

Thesis 198

Utvärdering av kontrollmetoder för obundna granulära material

Philip Hon



Trafik och väg
Institutionen för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet

Utvärdering av kontrollmetoder för obundna granulära material

Philip Hon

Institution för Teknik och Samhälle
Avdelning för Trafik och väg
Lunds Tekniska Högskolan

Lund, 2010

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg,198

Philip Hon

Utvärdering av kontrollmetoder för obundna granulära material

2010

Ämnesord:

Bärighet, obundna material, fallvikt, statisk plattbelastning, FWD, PLT, elasticitet, korrelation, deformationsmodul, packning, utförandekontroll,

Keywords:

FWD, PLT, time history, falling weight deflectometer, static plate loading, bearing capacity, elastic modulus, unbound granular material

Referat:

I detta examensarbete undersöks och jämförs fallviktsmätningar och statisk plattbelastning som kontrollmetod för mätning av obundna granulära material. Syftet är att undersöka eventuella samband mellan utförda mätningar med tung fallvikt och statisk plattbelastare avseende packning och bärighet samt att identifiera möjligheter och problem för respektive mätmetod. Som metod har använts studier av facklitteratur inom ämnesområdet samt mätningar i fält. Analysen av resultatet visar att ett möjligt samband finns mellan deformationsmodulerna från fallviktsmätning och statisk plattbelastning. Det finns dock många oberoende variabler i deformationsmodulen som bör analyseras djupare. Slutsatsen är att statisk plattbelastning är en lämplig metod för packningskontroll men är mindre lämplig för bärighetsbestämning. Tung fallvikt som är passande för bärighetsmätning genererar en stor mängd data som även öppnar möjligheten för packningskontroll. Rekommendationer för framtida jämförelser är bland annat energibetraktelser i båda mätmetoderna och användning av en större belastningsplatta vid fallviktsmätning.

English title:

Evaluation of correlation between falling weight deflectometer and static plate load test for unbound granular material

Citeringsanvisning

Hon Philip, Utvärdering av kontrollmetoder för obundna granulära material. Lund, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2010. Thesis. 198

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

Department of Technology and Society
Lund Institute of Technology
Traffic and Roads
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

FÖRORD

Detta examensarbete är genomfört på uppdrag av Vägverket under 2009 och 2010 med fältmätningar utförd under december 2009.

Arbetet är utfört vid Lunds Tekniska Högskolan i samverkan med WSP Samhällsbyggnad. Det har varit utmanande och spännande att jobba med ett kontroversiellt ämne. Det som framförallt fånga mitt intresse är att det finns internationella diskussioner kring ämnet i nära ett halvt sekel. Att kunna utnyttja mina kunskaper inom bl.a. geoteknik, vägbyggnad och matematik känns tillfredställande.

Många har ställt upp under processens gång och bistått med värdefulla råd inom olika ämnesområden. Framförallt visar jag stor tacksamhet till min närmaste handledare Anders Lenngren på Svevia som bestod med hans expertkunskaper samt gett mig goda idéer och synpunkter. Jag vill även tacka för all hjälp från Bertil Mårtensson på Vägverket, handledare Ebrahim Parhamifar och examinator Monica Berntman på Lunds Tekniska Högskolan samt Virgilio Perez och Fredrik Griwell på WSP Samhällsbyggnad.

Ett stort tack till Vägverket som bekostade fältmätningarna, och till platschef Ulf Lindoff på Svevia som ställt till förfogande på en byggarbetsplats. Svevia utförde även mätningarna med plattbelastning och lätt fallvikt samt Vectura mätningen med fallvikt. Jag visar även hjärtliga tacksamheter till följande personer som på något vis hjälpt till under mitt examensarbete:

Andreas Hansson (Svevia), Jesper Ericsson (Svevia), Jonas Herbetsson (Vectura), Lena Zetterqvist (LTH), Nils Rydén (Peab/LTH), Olle Tholén (KUAB), Peter Ekdahl (Ramböll), Pontus Bengtson (WSP), Robert Bergström (Svevia), Susanne Heyden (LTH), Sven Agardh (Sweco/LTH), Tobias Johansson (Svevia), Ulf Lindoff (Svevia)

Malmö, februari 2010

Philip Hon

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	II
SUMMARY.....	III
FIGURER OCH TABELLER.....	VII
BEGREPP	IX
1. INLEDNING	1
1.1 Syfte.....	1
1.2 Avgränsning.....	1
2. METOD OCH GENOMFÖRANDE.....	2
2.1 Litteraturstudier.....	2
2.2 Datamaterial.....	2
2.3 Databearbetning.....	2
2.4 Analysmetoder.....	3
3. TEORETISK BAKGRUND OCH METODER	4
3.1 Geoteknik.....	4
3.1.1 Obundna material.....	4
3.1.2 Strukturell uppbyggnad	4
3.1.3 Densitet.....	4
3.1.4 Fukt.....	5
3.1.5 Spänningstillstånd.....	6
3.1.6 Spänningshistoria.....	6
3.1.7 Mekanik	7
3.1.8 Deformationsegenskaper	7
3.1.9 Deformationsmodul och Poissons tal	8
3.1.10 Odränerad skjuvhållfasthet.....	9
3.1.11 Hysteresis kurva	10
3.1.12 Tröghet.....	10
3.1.13 Potentiell Energi	10
3.2 Vägkonstruktion.....	11
3.2.1 Obundet bärlager.....	11
3.2.2 Förstärkningslager.....	11
3.2.3 Skyddslager.....	11
3.2.4 Underbyggnad/Undergrund.....	12
3.2.5 Faktorer som inverkar permanent deformation.....	12
3.2.6 Spänningsmodell	12
3.3 Packning.....	14
3.3.1 Förutsättning för packning.....	14
3.3.2 Packningsmetoder.....	15
3.3.3 Kontroll.....	15
3.4 In situ bärighet-/packningskontroll.....	16
3.4.1 Fallviktsmätning (FWD).....	16
3.4.2 Statisk plattbelastning (PLT).....	18
3.4.3 Lätt fallvikt (LWD).....	19

3.4.4	Statistisk utvärdering.....	20
3.4.5	Bärighetskrav från Vägverket.....	22
4.	TIDIGARE FORSKNING.....	23
4.1	Fallvikt.....	23
4.1.1	Belastningstid	23
4.1.2	Time history	24
4.1.3	Tidsförskjutning	24
4.1.4	Vågrörelser.....	25
4.1.5	Repeterbarhet och reproducerbarhet	26
4.1.6	Konditionering	26
4.1.7	Test på underbyggnad.....	27
4.1.8	Styrka och svaghet	27
4.2	Statisk vs dynamisk last.....	28
4.2.1	Korrelation mellan statisk och dynamisk elasticitetsmodul	28
4.2.2	Tidsaspekt	30
4.2.3	Djupverkan.....	30
4.2.4	Konditionering	31
4.3	Interaktiv design.....	32
5.	FÄLTFÖRSÖK.....	33
5.1	Geotekniska förutsättningar.....	34
5.2	Vägkonstruktion.....	35
5.3	Utförande.....	36
5.3.1	Lätt fallvikt (LWD).....	36
5.3.2	Statisk plattbelastning (PLT).....	37
5.3.3	Tung fallvikt (FWD)	37
5.4	Mätresultat.....	38
5.4.1	LWD	38
5.4.2	PLT	39
5.4.3	FWD.....	39
6.	UTVÄRDERING AV RESULTAT.....	41
6.1	LWD.....	41
6.2	PLT.....	41
6.3	FWD.....	43
6.3.1	Normalisering.....	43
6.3.2	Sättningslag	44
6.3.3	Linjäritet mellan kraftpulserna	45
6.3.4	Kontrollpunkter.....	46
6.3.5	Repeterbarhet	47
6.3.6	Reproducerbarhet	48
6.3.7	Belastningsförlopp	50
6.3.8	Passningsräkning.....	54
6.4	Jämförelse mellan kontrollmetoderna.....	57
6.4.1	Översiktlig jämförelse av mätresultat.....	57
6.4.2	Korrelations samband mellan FWD och PLT	59
6.4.3	Jämförelse 1	60
6.4.4	Jämförelse 2	61
6.4.5	Jämförelse 3	62

