, totalt 33 överfarter, på spår 1 innan packningen av spår 2 påbörjades. Spår 2-6 jämfördes sedan med spår 1 och då dessa vältats ca fem överfarter var VMV jämförbara med de 23 överfarterna. Varför spår 2-6 endast vältades 10 överfarter, vilket var det minsta antalet som skulle göras.

3.1.3 Lastfördelande lager 3

Enligt grundförutsättningarna skulle detta lager vältas med minst 12 vältöverfarter med hög amplitud, vilket är 2,5 mm, och sex vältöverfarter med medelhög amplitud. Vältningen skulle ske i tre etapper, sex överfarter och SPB, sex överfarter och SPB och minst sex överfarter till och SPB. Vid de första sex överfarterna skakade välden konstigt och gav låga VMV.

Vid andra överfarten i andra etappen i spår 1 testades variabel amplitud för att se om det var så att välden dubbelslog och därför skakade konstigt och gav låga VMV. Det visar sig att vid körning med variabel amplitud låg amplituden runt 1,5 mm och att större VMV erhålls. Det kunde konstateras att dubbelslag var anledningen till de konstiga skakningarna. De resterande överfarterna gjordes därför med den lägre amplituden 1,5 mm. Då det enligt instrumenten verkade som om det fortfarande skedde en stor ökning av VMV efter sex överfarter, kördes ytterligare tre överfarter.

Vid överfarterna i sista etappen användes en amplitud på 1,5 mm och även nu märktes ökning i VMV efter sex överfarter vilket gjorde att ytterligare tre överfarter kördes, totalt 9 st. Under de sista överfarterna på spår 5 började välden att dubbelslå igen, så då sänktes amplituden till 1,1 mm.

Efter att SPB utförts gjordes ytterligare två överfarer men nu med variabel amplitud.

3.1.4 Förstärkningslager

Enligt grundförutsättningarna skulle detta lager vältas med minst 18 överfarer med låg amplitud, den valdes till 1,1 mm, och sex överfarer statistiskt. Vältningen utfördes i tre etapper, 10 överfarer SPB tung fallvikt, minst åtta överfarer SPB tung fallvikt, och sex överfarer statistiskt. Detta lager packades enligt grundförutsättningarna och den enda ändringen som gjordes var att amplituden sänktes till 0,7 mm under andra etappen i spår 2. Detta gjordes pga att vältan börjar dubbelslå i slutet av etapp 1, men denna gång visas ett större VMV vilket är tvärtemot tidigare undersökningar (Geodynamik). Anledningen till att detta lager inte vältats till VMV avstannat beror på att inblandningen av fallvikten innebar ett pressat schema denna dag.

3.1.5 Obundet bärlager

Enligt grundförutsättningarna skulle detta lager vältas med minst två överfarer med låg amplitud, den valdes till 0,7 mm, och 10 överfarer statistiskt. Detta lager har vältats enligt grundförutsättningarna. Anledningen till att detta lager inte vältats till VMV avstannat beror på att inblandningen av fallvikten innebar ett pressat schema denna dag samt vid statistiska överfarer kan VMV ej erhållas.

3.2 Statisk plattbelastning

Statiskplattbelastningen [SPB] har utförts enligt Vägverkets metodbeskrivning och som mothåll har samma vält använts som vid vältningen. SPB är utförd på fem punkter på de olika lagren och det har varit på samma punkt igenom alla lager för att få ett så jämförbart värde som möjligt, se bilaga 2 för punkternas lokalisering. På lastfördelande lager 1 uppstod det efter 20 överfarer problem med punkt 3 och 4. Vid punkt 3 låg det en sten under mätarmen, så under första belastningsomgången vid 0,08 MPa fick försöket avbrytas och göras om. Vid belastningen av punkt 4 så blev mätplattan och kolven ej vertikala men försöket avbröts inte och resultaten har använts. De resterande försöken av lastfördelande lager 2 och 3, förstärkningslagret och obundet bärlager genomfördes problemfritt. I bilaga 1 anges antalet vältöverfarer före varje SPB-test och antalet SPB-test för de olika lagren.

3.3 Fuktmätning

Fuktkvoten skall kontrolleras före SPB och fallviktsmätning. Detta är gjort på alla lager och vid alla tillfällen, förutom på lastfördelande lager 2. Då mätningen av fuktkvoten från början var tänkt att genomföras på det traditionella sättet väga, torka, väga och det konstaterades att materialet var så grovkornigt (se bilaga 3), så var en annan lösning tvungen att tas fram. Alternativet blev en densitets- och fukthaltsmätare Seman modell C200, se kapitel 2.3 för förklaring av hur apparaten fungerar. Under den tid det tog att få fram denna mätare var lastfördelande lager 2 tvunget att färdigställas och därför kunde fuktkvoten på detta lager ej kontrolleras. Fuktkvoten är

därefter kontrollerad i fem slumpvis utvalda punkter och under en tid av 2 minuter per punkt.

Det har även utförts ett kalibreringstest för att få en indikation på att C200 var rätt kalibrerad vilket utfördes på följande vis: Fuktkvoten på en asfaltsyta mättes och materialet som skulle användas för kalibreringen (0-18) lades ut på asfaltsytan ca 20 cm tjockt och mättes med C200 2 gånger i 2 minuter. Efter detta togs ett prov ut på ca 3,5 kg för att torkas och kontrolleras på det traditionella viset. Materialet som var kvar på asfaltsytan vattnades därefter rikligt och fick stå och dra för att få en jämn fuktighet innan en ny mätserie på 2 * 2 minuter upprepades, varefter ytterligare ett prov på ca 5 kg togs för traditionell kontroll. Nu torkades inte bara provet utan hela materialmängden som använts i försöket. Under torkningens gång kom det rikligt med regn så provpunkten fick flyttas till en torrare plats som visade ungefär samma fuktkvot på asfalten som den första gjorde. Det torkade materialet lades ut i en liknande hög som i första mätserien och en ny mätning på 2 * 2 minuter.

3.4 Fallvikt

Fallviktstesterna utfördes på sex punkter på förstärkningslagret och det obundna bärlagret och på 11 punkter på slitlagret. Lokaliseringen av de 11 punkterna är fördelade så att sex punkter är placerade på samma ställen som på det obundna lagret, medan fem punkter ligger på en rad där det uppskattades att det varit minst trafik, i bilaga 2 ges en schematisk bild av punkternas placering. Fallvikten har även försökt ställas i samma vinkel på de olika lagren så att sensorerna skall vara på ungefär samma ställen vid varje mättillfälle. Vid bestämmandet av vinkeln har hänsyn tagits till att sensorerna ej skall hamna på de punkter där SPB har utförts samtidigt som en så tät och slät yta som möjligt eftersökts. Sensorerna hamnade aldrig på punkterna där SPB utförts, men vid punkt 1 efter 18 överfarter är ytan grov och vid punkt 3 är ytan ojämn. Alla försöken är dock utförda utan att några extra åtgärder har behövt vidtas.

Mätningen på de obundna lagren har innefattat tre mätserier på vardera fem slag. De fem slagen börjar med ett sättningsslag på ca 20kN och därefter ett likadant slag till, de nästkommande tre slagen ökas till ca 30, 40 och 60kN. Därefter lyfts mätsensorerna upp och släpps ner på samma plats igen och en ny omgång på fem slag kan genomföras.

Mätningen på slitlagret utfördes 23 dagar efter att slitlagret lades. Mätningen på slitlagret har utförts på samma sätt som på de obundna lagren med den skillnaden att det denna gång använts större laster. De fem slagen började med ett sättningsslag på ca 50kN och därefter ett likadant slag till, de nästkommande tre slagen ökas till ca 80, 100 och 140kN

Det som registrerats vid de olika mättillfällena har varit den maximala deflektionen (nedsjunkning). Registreringen har skett i sensorer som varit placerade mitt under belastningsplattan och med avstånden 20, 30, 45, 60, 90 och 120 cm från belastningsplattan.

3.5 Instrumentering för mätning av deformationstillväxt

I samband med uppbyggnaden av provytan skulle mätutrustning installeras för mätning av permanent deformationstillväxt. Detta skulle ske på olika djup vilket kan utföras med slangställningsmätning och med nergrävda mätdubbar (pegel). Användning av slangställningsmätning i förstärkningslager beskrivs bland annat av Persson & Svahn (2000). De anger en mätnoggrannhet på slangställningsmätning till 3 mm. Pegelmätningen har en uppskattad mätnoggrannhet på 1 till 2 mm. Då det vore önskvärt med en större noggrannhet än vad dessa ger, har mätmetoderna kompletterats med stratotestmätning. Stratotestmätning innebär att aluminiumfolie placerats i underkant asfalt och mätning av asfaltstjocklek (det vill säga avståndet till aluminiumfolien) sker från ytan. Stratotestmätning tillsammans med avvägning av ytan ger hur mycket deformation som sker i bundet respektive obundet lager med stor precision.

Instrumenten för mätning av permanent deformationstillväxt placeras på respektive konstruktionslagers överyta från och med lastfördelande lager 1. Bilaga 4 ger en bild över ytan och hur slangar, pegelar och aluminiumfolien är placerad.