6.4.6	Jämförelse 4	63
6.4.7	Skillnader mellan kontrollmetoder	64
7.	DISKUSSION	65
8.	SLUTSATSER	67
9.	REKOMMENDATIONER	68
	REFERENSER	69
BILAGA 1.	GPS - Inmätning	72
BILAGA 2.	Mätdata – Lätt tysk fallvikt	73
BILAGA 3.	Belastningshistorik – Lätt tysk fallvikt	74
BILAGA 4.	Mätdata – Statisk Plattbelastning.....	75
BILAGA 5.	Mätdata – Tung fallvikt	82
BILAGA 6.	Tung fallvikt – Belastningskurvor.....	92
BILAGA 7.	Deflektionsbassänger.....	95

FIGURER OCH TABELLER

Figurer

Figur 3-2 Jämförelse mellan densitet och bärighet vid varierande vattenkvot för olika jordarter (Forssblad, 2000).....	5
Figur 3-3 Deformationsskillnad i vått tillstånd jämfört med torrt tillstånd (Björkdahl & Jansson, 2001)	5
Figur 3-8 Elastisk respektive plastisk deformation	8
Figur 3-9 Spännings- och deformationssamband.....	8
Figur 3-10 Hysteresis kurva under en belastningscykel (Lekarp, 1999).....	10
Figur 3-11 Vägkonstruktion	11
Figur 3-13 Olika packningsprinciper för jord- och stenfyllning (Forssblad, 2000)	15
Figur 3-14 Fallviktsutrustning, fotograferad vid fältmätningen.....	16
Figur 3-15 Nedsjunkningsbassäng(Vägverket, 1998).....	17
Figur 3-17 Statisk plattbelastning, fotograferad vid fältmätningen.....	18
Figur 3-18 Utrustningar för lätt fallvikt, fotograferad vid fältmätningen.....	19
Figur 3-19 Utrustningsbeskrivning av tysk lätt fallvikt	20
Figur 4-1 Olika kraftpulser gentemot olika kraftstorlekar (Lenngren, 2009)	23
Figur 4-2 Time history för mätning på obunden material i torrt och våt tillstånd (Lenngren, 2007)	24
Figur 4-3 Kraft- och deflektionsutveckling under en belastningscykel.....	24
Figur 4-4 Analyserade mätresultat ifrån FWD:s mätning (Lenngren, 2009)	25
Figur 4-5 Ytvägsytbredning vid fallviktsbelastning (Magnusson, 1993)	25
Figur 4-6 Ytvägspenetration i vägkonstruktion vid fallviktsbelastning (Magnusson, 1993).....	26
Figur 4-7 Korrelations samband framställda från olika internationella referenser (Tompai, 2007)	29
Figur 4-8 Teoretisk spänningsfördelning på granulärt och.....	30
Figur 4-9 Exempel på datorsimulerad djupverkan vid statisk plattbelastning.	31
Figur 4-10 Numerisk simulerad djupverkan för LWD med finita element metod (FEM).....	31
Figur 4-11 Jämförelse mellan livslängder med och utan aktiv design (Huvstig, 2007).....	32
Figur 5-1 Försöksområdet i Hyllie trafikplats, testyta är skrafferade området i figur c (Hämtad från Geolex 2009-12-14)	33
Figur 5-2 Tre av sex CPT - sondering inom försöksområdet	34
Figur 5-3 Mätpunkter på vägsträckan, markerade området är påfört med bärlager.....	35
Figur 5-4 Upplägget för mätning	36
Figur 5-5 Markytan för mätpunkt 13 resp. 14	40
Figur 6-1 Elasticitetsmoduler för respektive mätpunkter	42
Figur 6-3 Pålastning och avlastning vid statisk plattbelastning på en ordinarie mätpunkt	44
Figur 6-4 Jämförelse mellan kontrollpunkter och ordinarie mätpunkter.	46
Figur 6-5 Exempel på skålformad deflektionsbassäng	47
Figur 6-6 Exempel på trattformad deflektionsbassäng	47
Figur 6-7 Ytmoduljämförelse för alla slagen utförd på två mätpunkter testyta del 1 under dag 1 & 2	48
Figur 6-8 Korrelations samband mellan deflektionerna under dag 1 och 2 för D0 respektive D6.....	49
Figur 6-9 Jämförelse mellan deflektionsbassängerna från dag 1 & 2	49
Figur 6-10 Belastningskurvor för ordinarie mätpunkter och kontrollpunkt (1m före), MP 1 - 10.....	50
Figur 6-11 Belastningskurvor för ordinarie mätpunkter och kontrollpunkt (1m före), MP 11 - 20.....	51
Figur 6-15 Belastningskurvor för sju seismometrar vid 50kN i andra slagserie, kontrollpunkt (1m före) MP 15	53
Figur 6-16 Belastningskurvor för sju seismometrar vid 50kN i andra slagserie, kontrollpunkt (1m före) MP 8	53
Figur 6-17 Illustration av E-moduler och töjningar för testyta 1.....	56
Figur 6-18 Elasticitetsmodul på ordinarie mätpunkter från LWD, FWD och PLT.....	57

Figur 6-19 Korrelationssambanden mellan PLT och FWD i jämförelse 1.....	60
Figur 6-20 Korrelationssambanden mellan PLT och FWD i jämförelse 2.....	61
Figur 6-21 Korrelationssamband mellan PLT och FWD i jämförelse 3.....	62
Figur 6-22 Korrelationssamband mellan första och andra slagserien.....	62
Figur 6-23 Korrelationssamband mellan PLT och FWD i jämförelse 4.....	63

Tabeller

Tabell 3-1 Bärighetskrav för olika materiallager vid nybyggnad med statistisk acceptanskroll (Vägverket, 2007).....	22
Tabell 4-1 Sammanställning av korrelationssamband (Ahlcrona, 2001).....	29
Tabell 5-1 Överbyggnadsbeskrivning.....	35
Tabell 5-2 Mätningssprocedur för tunga fallvikten.....	37
Tabell 5-3 Mätresultat från lätt fallvikt för testyta Del 1.....	38
Tabell 5-4 Mätresultat från lätt fallvikt för testyta Del 2.....	38
Tabell 5-5 Mätresultat från statisk plattbelastning för testyta Del 1.....	39
Tabell 5-6 Mätresultat från statisk plattbelastning för testyta Del 2.....	39
Tabell 5-7 Mätresultatet från fallviktsmätning vid 50 kN i testyta del 1.....	40
Tabell 5-8 Mätresultatet från fallviktsmätning vid 50 kN i testyta del 2.....	40
Tabell 6-1 Sammanställning av resultat ifrån Ev_3	42
Tabell 6-3 Korrelationssamband inom första respektive andra slagserien.....	45
Tabell 6-4 Korrelationssamband mellan första och andra slagserier.....	45
Tabell 6-8 Lagermodeller och inställningar för passningsräkning.....	54
Tabell 6-9 Medelvärde av RMS från passningsräkning med Clevercalc.....	55
Tabell 6-10 Medelvärde av E-moduler och töjningar för testyta 1 (50kN i andra slagserien).....	55
Tabell 6-13 Kvot mellan deformationsmodul för FWD och PLT.....	58

BEGREPP

Beteckningar

\bar{x}	Aritmetiskt medelvärde i stickprov
n	Antalet stickprov
s	Standardavvikelse
R^2	Determinantkonstant
R_D	Packningsgrad
M_R	Elasticitetsmodul alternativ deformationsmodul
$E_{vd, LWD}$	Deformationsmodul från lätt fallviktsmätning
$E_{vd, FWD}$	Deformationsmodul från tung fallviktsmätning
Ev1	Deformationsmodul från första belastning i plattbelastningen
Ev2	Deformationsmodul från andra belastning i plattbelastningen
CPT	Cone Penetration Test
FWD	Falling Weight Deflectometer
LWD	Light Weight Deflectometer
PLT	Static Plate Loading Test
RMS	Root-Mean Square
ÅDT	Årsdygnstrafik

Benämningar

Belastningstid	Tiden för den tidpunkt då kraftpulsens när 5 % av sitt maxvärde vid pålastning till den tidpunkt då kraften sjunkit till 10 % av maxvärdet vid avlastning. Motsvarar ½ sinuskurva. Eng Load Pulse duration
Bärighet	Högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer. Eng Bearing capacity
Deflektion	Momentan nedböjning på vägytan under en dynamisk belastning
Deflektionsbassäng	Uppmätta deflektioner med FWD från centrumgivare till den yttersta givaren. Kallas även "sjunktratt" på grund av diagrammet utseende. Eng Deflection bowl
Deformationsmodul	En mättegenskap som beskriver förhållandet mellan maximal uppmätt kraft och deformation. Eng Deformation modulus
Dynamisk last	Pulserande axiella belastningar. Eng Dynamic load
Elasticitetsmodul	Övergripande begrepp för förhållandet mellan spänning och töjning. Det finns ett antal olika sätt att beskriva förhållande, bland annat sekantmodul, resilient modul med mera. Eng Elastic modulus

Fallviktsapparat	Mätutrustning för mätning av vägytans deflektion. Används för bedömning av styvhets-egenskaper under en belastning motsvarande ett lastbilhjul. Eng Falling weight Deflectometer; FWD
Halvoändlig utbredning	Oändlig utbredning av en belastning i en riktning. Beskrivs oftast djupverkan i samband med ett lastfall kraften verkar neråt. Eng Halfspace
Homogent material	Material som har samma fysikaliska egenskaper i alla punkter. Eng Homogen material
Isotrop material	Material som har samma egenskaper i alla riktningar Eng Isotropic material
Linjärelastiskt	Linjärt samband mellan töjning och spänning Eng Linear elastic
Packning	Ett arbetsmoment som utförs på ett materiallager för att åstadkomma en högre densitet och styvhet i materialet.
Poissons tal	Används för att beskriva ett materials axiella töjningsförhållande. Eng Poisson's ratio
Potentiell Energi	Energi som åtgår vid utfört arbete som förändrar läget av ett objekt. Eng Potential energy
Stigtid	Tiden från tidpunkt då kraftpulsens att nå 5 % av sitt maxvärde vid pålastning till den tidpunkt då kraften når maxvärdet vid. Motsvarar $\frac{1}{4}$ sinuskurva Eng Rise time
Rayleigh vågor	Ytvågor som fortplantar sig utåt ifrån ett centrum. Eng Rayleigh waves
Repetierbarhet	Graden av att upprepa ett test med samma resultat som följd. Eng Repeatability
Reproducerbarhet	Mått på hur väl mätningarna som utförs med flera olika mätutrustningar på samma objekt kan ge samma resultat eller beskrivning av egenskaper. Eng Reciprocity
Resilient modul	Återgående deformation efter att belastningen har upphört. Eng Resilient moduli
Restspänning	Lagrade spänningar i en konstruktion efter behandling. Eng Residual stress
Spänning	Kraft per ytenhet. Eng Stress
Statisk plattbelastning	Mätningmetod som innebär upprepade tryck på en cirkulär platta för att bestämma deformationsegenskaper. Eng Plate Load Test, PLT
Terrassyta	Ytan som överbyggnaden byggs på. Terrassyta utgör gränsen mellan överbyggnad och underbyggnad/undergrund. Eng Formation level
Triaxialförsök	En experimentell metod som undersöker hållfasthets- och deformationsegenskaper i ett material. Metoden innebär att utsätta material för axial- och radialsänningar med upprepade belastningar i laboratorium. Eng Triaxial testing
Tvärkontraktionstal	Se Poissons tal
Töjning	En axiell längdförändring av ett material Eng Strain
Yttäckande packningskontroll	Kontrollmetod som innebär responsmätning av en provyta med en vält. Varje ställe där välten kör över, registreras responsen. Provytan delas upp stråkvis så att varje ytenhet är uppmätt. Eng Surface compaction control

SAMMANFATTNING

Fallviktsdeflektometer (FWD) är en relativt snabbt och informativt sätt för att kontrollera bärlighet och packning på en vägkonstruktion. Genom att tillämpa en avancerad utvärderingsmetod av obundna granulära material medger en effektiv packningskontroll jämfört med statisk plattbelastning (PLT). För aktiv design är FWD även mycket fördelaktigt avseende tidsaspekten och tillämpbarheten för en mekanistisk modell. Fallviktsdata uppvisar ibland diskrepanser som inte går att förklara med de gängse använda metoderna för bärlighetsutvärdering. Emellertid kan man med en djupare analys bestämma icke-elastiska parametrar som dynamisk dämpning, viskoelasticitet, energiförluster på grund av ofullständig packning med mera.

Man måste klargöra vad som kontrollen avser vid utvärdering av mätmetoderna. Dels vill man pröva om utförd packning är tillfyllest; dels vill man undersöka bärligheten vid byggandet av vägen. Notera att bärligheten inte enbart kan beskrivas med en deformationsmodul, eftersom den grundar sig på hela konstruktionen och töjningar i vissa kritiska punkter.

Regelverket föreskriver PLT för kontroll av deformation och packning av terrassyta och bärlager. Alternativt kan lätt fallvikt (LWD) användas för kontroll på terrassen. Dess belastning är dock begränsad och därför jämförs i huvudsak samband mellan tung fallvikt (FWD) och statisk plattbelastning (PLT). Jämförelsen baseras på 20 mätpunkter som är utförda med båda mätningssätten. Problem och svårigheter tas upp i en diskussion. Mätningen från FWD konstaterades variera även vid små lägesförflyttningar av mätpunkten. PLT utfördes först och tycks lämna residualspänningar i marken eller uppluckring av ytan, dessa effekter kan påverka testet med FWD som utfördes efteråt.

Samband undersöks avseende korrelation mellan respektive deformationsmoduler. En determinantkonstant på 0,5 erhöles i studien och man kan inte utesluta att ett samband finns även om det inte är särskilt starkt. Deformationsmoduler förklaras dock av många från varandra oberoende variabler, exempelvis olika lageregenskaper, elastiska, plastiska och viskoelastiska egenskaper samt graden av packning. Korta dynamiska förlopp påverkas även av masströghet. Längre belastning påverkas av kryppningsegenskaper.

En utförlig analys av andra mätparametrar har genomförts på fallviktsdata och visar även möjligheten att utnyttja mer information än enbart centrumdeflektion. Belastningshistorik kan exempelvis ge en ungefärlig energiförlust vid mätningen samt ge indikationer på vad som inte överensstämmer med en elastisk modell. En "spricka" i konstruktionen har t.ex. upptäckts med hjälp av mätdata från de yttre givarna. De extra sensorerna möjliggör därför en djupare analys och identifiering av konstruktionens egenskaper.

Sambandet mellan deformationsmoduler är generellt för svaga för att direkt omräkna värden från FWD till PLT och vice versa. Givetvis kan det bero på olikheter i de båda mätningssätten, men även fysisk variation i längdled och spridningen av lasten.

I studien konstaterades plattbelastningen vara mindre lämpad för bärlighetskontroll och bättre som packningskontroll. För fallvikt som passar utmärkt för bärlighetsanalys finns dock ännu ingen vedertagen metod för att testa packning. Genom att utnyttja mätning av hela belastningsförloppet som medger en dynamisk analys, spänningsberoende parametrar och energibetraktelser finns goda möjligheter att ta fram en metod för ändamålsenlig packningskontroll. Då har man möjlighet att utnyttja resultaten för interaktiv design och därmed ett resurssnålt och hållbart byggande.

SUMMARY

Falling weight deflectometer (FWD) is a relatively rapid and informative method of assessing the bearing capacity and compaction of a road construction. Applying the method on unbound granular materials increases the efficiency of the compaction control as compared with the static plate load test (PLT). Concerning interactive design, the FWD is also suitable for its swift operation. The interpretation of FWD data has shown, however, anomalies that cannot be explained by the usual methods for evaluation of bearing capacity. Nevertheless, by deeper analysis of the data it is possible to determine non-elastic parameters of dynamic attenuation, viscoelasticity, energy damping losses due to incomplete compaction and other phenomena such as water being present in the materials.

For the evaluation of such methods it is necessary to clearly define the objectives of the test. From the PLT evaluation two parameters are reported as critical. One is the quote from repeated loading and it serves as a test of the compaction. The other is the surface modulus from the second loading and it is an indicator of the overall structural status. It should not be confused with the actual bearing capacity as it is impossible to calculate the elastic strains involved in a layered structure with this lone value.

Nevertheless, regulatory framework in Sweden stipulates the use of PLT for construction control of deformation and compaction on the formation level and unbound road base as well. Light weight deflectometer (LWD) can be used as an alternative method to conduct the inspection. The load of the LWD is however very shallow and therefore it is less suitable to test the interaction between different layers in the superstructure and the foundation. On the other hand a standard FWD has this possibility. Therefore, the purpose of this thesis is to compare the relationship between the FWD and PLT. The comparison is based on a field measurement performed with both methods. Problems and difficulties are reported in a discussion. For instance, the measurement results from FWD vary even at small movements of the measuring point. By moving the test point just a meter from the measuring points by the PLT produces quite different results. It seems that the heavy PLT equipment affects the test site so that the unloaded side is subjected to some heaving action.