I de kommande tre avsnitten beskrivs instrumenteringen och de olika mätmetoderna mer utförligt.

3.5.1 Slangställningsmätning

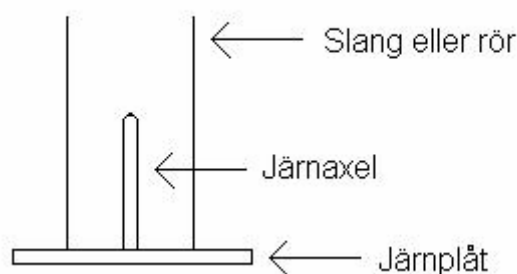
Slangarna för slangställningsmätning är utlagda på ytan av lastfördelande lager 1, 2 och 3 och har lagts så att ungefär 1,8 m ligger slät mot ytan innan de dras upp till markytan. De tre slangarna har placerats så att den på lastfördelande lager 1 ligger längst västerut, den på lastfördelande lager 2 en halv meter åt öster och den på lastfördelande lager 3 ytterligare en halv meter österut, se bilaga 4 för en schematisk bild. För att minska antalet betäckningar så har alla slangar dragits till två ställen. Slangen är en vanlig vattenslang (PEM 50 mm) som är tillverkad för att ligga i marken. Då materialet var 0-200 var ett finare grusmaterial tvunget att placeras på och vid sidan av slangen för att inte stora stenar skulle skada den, se bilaga 5.

Principen för mätningen är att det i PEM-slangen förs in en vattenfylld slang som har en mätsond i änden. Detta vatten pressar mot ett membran som är monterat i mätsonden och detta tryck räknas om och ger ett värde i mm. Genom att också lägga mätsonden på en fixpunkt på ytan, kan avståndet mellan fixpunkten och de avlästa värdena i slangen fås fram. På detta viset kan man sedan få en bild på hur PEM-slangen ligger i marken. Vid stora mätsträckor brukar mätvärden tas varje meter. I detta fall då sträckan var kort och stor noggrannhet eftersträvades, så togs mätvärden var 10 cm.

3.5.2 Pegelmätning

De sex peglarna är monterade två på varje yta av lastfördelande lager 1, 2 och 3. De är placerade så att de två längst till väster står på lastfördelande lager 2, de i mitten på lastfördelande lager 1 och de längst åt öster på lastfördelande lager 3, se bilaga 4 för en schematisk bild.

Principen för användning av peglar är att ett rör eller slang dras från ytan ner till och över en järnaxel som är svetsad på en järnplåt se figur 3.3.



Figur 3.3 Schematisk bild över pegeln

Vid mätningen sticks en vanlig avvägningstång ner och ställs på järnaxeln. Vid jämförelse av två mätningar erhålls deformationen på lagret. Problemen med denna metod är dels att röret måste bli så rakt att det går att komma åt axeln och dels att det står ett rör rakt upp genom konstruktionen som stör packningen då det blir tvunget att packa runt rören. Packningen fick inte störas så en modifierad variant var tvungen att tas fram. Det blev ett teleskopiskt rör av vanliga markavloppsrör i dimensionerna 110, 90 och 75 mm som ställdes på järnplåten med måtten 200*200mm. Rören kunde sedan dras upp genom hela konstruktionen efter det att varje lager var färdigpackat.

Då teleskoprören ner till peglarna är svåra att få monterade vertikalt, så valdes det att sätta två på varje lager. Resultatet blev att fem av rören har en helt rak linje från axeln och upp till ytan, medan den sjätte är lite sned men fullt mätbar. Den som blev sned var pegel 3 räknat från väster, den som ligger närmast området där alla slangar dras upp. Effekten när välten svängde runt slangarna var att kanten på trumman och bakhjulet pressade precis på kanten av röret och tryckte det i sidled.

3.5.3 Stratotestmätning

Det är nerlagt två st galvaniserade plåtar och två st tjocka aluminiumfolier på det översta obundna lagret. På de två nästkommande asfaltslagren är det utlagt två st tunna aluminiumfolier per lager. Anledningen till att det inte är samma material som lagts på alla lager beror på att det på det obundna lagret fanns en risk att stenarna skulle trycka sönder den tunna aluminiumfolien. För att försöka att minimera denna risk så valdes det att testa om det skulle fungera med en 0,8 mm galvaniserad plåt och för säkerhets skull lades det ut en tjockare aluminiumfolie också som har använts till liknande ändamål tidigare. Den tunna aluminiumfolien är klistrad för att den skall ligga kvar då asfalten läggs ut och har även lagts dubbel för att bli starkare.

Mätningen utförs med en så kallad stratotestmätare som mäter avståndet från ytan ner till de olika aluminiumfolierna och det går då att se om de olika asfaltslagren fått någon deformation.

4 Resultat och analys

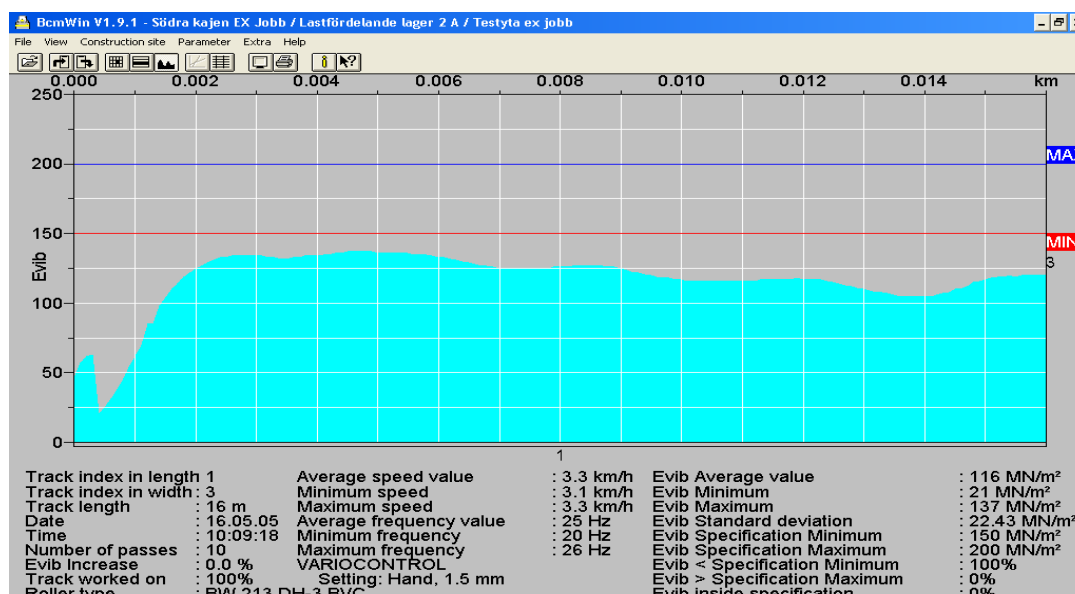
I detta kapitel kommer det att redovisas vilken data som har samlats in från de olika försöken samt vilken bearbetning och vilka antaganden som är gjorda. I det sista kapitlet 4.8 kommer de olika resultaten att jämföras med varandra.

4.1 Vältning

Vältdatan som sparas är som nämnts tidigare bara den från sista överfarten. Vältöverfarterna har därför sparats under olika namn såsom lastfördelandelager A som varit sex överfarter, B som varit nio överfarter osv, då det i detta projekt var av intresse att ha värden vid de tillfällen som det har gjorts plattbelastningsförsök. För att få hanterbara värden, ett spår ger 160 värden, har ett medelvärde tagits per spår. Då meningen har varit att kunna jämföra olika mätmetoder och kontrollera deformationstillväxten, så har det inriktats på att kontrollera spår 3 & 4 där mätningar med SPB och fallvikt är utförda och instrumentering monterad.

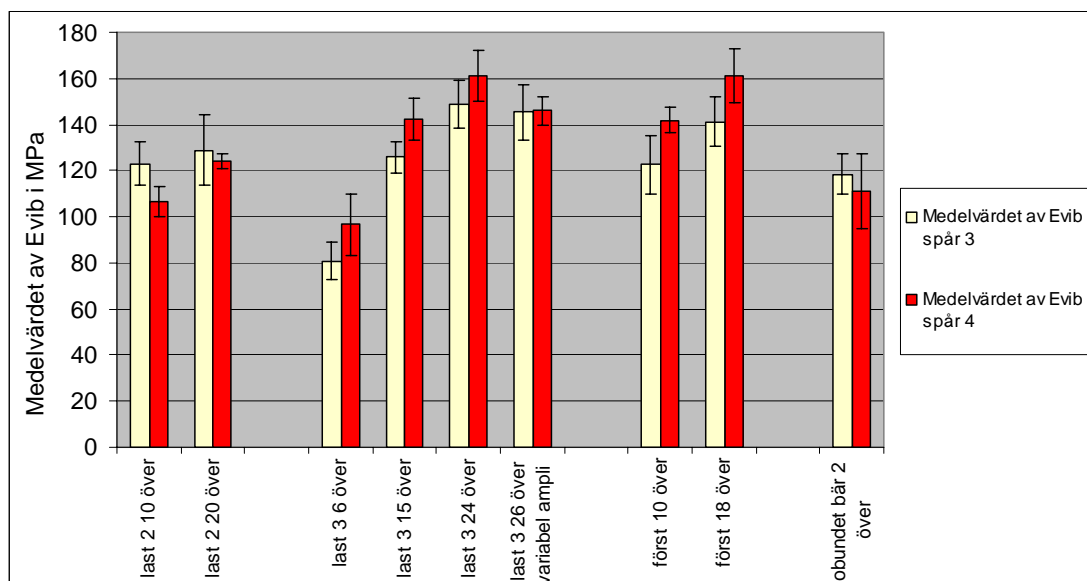
Då vältvärdena började analyseras så upptäcktes stora standardavvikelser, vilket inte är önskvärt. Det kunde då konstateras att vältvärdena var lägre i början av de flesta spåren se figur 4.1 och detta antas bero på två saker.