Investigation of relationships is based, as in previous reports, on the correlation between the respective deformation modulus as they are obtained directly as a result. A correlation with a coefficient of determination of 0.5 obtained in this study is considered to be insufficient to demonstrate a strong correlation. However, the possibility that a correlation exists cannot be excluded. In fact, the surface modulus depends on many independent variables, such as different layer elastic, plastic and viscoelastic properties and the degree of compaction. Dynamic processes are also affected by inertia. Longer loading times are influenced by creep properties.

A deeper analysis of other derived parameters of the FWD – test data has been done and shows that much more information can be assessed. Time history, for example, gives an approximate energy loss due to the attenuation in unbound materials in the measurement and provides data not consistent with an elastic model. In this study a "crack" was detected by using the measurement data from outer sensors. The extra sensors therefore enable deeper analysis and identification of structural characteristics.

The direct relationship between the respective surface moduli is generally weak in order to translate from FWD to the PLT. Of course, there may be differences in the two measurement methods but also variation in length and in depth on the testing area. This affects the evaluation of the relationship between control methods from a statistical point of view.

PLT is thus less suitable for measurement of bearing capacity but provides a better test of compaction. The FWD is great for analysis of bearing capacity, but there is still no consensus of a method to test the compaction. By utilizing time-histories, stress – dependent parameters and energy considerations, there is a good potential to develop a method for this purpose. Then you have the opportunity to use the results for interactive design and thus a resource-efficient and sustainable construction.

1. INLEDNING

En vägkonstruktion är uppbyggd av olika materiallager. I de undre obundna lagren ställs krav på packningskvalité för att säkerställa bärighet på den färdiga vägen (Forssblad, 2000). Det finns olika fältmätningmetoder utvecklade för att utföra packningskontroller. Traditionellt utförs kontrollen genom att mäta nedsjunkning av de obundna lagren och terrassen med metoden statisk plattbelastare (PLT). En testmetod som syftar till att ta fram en kvot mellan den elastiska E-modulen och plastiska E-modulen. Kvoten är ett mått på packningskvalité. PLT är standardiserad och tillämpad vid vägbyggnation i flera decennier. Det finns dock nackdelar med testmetoden:

- Metoden är tidsödande och kostsam jämfört med andra testmetoder
- På grund av den relativa långa mätningstiden begränsas antalet mätpunkter, det är därmed svårt att skapa ett bra statistiskt underlag.
- Platskrävande uppställningen av mätutrustning leder till att mätplatser med trånga utrymmen ej kan testas.

Under de senaste åren utvecklades andra testmetoder som genererar snabbare mätningar. Framst har lätta fallviktsutrustningar (LWD) utvecklats och tillämpats på vägbyggnation för att snabbt kunna kontrollera packningen på plats. Det finns även tung fallviktsutrustning (FWD) som också kan utföra mätningar på kort tid men är ännu inte tillämpad som en kontrollmetod. (Danish Road Institute, 2002)

Ett flertal undersökningar av sambanden mellan data från fallvikt och data från statisk plattbelastning (PLT) har gjorts både nationellt och internationellt. Resultaten från dessa arbeten visar oftast att relativt goda samband kan upprättas men att dessa inte är generella utan i stort sett plats- och tidsunika (Danish Road Institute, 2002). Motivet att försöka generalisera sambanden är fallviktens möjlighet att beskriva tillstånd med mer statistiskt underlag.

Fallviktsutrustning och tillhörande analysmetod har också utvecklats efter hittills gjorda jämförelser mellan FWD och PLT. Därför undersöks om sambanden kan förbättras med nya ansatser. I ett tidigare examensarbete har sambandet PLT och LWD studerats vilket resulterade i bättre samband än tidigare. En mycket betydelsefull faktor vid jämförelserna är belastningstiden hos fallvikten. Lätt fallvikt har kort belastningstid jämfört med FWD och därför bör just sambandet PLT och FWD studeras.

1.1 Syfte

Syfte med detta examensarbete är att utvärdera samband mellan fallviktsmätning och statisk plattbelastning vid mätning på obundna granulära material. Utifrån resultatet från båda mätmetoderna diskuteras huruvida dessa är tillräckliga för att beskriva framtida bärighetskrav. Framförallt undersöks möjligheten att bedöma och ställa krav på bärighet med hjälp av FWD.

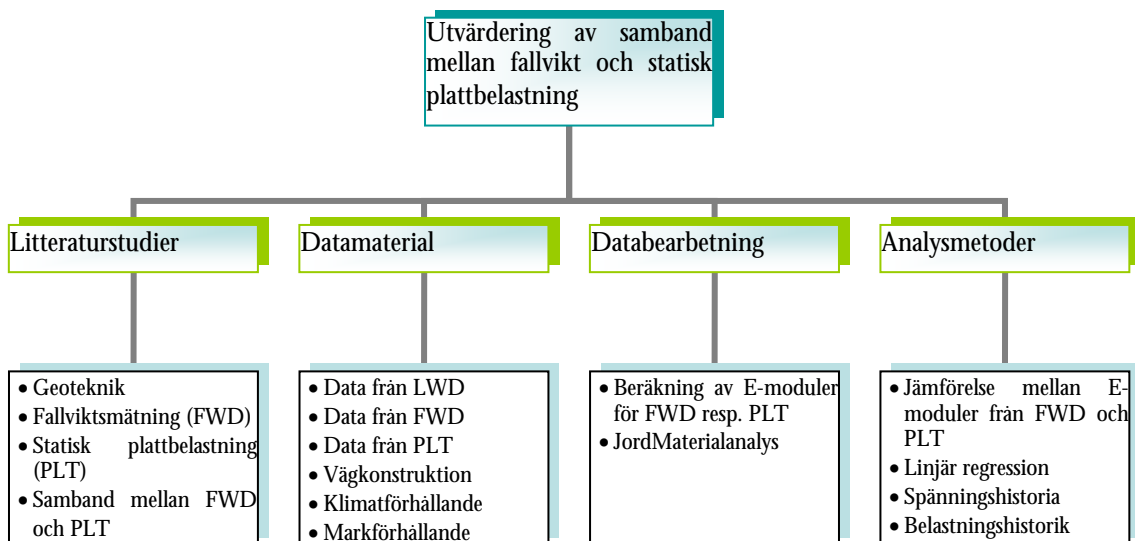
Om arbetets utfall är positivt skulle vidare undersökningar kunna göras för att generalisera sambanden. Detta kan i sin tur ge möjlighet att beskriva ett mätobjekts tillstånd (kvalité) bättre.

1.2 Avgränsning

Studien avser främst utvärdering av sambandet mellan FWD och PLT. Utvärdering av LWD, passningsräkning eller strukturmodeller kommer att genomföras i kvalitativa jämförelser. Ett förslag baserat på tillgängligt material valideras mot ett begränsat antal fältmätningar.

2. METOD OCH GENOMFÖRANDE

Detta examensarbete omfattar inventering av tidigare arbeten, studium av mät- och analysmetoder som tillkommit efter dessa och förslag till undersökning av samband. Genom att, i begränsad omfattning, göra parallella mätningar vid olika undergrundsförhållanden (speciellt siltiga och leriga jordar) provas nya metoder. Vid dessa mätningar definieras lagren med provtagning och materialanalys. Mätresultat från mätmetoderna jämförs och diskuteras. För att kunna förbättra sambanden bör problemkällorna vid jämförelserna definieras. Se Figur 2-1 för schematiskt upplägg av arbetsmetodiken. Ingående metodbeskrivning av fältmätningen hänvisas till kapitel 5.



Figur 2-1 Schema för arbetsmetodik

2.1 Litteraturstudier

Litteraturstudien omfattar två delar:

1. Faktakunskap om grundläggande definitioner, geoteknik och mätmetoder
2. Jämförelser mellan fallvikt och statisk plattbelastning.

Litteratursökning utförs med utvalda sökord på sökmotorer som finns på Internet, Lunds bibliotek och Vägverket. Informationens relevans verifieras med avseende på källa, årtal och innehållets anknytning till ämnet. Rekommendationer om lämplig litteratur/artiklar erhålls även från kontaktpersonerna.

Följande sökord har använts vid sökning:

Fallvikt, falling weight deflectometer, FWD, plattbelastning, static plate bearing load test, obunden material, unbound material, jämförelser, comparison, bärighet, korrelation

Planering av fältmätningarna baseras främst på Vägverkets publikationer, där metodbeskrivningar VVMB 112:1998 respektive VVMB 114:2000 används för FWD samt VVMB 606:1993 används för PLT.

2.2 Datamaterial

Data insamlades vid fältmätningar och består bl.a. av deflektioner från LWD, FWD resp. PLT, vägkonstruktionens geometri, klimatförhållande och markförhållande.

2.3 Databearbetning

I syfte att skapa en relevant och lämplig analysmodell bearbetas fallviktsdata enligt rekommendationer från VVMB 114:2000:

1. Deflektioner som är eller understiger noll utesluts.
2. Deflektionsbassäng som inte minskar successivt i riktning från centrum är svårt att tolka med elastisk modell och utesluts därför.
3. Vid beräkning av E-moduler kan orimliga värden uppkomma och mätdata omprövas då med en annan analysmodell. Om fallet är sådant att E-modulen fortfarande är orimlig efter omprövning, utesluts mätdata.

Fallet som beskrivs i punkt 1 kan uppkomma när sensorn inte står stadigt på marken eller när sensorn helt och hållet avlägsen från markytan. Fallet i punkt 2 kan bero av deflektion registrerade från en yttre sensor är högre än en sensor på insidan. Punkt 3 gäller de fallen där orimligt höga deflektionsvärden registreras under belastningsplattan (D0). Det kan bero på att jordytan består av antingen ett väldigt mjukt eller skört lager som leder till oelastiska deformationer. (Van Deusen et al., 1994)

Även mätning med upprepade belastningar på en jämn yta kan resultera i deflektioner som ligger utanför sensorernas mätområden. Orsaken kan vara ett mjukt materiallager som är vattenmättat. Registrerade värden bör uteslutas och mätningen utförs på nytt på ett avstånd 1 till 2 m kring mätpunkten. Om testet är misslyckat utesluts mätpunkten med notering. (Van Deusen et al., 1994)

Ovanstående principer används främst för tung fallviktsdata men kan till viss del även tillämpas för hantering av lätt fallviktsdata. Extrema värden och nollvärden är sådana som kan uteslutas.

2.4 Analysmetoder

I genomförandet av denna undersökning tillämpas av dels explorativ dels explanativ ansats. Explorativ ansats innebär att kunskaper om fenomenet är mindre kända vilket kräver att utföraren själv identifierar problemen i studien. Arbetet omfattar kvalitativa och kvantitativa studier som behandlas både teoretiskt och i fält. Explanativ ansats kräver en teoretisk grund som styrka förklaringar till fenomenet. Främst utförs denna metod i kvantitativa former, exempelvis mätningar med statistisk behandling.

Sambandet mellan fallviktsdata och data från plattbelastning studeras med regressionsanalys. Denna statistiska analysmetod förutsätter att en av variablerna är fix och antas vara konstant, i detta fall antas värdena från plattbelastningen vara fixa. I denna undersökning studeras främst en enkel linjär regression.

Korrelationsdeterminanten, R^2 bestäms för att beskriva sambandets styrka. Koefficienten kan variera från 0 till 1. När faktorn är lika med 1 innebär det att samtliga punkter (från mätningen) ligger på den teoretiska linjen. Därför eftersträvas ett högt värde på förklaringsfaktor för att bekräfta sambandets relevans.

Korrelations sambandet utvärderas med statistiska metoder. Vid normalfördelning kan mätdata analyseras med punktskattning. Eftersom korrelationen utgörs av två variabler används "stickprov i par" (student t-test) för punktskattningen. För att kontrollera sambandets tillit, utförs även ett hypotestest.

Fältmätningar påverkas av ett flertal faktorer. Naturligtvis är det intressant att studera regressionsanalys utifrån olika faktorer under förutsättningar att dessa faktorer är mätbara. För fallet där faktorerna inte är mätbara används en kvalitativ bedömning. Förutom matematiska analysmetoder används även olika programvaror för att utföra djupare analyser. Följande program har använts:

Clevercalc

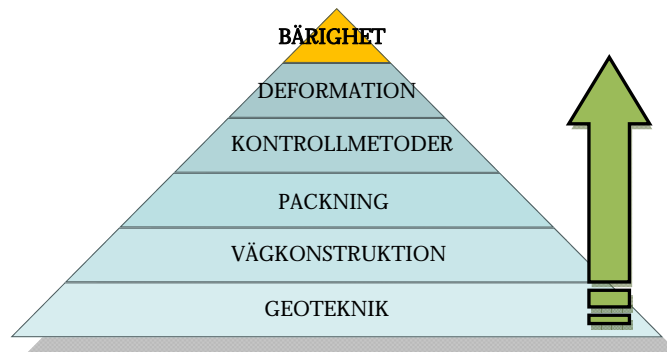
Passningsräkning av fallviktsdata med förbestämda inställningar och iterationer. Programmet kan även användas för statistisk analys och spänningsanalys. Lagersystem bygger på antagandet att det understa lagret är oändligt djupt. Passningsräkning fungerar bäst för att hantera 3 lagersystem exklusive det understa lagret.

Timeh

Utvärdering av belastningshistorik (Time history). Belastningskurvor från olika sensorer visas i diagram för översikt. Energimängd beräknas med integration av den begränsade arean inom en belastningskurva.

3. TEORETISK BAKGRUND OCH METODER

Detta kapitel innefattar de bakomliggande teorierna till försöken som har genomförts i studien. För att klargöra de olika teoridelarna är kunskapsinhämtningen upplagd som en kunskapspyramid, se Figur 3-1. Kunskapen byggs successivt upp och slutligen inhämtas de ingående teorierna som krävs för att fördjupa sig i begreppet **bärighet**. Bärighet är ett begrepp som används i olika kontrollmetoder för att definiera resultatets kvalitet, se kap 3.4.5 för ingående förklaring.



Figur 3-1 Kunskapspyramid

3.1 Geoteknik

Under detta kapitel presenteras två delar inom geotekniken, **jordmateriallära** och **jordmekanik**. Jordmateriallära innefattar fysikaliska egenskaper och strukturell uppbyggnad för naturliga jordarter. I jordmekanik ingår de mekaniska egenskaperna som finns i obundet material.

3.1.1 Obundna material

En vägkonstruktion består till stor del av obundna granulära material som kan förekomma i friktionsjord och kohesionsjord eller en blandning av dessa. Obundna granulära material kan finnas såväl i underbyggnad/undergrund som på förstärknings- och bärlager.

Obundna granulära material är uppbyggd av ett kornskelett bestående av fasta substanser, med porer som är delvis fyllda med porvatten och delvis med porgas. Jordmaterialets egenskaper beror bl.a. av den fasta substansens sammansättning, porstorlek och porvatteninnehåll. Egenskaperna har i sin tur inverkan på bärförmåga, deformationsbenägenhet och stabilitet hos jordskelettet. (Axelsson, 2006)

3.1.2 Strukturell uppbyggnad

En jordstruktur bildas genom att jordpartiklar hålls ihop med bindningskrafter. Krafterna är olika beroende på kornstorlek av partiklarna. I de grövre partiklarna är det masskrafter som är dominerande medan det är elektriska ytkrafter som är dominerande i de finare partiklarna. (Axelsson, 2006)

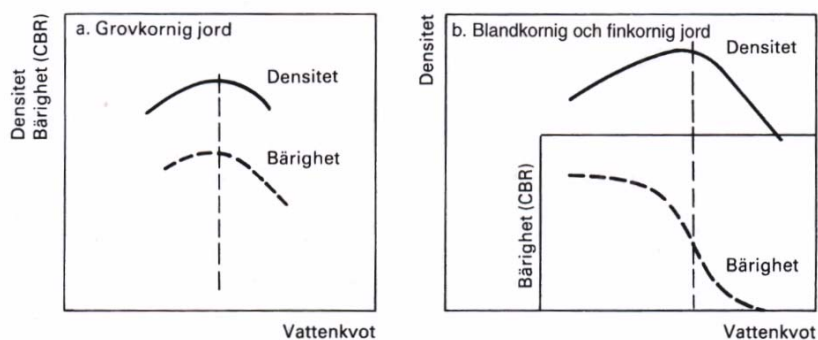
Bland de grovkorniga jordarterna ingår sand, grus, sten och block. Dessa benämns som **friktionsjord** eftersom det är friktionen mellan kornen som utgör den huvudsakliga kontaktkraften. Friktionsjord saknar draghållfasthet och har en hög permeabilitet. Till skillnad från friktionsjord, har **kohesionsjord** en viss draghållfasthet och låg permeabilitet. Kohesionsjord har fått benämning för de kohesiva egenskaper som finns i jordpartiklarna. Kohesion innebär en attraherande kraft som bidrar till att jordpartiklar binds samman. Bland kohesionsjordar finns lera och de organiska jordarteren: torv, dy och gyttja. (Axelsson, 2006)