- Vältens vibro startades ett antal meter före ytan för att vibron och hastigheten på välten skulle uppnå sina förutbestämda hastigheter vid ytans kant. Detta avstånd var kanske för kort ibland.
- Välten startades alltid på en färdigvältad yta, vilket gjorde att välten ibland dubbelslog när den kom in på den nya ytan. Detta har gett lägre värden i början på en del spår.



Figur4.1 Ett exempel på de låga vältvärdena som förekommer i början på vissa spår.

Åtgärden som vidtogs, då det ansågs att dessa värden inte var representativa för vältstråket, var att alla vältvärden de första 2 metrarna togs bort ur beräkningarna. Vid plotningen av medelvärdet och standardavvikelse över spår 3 & 4 såg då värdena bra ut, se figur 4.2. Det kunde konstateras att vältvärdet oftast var större i spår 4 jämfört med spår 3, se figur 4.2. Detta antogs bero på att spår 3 vältades före spår 4 i alla fallen, förutom lastfördelande lager 2 10 överfarer, och då det var trångt i det området mellan slangarna så har vältspårarna ibland gått omlott och då ger ett högre värde i det sista spåret. Evib-värdena visar en tydlig tillväxt med antalet vältöverfarer. På lastfördelande lager 3 kan det ses en avtagande tillväxthastighet av bärigheten, se bilaga 12. Detta tyder på att en maximal packning är på väg att uppnås.



Figur4.2 Medelvärdet över spår 3 & 4 samt standardavvikelse

Mätpunkterna för SPB och fallvikt var lokaliserade på områden som hör till spår 3 och 4. Detta har inneburit att de VMV som skall jämföras med andra kommer att bli ett medelvärde av spår 3 och 4.

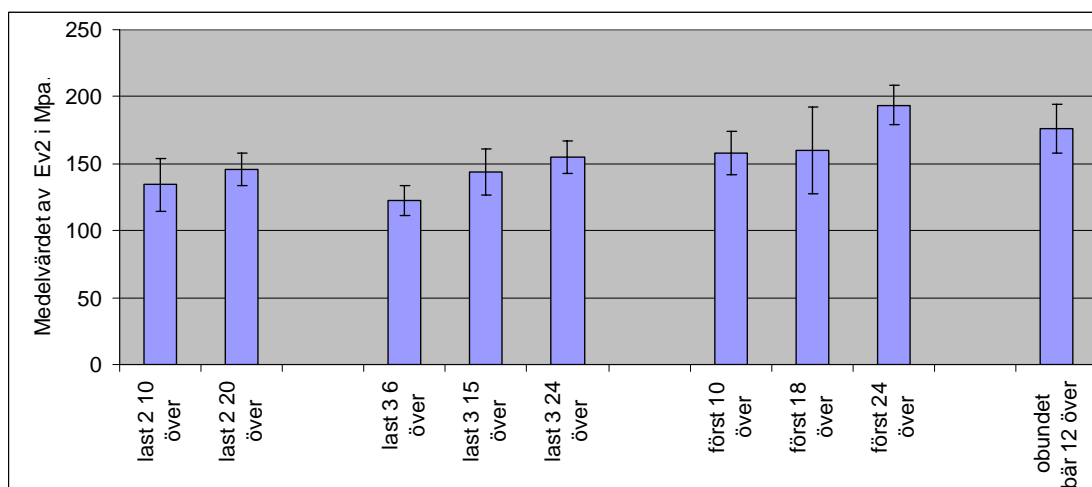
4.2 Plattbelastning

Plattbelastningsindatan har utvärderats enligt Vägverkets metodbeskrivning och i bilaga 6 redovisas alla värdena. Resultatet av denna utvärdering har jämförts med kraven på flexibla konstruktioner på bärlager och det översta obundna lagret enligt ATB VÄG 2004 och AMA 98 i tabell 4.1 framgår vilka punkter som klarade kraven.

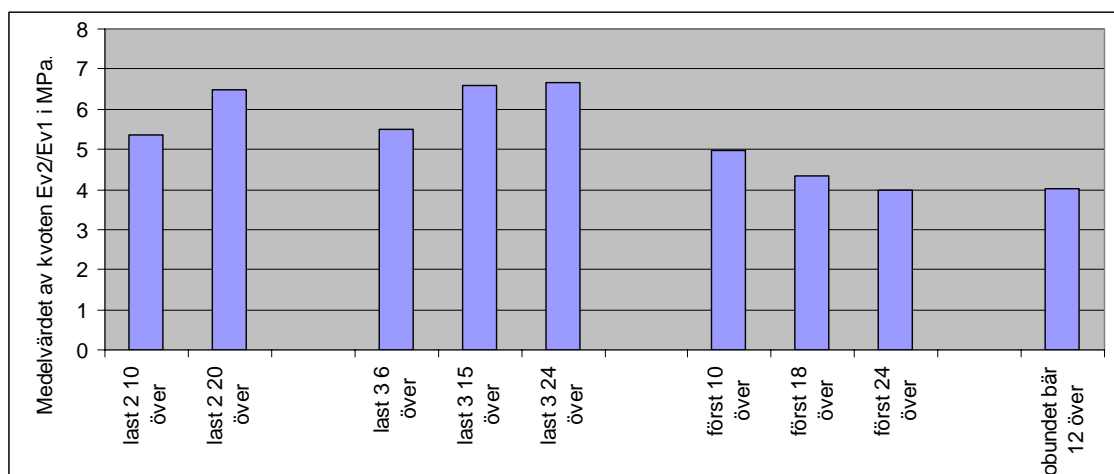
Tabell 4.1 Översikt över vilka punkter som klarade ATB VÄG & AMA: s krav

först 10 över	Krav enligt ATB VÄG	Krav enligt AMA 98
Punkt 1	ej ok	ej ok
Punkt 2	ok	ok
Punkt 3	ej ok	ej ok
Punkt 4	ej ok	ej ok
Punkt 5	ok	ok
<hr/>		
först 18 över		
Punkt 1	ok	ok
Punkt 2	ej ok	ej ok
Punkt 3	ej ok	ej ok
Punkt 4	ej ok	ej ok
Punkt 5	ok	ok
<hr/>		
först 24 över		
Punkt 1	ok	ok
Punkt 2	ok	ok
Punkt 3	ej ok	ej ok
Punkt 4	ok	ok
Punkt 5	ok	ok
<hr/>		
obundet bär 12 över		
Punkt 1	ok	
Punkt 2	ej ok	
Punkt 3	ej ok	
Punkt 4	ej ok	
Punkt 5	ej ok	

För den vidare bearbetningen har det valts att göra ett medelvärde av de fem punkterna. Värdena av Ev_2 redovisas i figur 4.3, kvoten Ev_2/Ev_1 redovisas i figur 4.4 och Ev_1 värdena redovisas i bilaga 7. Ev_2 värdena visar en tydlig tillväxt med antalet vältöverfarer. På lastfördelande lager 3 kan det ses en avtagande tillväxthastighet av bärigheten precis som för vältvärdena, se bilaga 12. På lastfördelande lagren kan en växande trend ses då det gäller kvoten Ev_2/Ev_1 vilket inte är önskvärt.



Figur 4.3 Medelvärde av Ev_2 samt standardavvikelse



Figur 4.4 Medelvärde av kvoten E_{v2}/E_{v1} för de olika materiallagren

4.3 Fuktmätning

Fuktkvoten har mätts på fem slumpvis utvalda ställen oftast innan vältningen utförts, medelvärde av fuktkvoterna redovisas i tabell 4.2 nedan. Den optimala fuktkvoten på det obundna bärlagret ligger runt 6 % vilket tyder på att det var lite för torrt vid packningen av detta lager.

Tabell 4.2 Medelvärde av fuktkvoten på de olika lagren

Lastfördelande lager 3 och 0 vält överfarer	6,7 %
Lastfördelande lager 3 och 6 vält överfarer	4,1 %
Lastfördelande lager 3 och 15 vält överfarer	4,7 %
Förstärkningslagret och 0 vält överfarer	7,3 %
Förstärkningslagret och 10 vält överfarer	7,0 %
Förstärkningslagret och 24 vält överfarer	5,2 %
Obundna bärlagret och 0 vält överfarer	4,6 %

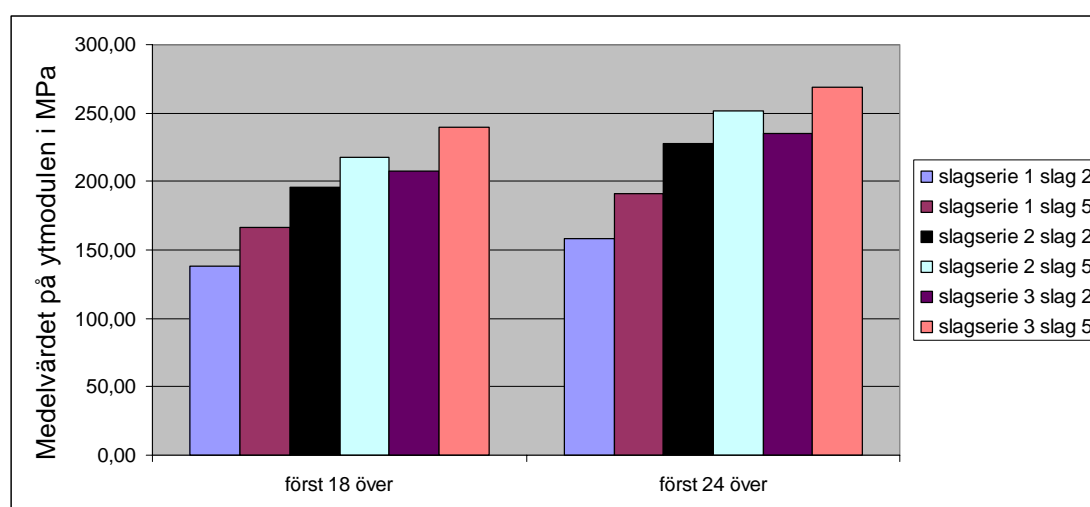
4.4 Fallvikt

Fallviktsdata har samlats in vid fyra tillfällen då det gäller det obundna materialet, tre tillfällen på förstärkningslagret efter 10, 18 och 24 vältöverfarer och ett tillfälle på det obundna bärlagret. Vid bearbetningen av datan till ytmodulerna upptäcktes det att värdena från förstärkningslagret 10 överfarer ej var användbara då

standardavvikelseerna var för stora. Det kunde konstateras att standardavvikelseerna minskade mycket mellan 10 och 18 överfarter. Vid testet på det obundna bärlagret var standardavvikelseerna små redan vid 12 överfarter. I bilaga 8 redovisas värdena på alla ytmoduler tillsammans med standardavvikelsen. För formel över hur ytmodulen räknas fram se formel 2.3 i kapitel 2.4.

Vi analyseringen av ytmodulerna har fokus lagts på det tyngsta respektive lättaste slaget i varje slagserie. Detta har valts för att få med vad det är som händer med packningen vad det gäller antalet vältöverfarter, slag och tyngden på slagen.

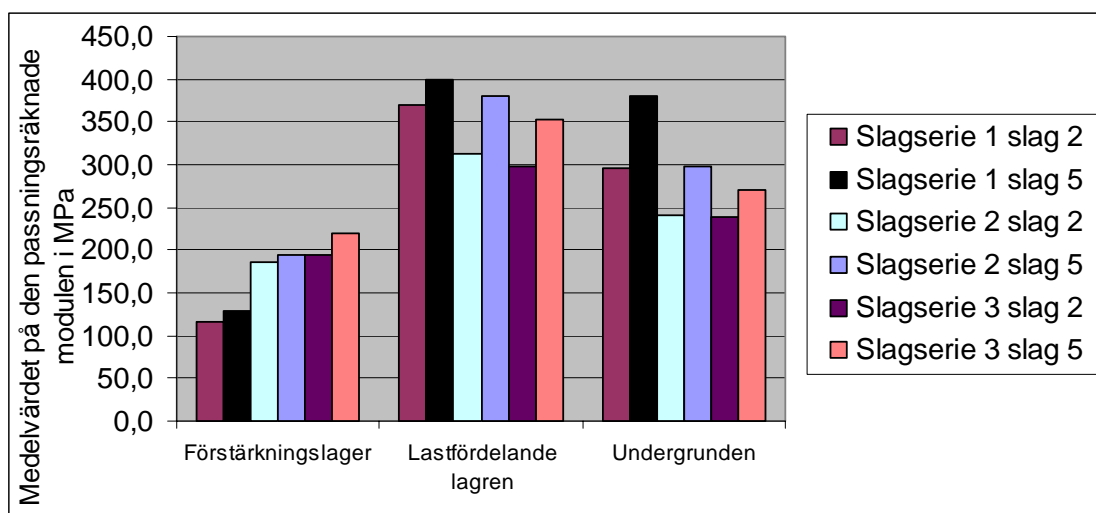
Det som kan konstateras med hjälp av fallviktsdatan är en fortsatt ökning av ytmodulen både av fler vältöverfarter samt av fler och tyngre slag. Detta ger figur 4.5 en lättöverskådlig bild på. Det som skall komma ihåg är att detta lager inte är packat till VMV avstannat, utan efter grundförutsättningarna.



Figur 4.5 Indikation på att en fortsatt packningspotential finns.

Vid utvärderingen av fallviktsdatan då modulerna skulle passningsräknas fram, för respektive konstruktionslager, har överbyggnaden delats in i tre skikt och en undergrund då försöken är gjorda på asfalt. Vid analysen av de obundna lagren användes två skikt och undergrund. Skikten vid analys på asfalten har valts till 18 cm asfalt, 40 cm förstärkningslager + obundet bärlager och 166 cm lastfördelande lagret. Vid analysen på bärlagret har asfaltslagret strukits och på förstärkningslagret har det översta skiktet minskats till 32 cm.

Vid analyseringen av de beräknade modulerna har fokus lagts på det tyngsta respektive lättaste slaget i varje slagserie. Detta har valts för att se modulförändringen på de olika lagren med hänsyn till antalet slag och tyngden på slagen. Det som kunde konstateras var att i det översta lagret ökade modulen men inte i de två nedersta, figur 4.6 ger en bra bild över detta. Samma utveckling kan konstateras i alla försöken från de obundna materialen. Om samma jämförelse görs med resultaten från försöket på asfalt så är inte tendensen lika tydlig men en ökning av modulen syns på slagserie 1 och 2, vilket kan ses i bilaga 9.



Figur 4.6 Resultatet från förstärkningslagret 24 överfarter när det gäller den passningsräknade modulen

Då medelvärdena från de fem nya punkterna, vilka placerats där det antagits ha varit minst trafik, jämfördes med de fyra från mitten på ytan kunde ingen skillnad på lagrens moduler konstateras. Men på undergrunden skiljde det mycket och på de fem punkterna var det en stor standardavvikelse. Detta tros bero på att de fem punkterna är lokaliserade på en rad av pålplattor medan de fyra i mitten av ytan är i mellan raderna av pålplattor. I bilaga 10 redovisas värdena från denna jämförelse.

4.5 Slangar

Slangarna har mätts vid två olika tillfällen, den första gången var vid asfalteringen och den andra efter cirka 16 veckor. I tabell 4.3 kan ett medelvärde av sättningen över slangens längd ses och i bilaga 11 kan en graf över de tre slangarna ses.

Tabell 4.3 Medeldifferensen av slangarna mot nollmätningen, negativt värde indikerar en deformation

slang 1 på lastfördelande lager 1	-0,1 mm
slang 2 på lastfördelande lager 2	-0,2 mm
slang 3 på lastfördelande lager 3	-2,9 mm

4.6 Peglar

Peglarna är mätta vid fyra olika tillfällen. Mättillfälle två utfördes med ett annat avvägningsinstrument och avvägningsstång vilket gav orimliga värden, så detta mättillfälle har strukits. Differensen av de olika mätningarna kan ses i tabell 4.4. Där kan även en avvägning av asfaltsytan vid peglarna ses, som är gjord för att se hur asfaltsytan har varierat.

Tabell 4.4 *Differensen av peglarna mot nollmätningen, negativt värde indikerar en deformation*

Mätintervall från 26/7 till	Pegel 17/8	Pegel 13/10	Mark 17/8	Mark 13/10
Pegel 3 på lastfördelande lager 1	-1 mm	-4 mm	-5 mm	-6 mm
Pegel 4 på lastfördelande lager 1	2 mm	2 mm	-5 mm	-6 mm
Pegel 1 på lastfördelande lager 2	-1,5 mm	0 mm	-6 mm	-6,3 mm
Pegel 2 på lastfördelande lager 2	0 mm	1,1 mm	-4 mm	-5,1 mm
Pegel 5 på lastfördelande lager 3	-1 mm	-2 mm	-2 mm	-5 mm
Pegel 6 på lastfördelande lager 3	1 mm	0 mm	-2,8 mm	-3,8 mm

4.7 Stratotestmätningen

Stratotestmätningar har utförts vid fyra olika tillfällen. Det kunde konstateras att mätningarna mot tjocka aluminiumfolierna och plåtarna som var placerade på det obundna lagret ibland gav orimliga värden, så mätningarna mot det obundna lagret har strukits. Mätningarna utfördes med 15 centimeters mellanrum över aluminiumfolien och medelvärdet av differensen redovisas i tabell 4.5.