3.1.3 Densitet

Densitet ger en uppfattning om lagringstäthet och beskrivs i vikt/tyngd per volym. Densitet kan uttryckas i olika sätt beroende på vilka parametrar som är av intresse. Den enklaste formen är skrymdensitet som är för-

hållandet mellan jordens massa och volym i naturfuktigt tillstånd. Ett annat exempel är torrdensitet som beskriver förhållandet mellan jordmassan och den totala volymen utan porvattnets vikt. (Sällfors, 2006)

Det finns numera kontrollmetoder för densitetsbestämning med avsikt att bedöma packningskvalité. Det är dock inte lämpligt att tolka bärighet direkt ifrån densitetsvärdena. Om materialstrukturen inte är känd kan bärigheten missbedömas. Ojämn fördelning av stenmaterialet kan exempelvis ge osäkra och ojämna värden. Det har påvisats samband och skillnader mellan jordmaterialets densitet och bärighet vid varierande vattenkvot, se Figur 3-2. Hos grovkornig jord uppvisas ett samband mellan bärighet och vattenkvot medan sambandet är uteslutande hos blandkornig eller finkornig jord. Vid högre vattenkvot i blandkornig och finkornig jord gör att materialet mjukas upp och därmed sänks bärigheten drastiskt. (Forssblad, 2000)

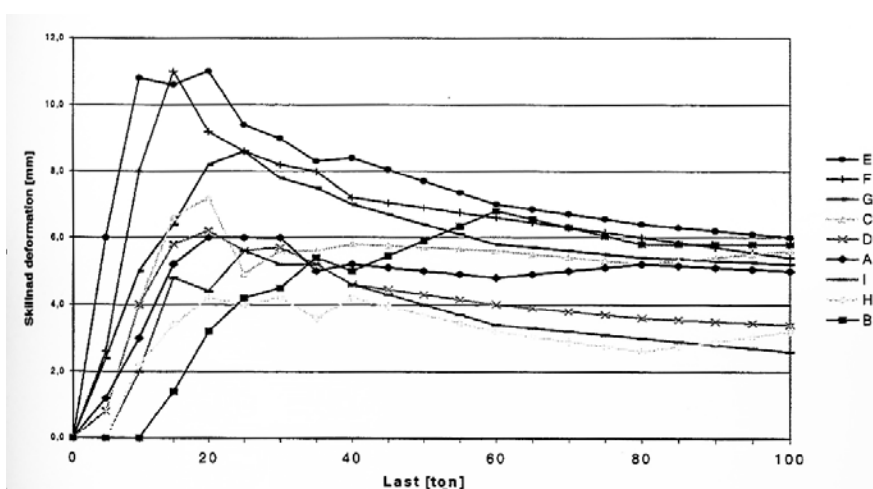


Figur 3-2 Jämförelse mellan densitet och bärighet vid varierande vattenkvot för olika jordarter (Forssblad, 2000)

3.1.4 Fukt

Vattenkvot används ofta som en term för att uttrycka ett materials fukttinnehåll. Definitionen på vattenkvot är förhållandet mellan porvattnets massa och den fasta substansens massa. Finkornig jords egenskaper är starkt beroende av vattenkvot. Beroende på graden av vattenkvot kan finkornigt jordmaterial gå från fast till plastisk eller t.o.m. flytande medan grovkornig jord är oftast dränerande och är därför mindre påverkad av fukttinnehåll, se diagrammen i Figur 3-2.

I ett examensarbete av Björkdahl och Jansson undersöktes deformationsskillnad för ett obundet material i torrt respektive vått tillstånd, se Figur 3-3. Resultaten visar att fukttinnehåll har en stor betydelse vid belastning mellan 0 och 20ton. Deformationen blev avsevärt större i vått material jämfört med torrt material. (Björkdahl et al., 2001)



Figur 3-3 Deformationsskillnad i vått tillstånd jämfört med torrt tillstånd (Björkdahl & Jansson, 2001)

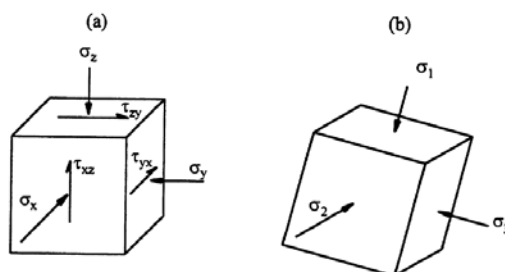
Vattnet kan till en viss nivå bidra en positiv effekt på obundet material. Optimal vattenkvot kan iaktas i Figur 3-2 och Figur 3-12. Observera att Figur 3-12 redovisar förutsättning för packning och den optimala vattenkvoten är varierande för olika jordmaterial. (Forssblad, 2000)

Enligt Haynes och Yoder (1963) undersökning i obundet granulära material, kan den elastiska modulen sjunka med 50 % när vattenmättnadsgraden ökar från 70 % till 97 %. Även Hicks och Monismith (1971) visade att den elastiska modulen sjunker drastiskt när fukttinnehåll överstiger det optimala värdet. Jämför med Figur 3-2.

3.1.5 Spänningstillstånd

Det är känt att en jordmassa har krafter som verkar mellan jordpartiklarna. Krafterna kan komma från egen tyngden och för finare partiklar även från ytverkan mellan partiklarna. För en belastad jordmassa påverkas jordpartiklarna även av en yttre last. Kontaktkrafterna kan ha olika storlekar och riktningar beroende på kornformen. För att redovisa krafternas verkan i ett jordskelett används begreppet **spänning** som uttrycker kontaktkrafter per snittyta. (Kennet, 2006)

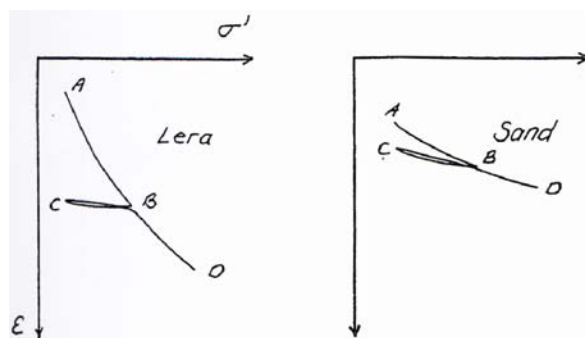
Spänningstillståndet kan beskrivas i ett tredimensionellt element. Elementet innehåller tre normalspänningskomponenter och tre skjuvspänningskomponenter som verkar vinkelrätt mot varandra, se Figur 3-4. Normal- och skjuvspänning kan även uttryckas i ett tillstånd med endast normalspänningar, så kallade huvudspänningar. Huvudspänningar antar största respektive minsta normalspänningar och har en orientering med huvudspänningsriktningar, se Figur 3-4. (Yoder & Witzack, 1975)



Figur 3-4 a) Normal- och skjuvspänningar i ett element
b) Huvudspänningar i ett element

3.1.6 Spänningshistoria

Tidigare behandlades densitet som en parameter för hur kompakt ett material är. Kompaktgrad beror i sin tur på spänningshistoriken. Ett obundet material som aldrig förut utsatts för någon belastning kan få stora deformationer medan ett material som belastas och avlastas får en förkonsolidering. Belastningsförlopp C – B i Figur 3-5 visar att ett förkonsoliderade materialet vid en ny påförd belastning kan bete sig elastiskt fram till en gräns B. Gränsen är beroende av storleken på förkonsolideringsgraden. (Sällfors, 2001)