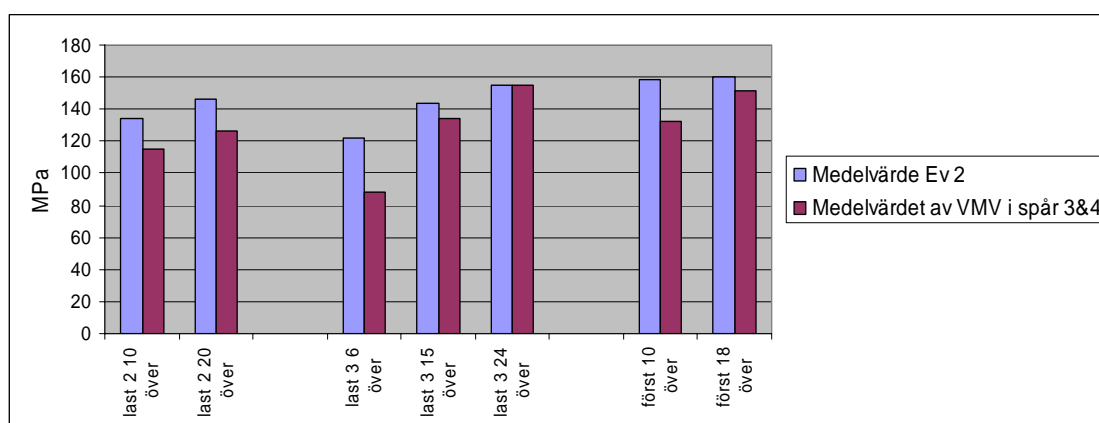
Tabell 4.5 *Medelvärdet av differensen vid mätningen av aluminiumfolien, negativt värde indikerar en deformation*

Mätintervall från 26/7 till	20/7	17/8	13/10
Aluminiumfolie 5, slitlager och bindlager	-0,25 mm	-12,9 mm	-5,38 mm
Aluminiumfolie 7, slitlager och bindlager	-0,2 mm	-11,8 mm	-4,8 mm
Aluminiumfolie 6, slitlager	-0,24 mm	-9,8 mm	-7,63 mm
Aluminiumfolie 8, slitlager	-0,22 mm	-9,3 mm	-7,85 mm

4.8 Jämförelser mellan de olika värdena

Vid jämförelsen mellan statisk plattbelastning [SPB] och vältmätarvärdet [VMV] kan det konstateras att ju mer välpackad ytan är desto mer lika blir värdena se figur 4.7. På lastfördelande lager 2 och förstärkningslagret kommer VMV inte upp i samma värde som EV_2 men i detta fall fanns också begränsningar att ta hänsyn till. Lastfördelande

lager 2 fick inte packas med max amplitud och förstärkningslagret är inte packat till VMV avstannat utan efter grundförutsättningarna samt att det vältades med 6 överfarer statistiskt också men då ger vältan inga VMV.

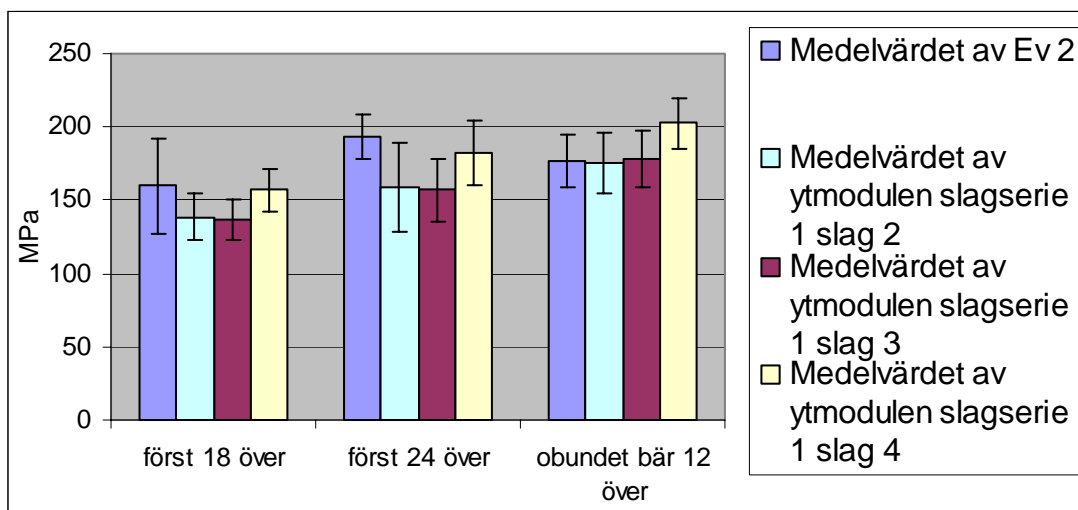


Figur 4.7 Jämförelse mellan statisk plattbelastning och vältmätarvärdet

Vid försöken att hitta ett samband mellan SPB och tung fallvikt så valdes det att studera ytmodulen på slagserie 1 slag 2, slagserie 1 slag 3 och slagserie 1 slag 4. Detta antagande togs för att

- Ytmodulen kommer från värdena rakt under plattan på fallvikten, vilket liknar fallet med SPB
- Slagserie 1 slag 2 har utsatt marken för 2 slag som ger upphov till $2 \cdot 0,29$ MPa denna har valts då det finns artikel av Livneh & Goldberg (2001) att jämföra med.
- Slagserie 1 slag 3 har utsatt marken för 3 slag som ger upphov till $2 \cdot 0,29$ MPa och ett på $0,42$ MPa, Ev_2 stannar på $0,45$ MPa.
- Slagserie 1 slag 4 har utsatt marken för 4 slag som ger upphov till $2 \cdot 0,29$; $0,42$; $0,57$ MPa, Ev_1 stannar på $0,50$ MPa.

I figur 4.8 kan jämförelsen ses tillsammans med standaravvikelsena och det kan konstateras att det inte är någon exakt överensstämmelse men värdena ligger i samma område. I tabell 4.6 kan den procentuella skillnaden mellan Ev_2 och ytmodulen ses.



Figur 4.8 Jämförelse mellan statisk plattbelastning och tung fallvikt

Tabell 4.6 Den procentuella skillnaden mellan Ev_2 och ytmodulen

	Ev_2 först 18 över	Ev_2 först 24 över	Ev_2 obundet bär 12 över	Livneh & Goldberg (2001)
slagserie 1 slag 2	115 %	122 %	101 %	55-85 % 110 %
slagserie 1 slag 3	117 %	123 %	99 %	
slagserie 1 slag 4	102 %	106 %	87 %	

5 Slutsatser

Vältvärden

Vältmätarvärdena visar på växande värden vid varje kontroll, vilket tyder på en ökande bärighet med packningsinsatsen. På lastfördelande lager 3 kan det ses en avtagande tillväxthastighet av bärigheten, se bilaga 12. Detta tyder på att en maximal packning är på väg att uppnås. Om tätare mätningar gjorts hade det troligen kunnat konstateras att lastfördelande lager 3 uppnått en maximal packning. Övriga lager har bara två mätvärden så ingen sådan analys kan göras.

Plattbelastning

Förstärkningslagret hade inte blivit godkänt efter ATB Väg och AMA:s krav om det packats efter deras rekommendation på antal överfarter. Ev_2 värdena visar på växande värden vid varje kontroll, vilket tyder på en ökande bärighet med packningsinsatsen. På lastfördelande lager 3 kan det ses en avtagande tillväxthastighet av bärigheten precis som för vältvärdena, se bilaga 12. Men på förstärkningslagret kan det konstateras att endast en liten ökning av Ev_2 sker mellan 10 och 18 överfarter, se figur 4.3. Detta gör att ingen minskning av tillväxthastighet kan konstateras på detta lager. Anledningen till den låga ökningen av Ev_2 kan inte förklaras då inte samma tendens återfinns på vältmätarvärdena, men två anledningar som det skulle kunna bero på är.

- Det blev något mätfel under mätningarna som ej upptäcktes.
- Om det är stor skillnad på vilket djup som plattbelastningen och välten har sina mätområden, kan det innebära att ingen bärighetsökning skett inom plattbelastningens mätområde.

Nästa sak som är intressant är varför kvoten Ev_2/Ev_1 inte avtar utan har en växande trend på lastfördelande lagren. En anledning till att det skulle kunna vara så är att det är ett väldigt grovt och ensgraderat material. I Vägverkets metodbeskrivning står det att stenar större än ca 1/4 av belastningsplattans diameter får endast förekomma undantagsvis i ytskiktet. Detta ger en stenstorlek på 7,5 cm och det har varit större stenar i ytan, se bilaga 3 för en bild på hur ytan såg ut.

Vad kan då grovt material ha för inverkan på kvoten? Om det är grovt ensgraderat material så blir belastningen på färre punkter emellan kornen och en större risk för krossning av vissa partiklar, vilket ger stora deformationer. Detta kommer att ske under första belastningen och då ge låga Ev_1 värden och en stor kvot.

Fallvikt

Den information som gavs från fallvikten är att det obundna bärlagret och förstärkningslagret fortfarande har en packningspotential. Detta kan vara troligt då dessa lager ej har packats till vältmätarvärdet [VMV] har avstannat, utan efter packningsprogrammet. Det som är mera osäkert, som de packningsräknade modulerna indikerar på, är att lastfördelande lagren inte har någon mer packningspotential och har därmed uppnått den maximala.

Ovanstående antaganden kan kontrolleras efter en längre tid om det då kan ses några deformationer på dessa lager med hjälp av peglarna och slangställningsmätningarna. Hittills har inga deformationer kunnat konstateras.

Pegelmätning, Slangställningsmätning och Stratotestmätning

Vid analysen av värdena från pegel- och slangställningsmätningen, se tabell 4.3 och 4.4, så kan ingen deformation av något lager säkerställas. Det är troligtvis mätnoggrannheten som gör att värdena varierar. Den deformation som kan säkerställas är den på asfaltens yta och den deformationen kan utifrån värdena från avläsningen den 13/10 härledas till komprimering av asfalten. Vid analysen av värdena från mätningen den 17/8 kan en komprimering på 10-12 mm konstateras i asfalten. Denna komprimering kan inte återfinnas som en deformation på asfaltens överyta vid avvägningen, vilket kan bero på att marknivån eventuellt varierar med havsnivån.

Vid jämförelse mellan de två mätningarna den 17/8 och 13/10 vad det gäller deformationen på asfaltlagren, så kan en svällning konstateras. En förklaring till detta kan vara att en utkavling av asfalten har inträffat, då den utsätts för belastning. Om belastningsstråket sedan flyttas kan en del av det materialet som har tryckts åt sidorna nu tryckas tillbaka och därmed ge en svällning.

Då inga ställningar kan konstateras i de obundna lagren skulle detta kunna tyda på att en tillräcklig bärrighet har uppnåtts med den packningsinsats som är genomförd. Det är dock för tidigt att dra en sådan slutsats. Mätutrustningen som har använts är monterad på sådant sätt att den kan utföra noggranna mätningar av deformationen i en yta med mycket spårbunden trafik, så som det blir mellan containrarna i containerparkerna. Testytan har inte hamnat under sådana förhållanden, så med facit i hand borde mätutrustningen ha monterats på annat sätt, exempelvis så skulle slangarna och aluminiumfolien ha lagts på en längre sträcka.

Plattbelastningsvärden i jämförelse med vältvärden

En exakt överensstämmelse uppnåddes mellan Ev_2 och VMV på det lager som var packat maximalt och utan begränsningar. I figur 4.7 kan det konstateras att VMV alltid ligger under eller lika med Ev_2 , vilket ger en indikation på att om VMV får bli det styrande värdet så är man på den säkra sidan. För att få detta bekräftat behövs fler tester göras.

Plattbelastningsvärden i jämförelse med fallviktsvärden

Ingen exakt överensstämmelse uppnåddes, men det kan tydligt ses att värdena är jämförbara. Vid jämförelsen med Livneh & Goldbergs (2001) värden så stämmer det ungefär med våra värden, se tabell 4.6, men det är svårt att veta exakt hur de har gått till väga med sina mätningar. Det skall även kommas ihåg vad teoriavsnitt 2.4 säger om att jämföra värden från olika mätare, det kan skilja mellan olika mätare och i detta fall så hade Livneh & Goldbergs (2001) en platta på 45 cm medan den som användes i detta projekt var 30 cm.

6 Framtida undersökningar och rekommendationer

För att få reda på var permanenta deformationer uppkommer i överbyggnaden kan det räcka med att samla in värdena från den aktuella ytan vid ett senare tillfälle, då mer trafik har passerat ytan. Fördelaktigt vore också om containrar kunde ställas ut så att det blev en mer spårbunden trafik precis över mätutrustningen.

Om däremot den optimala packningsinsatsen och anpassade bärighetskrav för terminalsytor vill undersökas, krävs det en provsträcka där packningsinsatsen varierar över sträckan. Då kan den varierande sättningen över ytan studeras och en optimal packningsinsats tas fram. Om en sådan yta konstrueras i en containerpark, så kan pegelmätning användas igen, men en modifiering av pegelns utformning borde då göras. Plaströren bör bytas ut mot järnrör och det nedersta röret skall då svetsas mot järnplåten, glöm ej att göra dräneringshål.

7 Referenser

Aghaali-Tari M & Nayebi D (1995) *Bärighetsmätning med plattbelastningsutrustning och fallviktsdeflektometer*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, institutionen för väg och trafikplanering. (Examensarbete 1995:6)

Amen S & Lekarp F (1994) *Bärighetsmätning på olika överbyggnadskonstruktioner*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, institutionen för väg och trafikplanering. (Examensarbete 1994:2)

Dynapac (2001) *Packning och utläggning* Framställd av Dowell/Stubbs Sverige

Forssblad L (2000) *Packning*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, Sverige

Lind E & Hermelin K (1988) *Packning av jordmaterial*, VTI meddelande 549. Linköping

Livneh M & Goldberg M (2001) *Use of falling-weight deflectometer and light drop-weight for quality assessment during road formation and foundation construction* Transportation Research Board Washington, D.C.

Operatörsmanual för densitets- och fukthaltsmätare Seman modell C200

Persson J & Svahn V (2000) *Armerad jord över bankpålning: uppföljning och numeriska beräkningar av Arbogaprojektet*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, institutionen för geoteknik. (Examensarbete 2000:2)

Werkmeister S (2003) *Permanent deformation behaviour of unbound granular materials in pavement constructions* Die Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden Deutschland

Geodynamik

<http://www.geodynamik.com/languages/pdf/mcdse010.pdf> 2005-08-25 17:10

Lindberg Å (2004)

<http://epubl.luth.se/1402-1617/2004/084/LTU-EX-04084-SE.pdf> 2005-08-15 12:55

Sgf ytpackning (2004)

http://www.sgf.net/addon/notat/SGF%20Notat-1_Ytpackning.pdf 2005-08-04 10:15

VV publikationer 112 (1998)

<http://www.vv.se/filer/publikationer/mb112.pdf> 2005-08-09 16:00

VV publikationer 114 (2000)

<http://www.vv.se/filer/publikationer/vvmb114.pdf> 2005-08-23 18:05

VV Metodbeskrivning 603 (1994)

<http://www.vv.se/filer/publikationer/vvmb603.pdf> 2005-08-09 16:00

VV Metodbeskrivning 606 (1994)

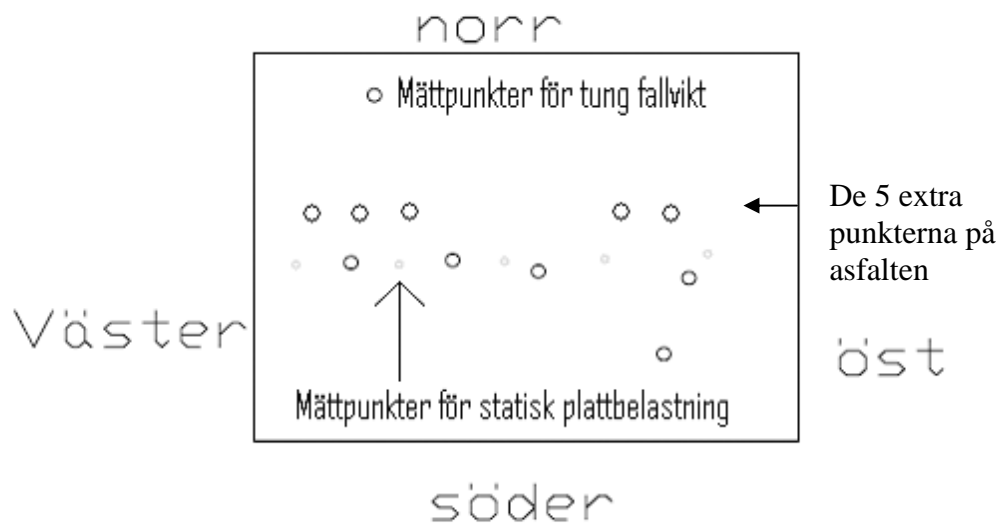
<http://www.vv.se/filer/publikationer/vvmb606.pdf> 2005-08-09 16:00

Bilaga 1 Packningsprogram och mätsekvenser

Statisk plattbelastning [SPB], Tung fallvikt [FWD]

Lager	Total lager- tjocklek [mm] Material dimension [mm]	Antal överfarter enligt packningsprogrammets grundförutsättningar	Antal överfarter och instrumenteringssekvenser som genomfördes
Obundet bärlager	80 0-45	2 med låg amplitud +10 statiska	<ol style="list-style-type: none"> 2 överfarter med amplitud 0,7 mm +10 statiska. På färdigpackad yta SPB och FWD samt fuktkvot. Utläggning av aluminiumfolie för Stratotest.
Förstärkningslager	320 0-125	18 med låg amplitud + 6 statiska	<ol style="list-style-type: none"> 10 överfarter amplitud 1,1 mm, SPB och FWD samt fuktkvot. 8 överfarter amplitud 1,1 mm, SPB och FWD samt fuktkvot. 6 överfarter statisk, SPB och FWD samt fuktkvot.
Lastfördelande lager 3	420-670 0-200	12 med hög amplitud + 6 med medelhög amplitud	<ol style="list-style-type: none"> 6 överfarter amplitud 2,5 mm, SPB och fuktkvot. 9 överfarter amplitud 1,5 mm, SPB och FWD samt fuktkvot. 9 överfarter amplitud 1,5 mm statisk, SPB och FWD samt fuktkvot. 2 överfarter amplitud variabel. Utläggning slang för slangställningsmätning och montering av pegrar.
Lastfördelande lager 2	420-670 0-200	20 med låg amplitud	<ol style="list-style-type: none"> 10 överfarter amplitud 1,5mm, SPB och fuktkvot 10 överfarter amplitud 1,5mm, SPB och fuktkvot. Utläggning av slang för slangställningsmätning och montering av pegrar.
Lastfördelande lager 1	500 0-200	6 överfarter av bandgående fordon.	<ol style="list-style-type: none"> 6 överfarter av bandgående fordon. Utläggning av slang för slangställningsmätning och montering av pegrar.