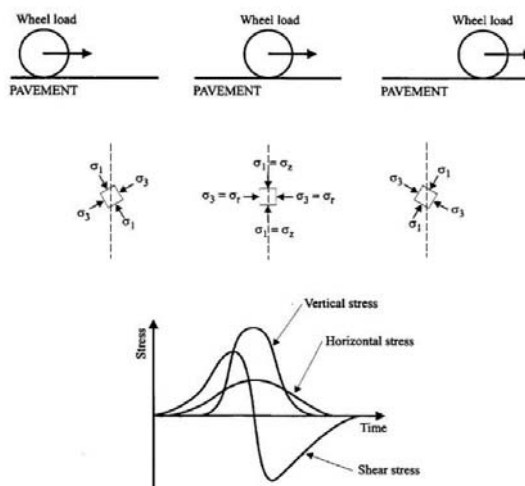
Figur 3-5 Skillnad mellan lera och sand med förkonsolidering (Sällfors, 2001)

Förkonsolideringsgraden är speciellt viktig att beakta för leror eftersom deformationsförmågan är stor i denna jordart. För en friktionsjord är deformationen betydligt mindre men även påverkas av förkonsolidering som kan vara avgörande för bärigheten, se Figur 3-5. (Sällfors, 2001)

Spänningshistorian har även betydelse för permanenta deformationer i de obundna materialen. En studie från Brown och Hyde (1975) visar att gradvis spänningsökning av ett jordprov leder till relativt små permanenta deformationer medan ett jordprov som genast utsätts för hög spänningspåverkan får en stor permanent deformation.

3.1.7 Mekanik

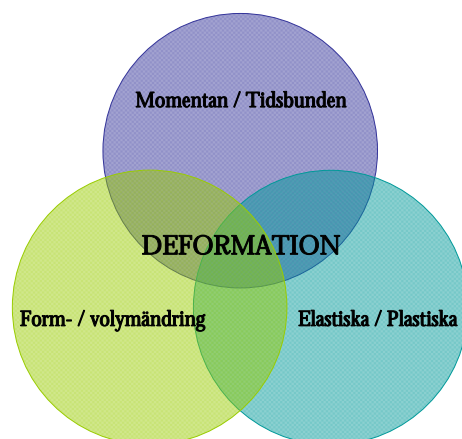
Vid cyklisk hjulbelastning av ett obundna granulära material är mekaniken i materialet relativt komplex. Under en vägs livslängd utsätts materiallagret för många spänningspulser som innehåller vertikala, horisontella respektive skjuvspänningar, se Figur 3-6. Illustrationen visar hur spänningarna varierar i ett element när hjulet rullar över vägytan. I de mittersta figurerna är elementet roterat med de införda huvudspänningarna. (Lekarp, 1999)



Figur 3-6 Beteende på storlek och riktning för huvudspänningar vid ett dynamiskt belastande hjul (Lekarp, 1999)

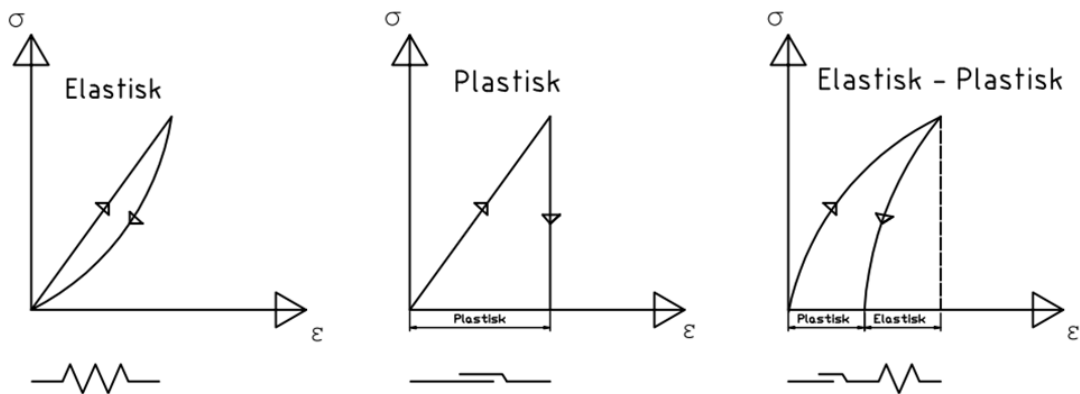
3.1.8 Deformationsegenskaper

Deformation i ett jordmaterial utgörs av två förändringar. Den ena är volymändring och den andra är formändring. Båda två ändringarna är ett resultat av förändringar i spänningstillstånd. Deformationen kan i sin tur utgöras av elastiska och plastiska deformationer. En ytterligare indelning är momentana och tidsbundna deformationer. En sammansättning av de olika egenskaperna illustreras i Figur 3-7. (Sällfors, 2001)



Figur 3-7 Deformationsegenskaper

Elastisk deformation innebär att ett deformerat material återgår till sin ursprungliga form då spänningen avlägsnas. Till skillnad är plastisk deformation en permanent form- och volymförändring som kvarstår även då spänningen avlägsnas, se Figur 3-8. (Sällfors, 2001)



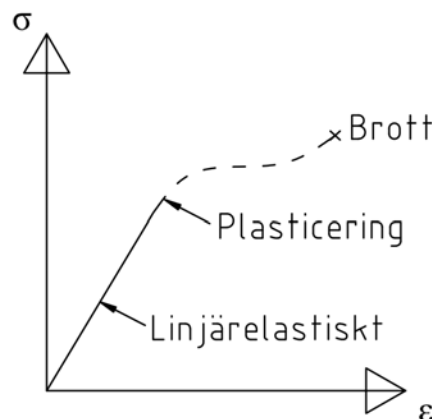
Figur 3-8 Elastisk respektive plastisk deformation

Det är sällan att en deformation i ett jordmaterial har endast en eller två deformationsegenskaper utan normalt är det en kombination av olika egenskaper. Den verkliga deformationsmekanismen är komplicerad. Vid belastning av ett obundet material, kan form- och volymändring uppdelas i tre huvudsakliga mekanismer: konsolidering, förvriddning och nötning. Konsolideringsprocess innebär kompression som leder till volymetriska förändringar. Förvriddningsprocess innebär böjning, glidning och rullning för varje enskild partikel. Nötning är rent krossningsprocess som sker när en last har överskridit partiklarnas styrka. (Lekarp, 1999)

Tidsbundna och momentana deformationer är inte aktuella för vidareutveckling i detta examensarbete eftersom tiden för mätningkontroller är relativt kort. En kvalitativ bedömning görs av tidbundna deformationer. I senare kapitel kommer deformationsmoduler att bestämmas utifrån elastiska teorier men i själva verket finns det även en plastisk del i modulen.

3.1.9 Deformationsmodul och Poissons tal

För att beskriva ett materials deformationsegenskaper, bestäms ofta en deformationsmodul (E – modul) och ibland även ett tvärkontraktionstal (Poissons tal). Dessa två parametrar är nyckeltal som kan beskriva spännings- och deformations samband ganska väl under förutsättning att materialet är linjärelastiskt, vilket är ett antagande som inte kan användas då materialet flyter eller närmar sig brott, se Figur 3-9. (Sällfors, 2001)



Figur 3-9 Spännings- och deformationssamband

Faktum att ett jordmaterial är anisotropt och inhomogent komplicerar deformationsbilden. För att underlätta beräkningar och analys antas jordmaterialet som ett kontinuerligt linjärelastiskt medium. Därmed kan elasticitetsteorin utnyttjas. (Sällfors, 2001)

För ett linjärelastiskt material är förhållandet mellan vertikal spänning och vertikal töjning konstant, vilket motsvarar elasticitetsmodul eller Young's modul (E). Det enklaste sättet att beskriva deformationsmodulen för ett linjärt elastiskt material är att använda Hookes lag:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad [\text{MPa}] \quad (3.1)$$

där

σ = Spänning [MPa]
 E = Deformationsmodul (Elasticitetsmodul) [MPa]
 ε = Töjning [%]

Sambandet visar att spänningen är proportionell mot töjningen och beskrivs som en elastisk deformationsmodul vilket motsvarar den rätlinjiga linjen i Figur 3-9.