Bilaga 2 Mätpunkter för fallvikt och plattbelastning

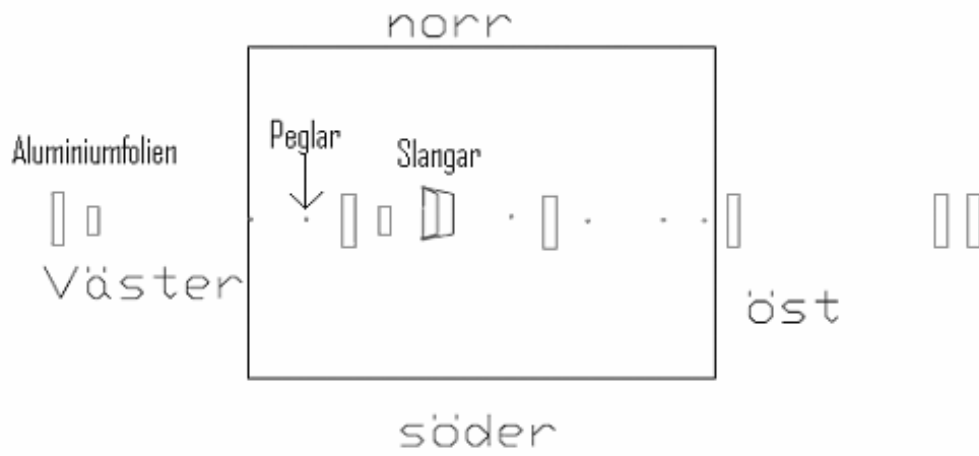


Bilaga 3 Bild på lastfördelande lager 2 färdig vältat



—| 20 cm

Bilaga 4 Instrumenteringens placeringar



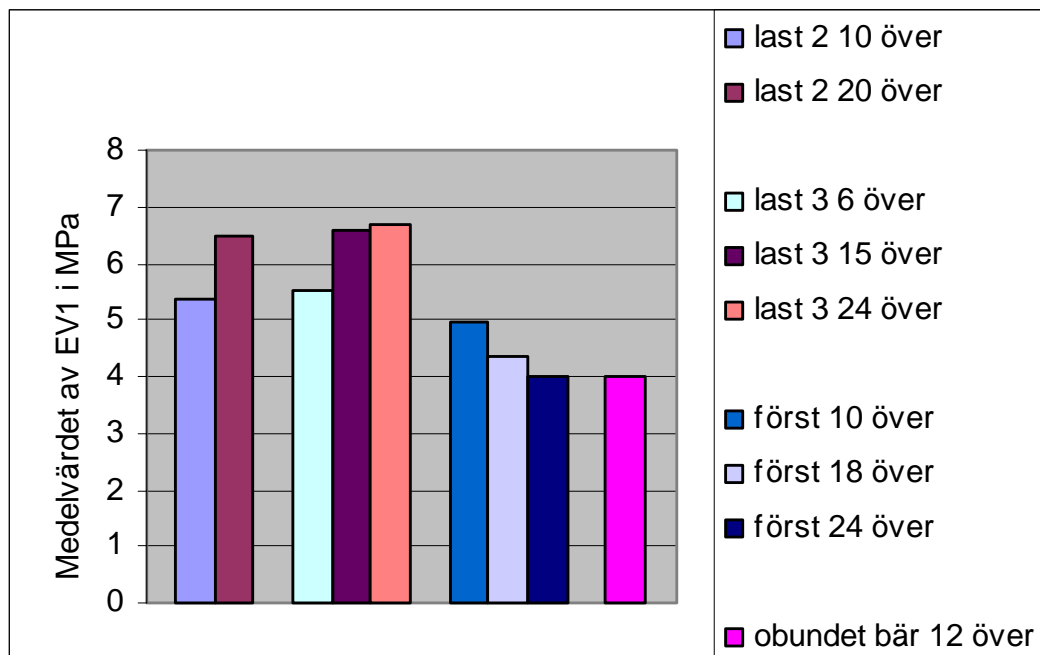
Bilaga 5 Finmaterialet runt slangen



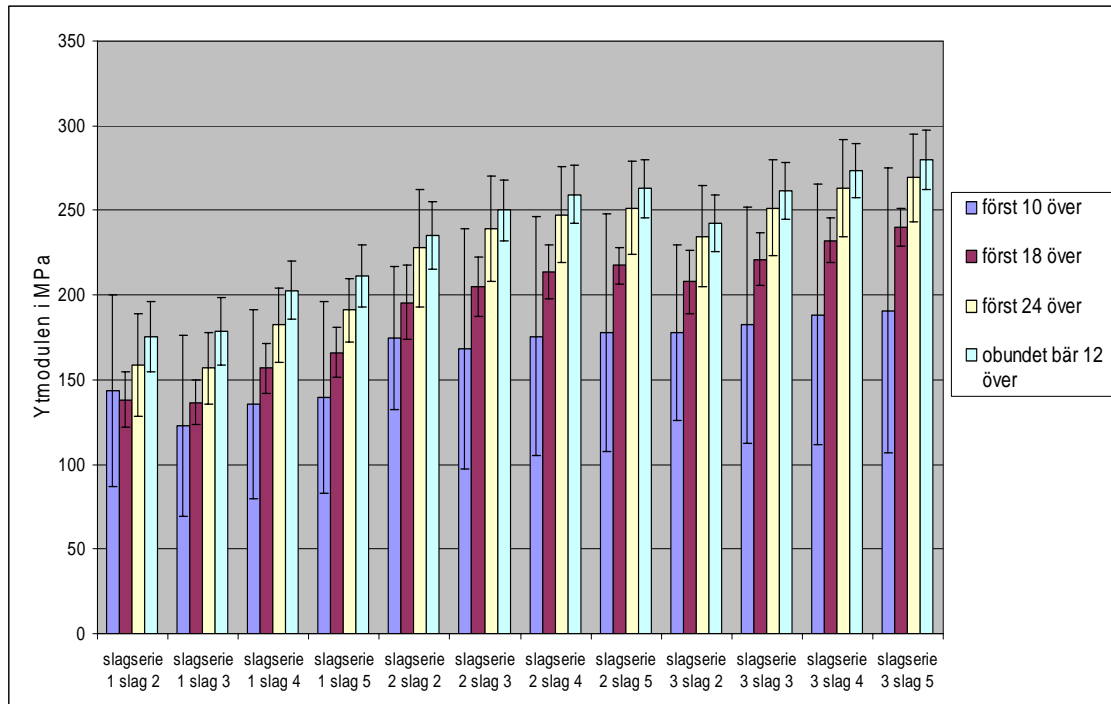
Bilaga 6 Alla värden från statisk plattbelastning

last 2 10 över	Ev1	Ev2	Ev2/Ev1		
Punkt 1	31,3	147,4	4,7	Medelvärde Ev 1	25,3
Punkt 2	26,1	133,9	5,1	Medelvärde Ev 2	134,2
Punkt 3	25,0	147,3	5,9	Medelvärde Ev 2/Ev 1	5,3
Punkt 4	21,2	100,8	4,8	standardavvikelse Ev 1	3,9
Punkt 5	22,6	141,6	6,3	standardavvikelse Ev 2	19,5
last 2 20 över	Ev1	Ev2	Ev2/Ev1		
Punkt 1	23,2	143,7	6,2	Medelvärde Ev 1	23,4
Punkt 2	27,0	147,4	5,5	Medelvärde Ev 2	146,0
Punkt 3	22,6	161,9	7,2	Medelvärde Ev 2/Ev 1	6,5
Punkt 4	14,2	131,0	9,2	standardavvikelse Ev 1	6,0
Punkt 5	30,2	133,3	4,4	standardavvikelse Ev 2	12,4
last 3 6 över	Ev1	Ev2	Ev2/Ev1		
Punkt 1	23,5	119,3	5,1	Medelvärde Ev 1	22,5
Punkt 2	21,8	122,1	5,6	Medelvärde Ev2	122,2
Punkt 3	26,0	140,4	5,4	Medelvärde Ev 2/Ev 1	5,5
Punkt 4	24,3	118,7	4,9	standardavvikelse Ev 1	3,4
Punkt 5	17,0	110,4	6,5	standardavvikelse Ev 2	11,1
last 3 15 över	Ev1	Ev2	Ev2/Ev1		
Punkt 1	22,8	138,8	6,1	Medelvärde Ev 1	22,4
Punkt 2	26,1	170,4	6,5	Medelvärde Ev2	143,6
Punkt 3	17,6	147,7	8,4	Medelvärde Ev 2/Ev 1	6,6
Punkt 4	18,7	137,4	7,3	standardavvikelse Ev 1	4,1
Punkt 5	26,6	123,7	4,6	standardavvikelse Ev 2	17,3
last 3 24 över	Ev1	Ev2	Ev2/Ev1		
Punkt 1	19,4	153,8	7,9	Medelvärde Ev 1	24,3
Punkt 2	29,4	170,5	5,8	Medelvärde Ev2	154,9
Punkt 3	19,5	155,4	8,0	Medelvärde Ev 2/Ev 1	6,7
Punkt 4	19,7	136,8	7,0	standardavvikelse Ev 1	6,7
Punkt 5	33,6	157,8	4,7	standardavvikelse Ev 2	12,0
först 10 över	Ev1	Ev2	Ev2/Ev1		
Punkt 1	25,5	138,7	5,4	Medelvärde Ev 1	34,7
Punkt 2	51,5	178,9	3,5	Medelvärde Ev2	158,1
Punkt 3	19,7	144,0	7,3	Medelvärde Ev 2/Ev 1	5,0
Punkt 4	34,5	165,8	4,8	standardavvikelse Ev 1	12,7
Punkt 5	42,1	162,9	3,9	standardavvikelse Ev 2	16,5
först 18 över	Ev1	Ev2	Ev2/Ev1		
Punkt 1	49,6	185,1	3,7	Medelvärde Ev 1	37,9
Punkt 2	38,9	193,1	5,0	Medelvärde Ev2	159,7
Punkt 3	21,5	111,4	5,2	Medelvärde Ev 2/Ev 1	4,3
Punkt 4	37,5	157,5	4,2	standardavvikelse Ev 1	10,3
Punkt 5	42,0	151,2	3,6	standardavvikelse Ev 2	32,3
först 24 över	Ev1	Ev2	Ev2/Ev1		
Punkt 1	53,3	192,2	3,6	Medelvärde Ev 1	50,6
Punkt 2	52,8	216,4	4,1	Medelvärde Ev2	193,5
Punkt 3	32,0	178,2	5,6	Medelvärde Ev 2/Ev 1	4,0
Punkt 4	54,3	183,2	3,4	standardavvikelse Ev 1	10,9
Punkt 5	60,8	197,8	3,3	standardavvikelse Ev 2	14,9
obundet bär 12 över	Ev1	Ev2	Ev2/Ev1		
Punkt 1	57,4	201,2	3,5	Medelvärde Ev 1	44,5
Punkt 2	45,7	181,5	4,0	Medelvärde Ev2	176,4
Punkt 3	39,3	177,3	4,5	Medelvärde Ev 2/Ev 1	4,0
Punkt 4	42,3	170,4	4,0	standardavvikelse Ev 1	7,8
Punkt 5	38,0	151,4	4,0	standardavvikelse Ev 2	18,0

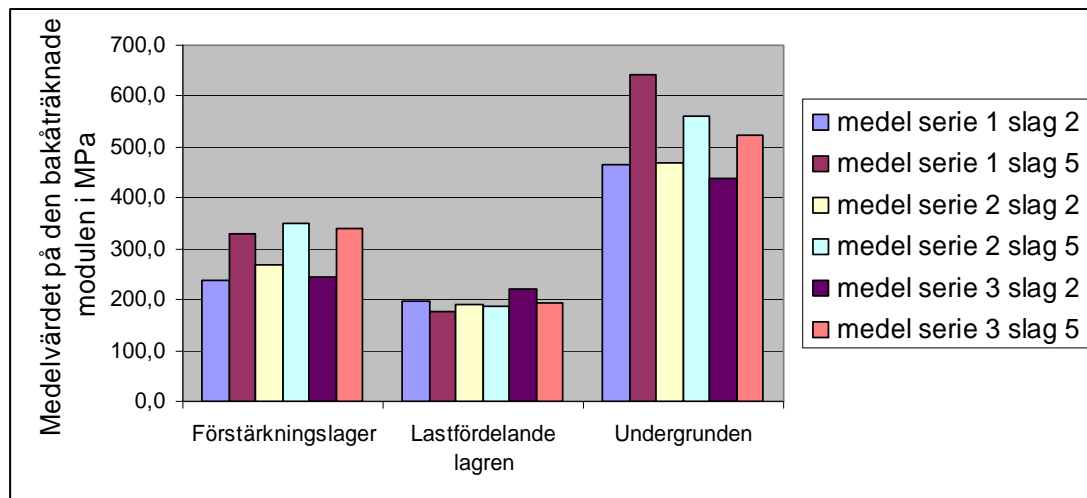
Bilaga 7 E_{v1} värdena



Bilaga 8 Alla medelvärden på ytmodulerna



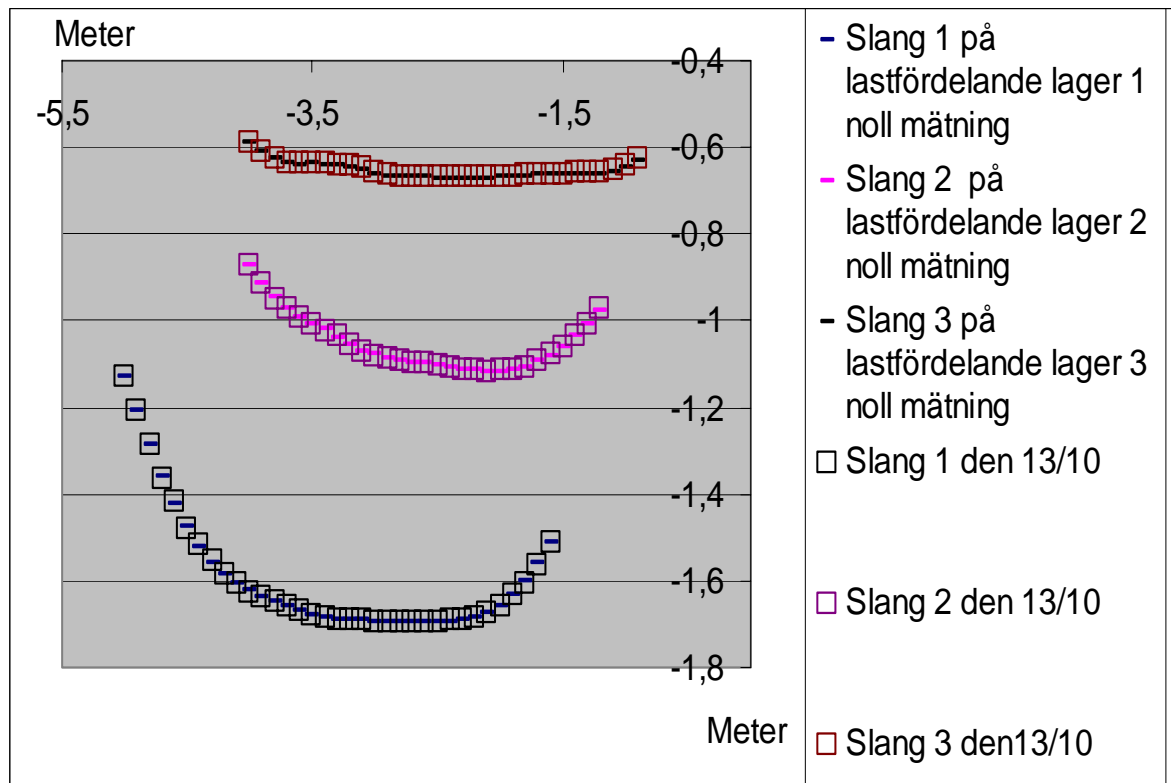
Bilaga 9 Resultatet från den passningsräknade modulen på asfaltslagret



Bilaga 10 Medelvärdet av de passningsräknade modulerna från asfaltslagret

	E modul på det obundna bär- och förstärknings lagren	E modul på lastfördelade lagren	E modul på pålplattor och neråt
De 5 referens punkterna			
Medelvärdet av modulerna	315,7	176,0	659,3
standardavvikelse	42,2	30,6	449,0
Variationskoefficient i %	13,4	17,4	68,1
De 4 punkterna i mitten av ytan			
Medelvärdet av modulerna	295,1	190,9	516,9
standardavvikelse	45,6	26,9	117,2
Variationskoefficient i %	15,5	14,1	22,7
Differensen förhållande ref. punkterna	20,6	-14,8	142,4

Bilaga 11 Graf över de 3 slangarna



Bilaga 12 Graf över E_{v1b} och E_{v2} värden