Poissons tal eller tvärkontraktionstal används för att beskriva ett materials axiella töjningsförhållande. Exempelvis ett suddgummi som trycks ihop vill gärna utvidga sig längs den vinkelräta axeln. Förhållandet mellan töjning två vinkelräta axlar beskriver Poissons tal:

$$\nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \quad [-] \quad (3.2)$$

där

ν = Poissons tal eller Tvärkontraktionstal [-]
 ε_i = Töjning i axel i [% , mm]

Elasticitetsteorin förhåller sig till en ideal värld och är lämpad med antagandet att jorden är:

- homogen
- isotrop
- elastisk
- viktlös
- halvoändlig i vertikal led
- belastad på en plan yta i vinkelrätt riktning mot den halvoändliga delen

3.1.10 Odränerad skjuvhållfasthet

En jords odränerade skjuvhållfasthet beror på jordtyp, belastningsfall, förkonsolideringstryck och överkonsolideringsgrad. Hållfastheten kan bestämmas genom både empiriska formler och in-situ provningsmetoder. Den kan exempelvis uttryckas med en empiriskt framtagen ekvation:

$$c_u = a \cdot \sigma'_{v0} \cdot OCR^b$$

där faktorn a varierar med jordtyp och belastningsfall medan faktorn b är oberoende av belastningsfall. För jordtyp av lermorän har de materialparametrarna a och b värden 0,45 respektive 0,85.

Ur den in-situ provningsmetoden CPT – sondering (Cone Penetration Test) kan den odränerade skjuvhållfastheten för ett överkonsoliderad jord utvärderas. Förkonsolideringstrycket och överkonsolideringsgrad kan antingen vara känd eller utvärderas ur resultaten från CPT – sondering genom att studera jordmaktigheten. Den odränerade skjuvhållfastheten för lermorän bestäms enligt nedanstående ekvation:

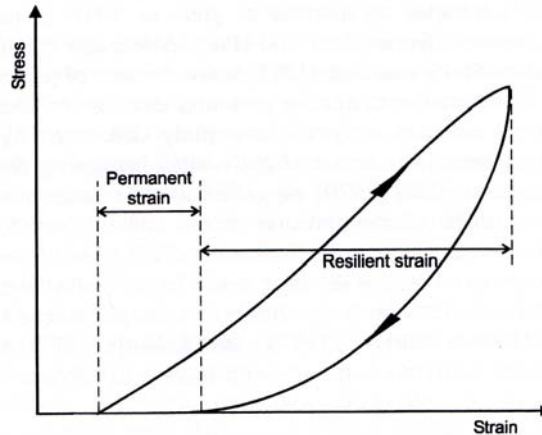
$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{11} \quad [\text{MPa}] \quad (3.3)$$

där

c_u = Odränerade skjuvhållfasthet [MPa]
 q_t = Totalt spetsmotstånd vid CPT – sondering [MPa]
 σ_{v0} = Vertikalt överlagringstryck [MPa]

3.1.11 Hysteresis kurva

Ett obundet granulärt material kan under sin dimensioneringstid utsättas för upprepade trafikbelastningar. Under en belastningscykel genereras spänningar och töjningar i materialet. Töjningarna kan i stora drag delas upp i elastisk (resilient) och plastisk (permanent) deformation, se Figur 3-10. (Lekarp, 1999)



Figur 3-10 Hysteresis kurva under en belastningscykel (Lekarp, 1999)

Hysteresis kurva i figuren ovan är ett principiellt utseende på belastningscykel vilket uttrycker responsen för ett obundet materials som utsätts för pålastning och avlastning. Arean innanför kurvan kan användas till beräkning av utfördt arbete. Werkmeister (2003) beskriver väl hur det utförda arbetet består dels av den energin som leder till deformation av materialet, dels av den värmeenergin som alstras vid belastningen.

3.1.12 Tröghet

Allt material har en naturlig tröghet som inom fysiken innebär förmåga att motverka accelerationen på materialets rörelse. Inom mekanik förklaras tröghet med tröghetslagen som beskrevs av Newton: "En kropp förblir i sitt tillstånd av vila eller likformig, rätlinjig rörelse utan yttre påverkande krafter."

Jordmassorna i marken kan betraktas som ett materiellt system. Systemet består av många små element som var och en ger ett bidrag till det totala tröghetsmomentet. Därmed beror tröghetsmomentet på hur jordmassan är fördelad.

Masströghetsmoment beskrivs vanligtvis med summa av alla masselementens massor och avstånd till tyngdpunkten. Detta gäller i de fall där rotationsrörelser är inblandade i massan. I betraktelse av jordmassan, är det ett oändligt system där translationsrörelser verkar. Jordens tröghet beror således av jordens massa. Svårigheten att bestämma trögheten ligger på hur mycket jord som påverkas. (Sussane Heyden, 2009)

3.1.13 Potentiell Energi

Energi kan lagras i form av potentiell energi eller lägesenergi. Att den totala energin i ett slutet system bevaras innebär att energin kan omvandlas i olika former. När ett arbete utförs används energi till förändring av rörelse, friktion eller värme. Potentiell energi är alltså det utförda arbete som åtgår till att förändra läget för ett objekt och kan beräknas med följande formel:

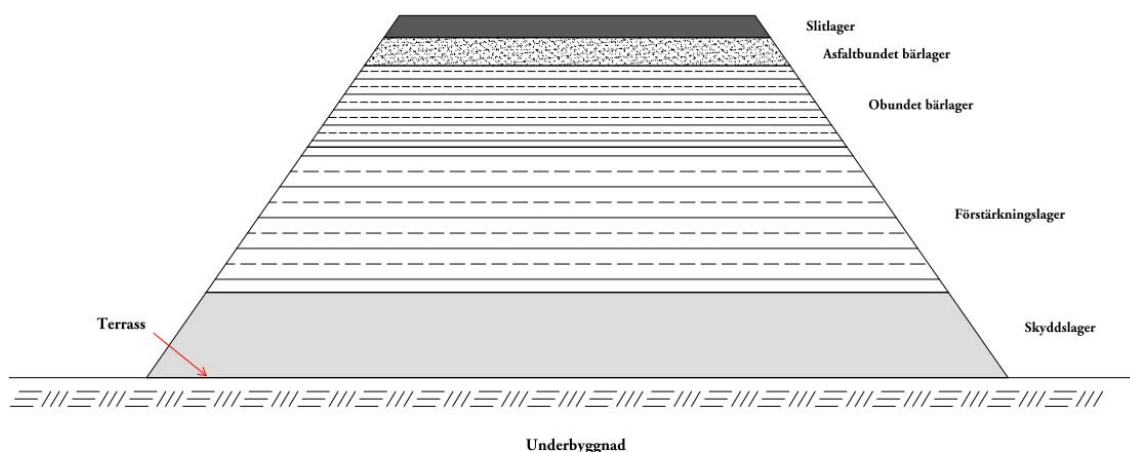
$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h \quad [\text{Joule}] \quad (3.4)$$

där

E_{pot} = potentiell energi [Joule]
 m = massa [kg]
 g = gravitation [$\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$]
 h = fallhöjd [m]

3.2 Vägkonstruktion

En vägkonstruktion utgörs av en överbyggnad och en underbyggnad. Antalet materiallager kan variera från fyra till sex lager beroende på vilken sorts överbyggnad som tillämpas. Principiell uppbyggnad av vägkonstruktionen visas på Figur 3-11. Varje lager fyller en funktion i konstruktionen för att säkerställa att vägen håller en tillräcklig god beskaffenhet under vägens dimensioneringsperiod. (LTH, 2008)



Figur 3-11 Vägkonstruktion

I detta examensarbete riktas studier främst på de undre obundna lagrena därför ingår inte de övre bundna lagrena, slitlager och asfaltbundet bärlager i studien.

3.2.1 Obundet bärlager

Obundet bärlager består av krossat sprängsten/grus och har som funktion att uppta och fördela belastningen från trafiken till de underliggande lagrena. De ingående krav som Vägverket ställer är bland annat att materialet i det obundna bärlagret skall vara volymbeständiga, skall hålla en bärförmåga och beständighet (ATB VÄG).

Det obundna materialet skall läggas ut och behandlas på sådant sätt att lagret blir homogent. Packning utgör därför som ett viktigt moment för att klara de ställda kraven under cykliska påfrestningar från trafiken och klimatet. Packningen utförs med rekommendationer från ATB VÄG. (ATB VÄG)

3.2.2 Förstärkningslager

Förstärkningslager ligger underst i överbyggnaden och består av obundna granulära material som kan vara krossat och okrossat grus, bergkross eller sprängsten. Förstärkningslagret upptar och reducerar belastningen från det obundna bärlagret så att deformationen i underbyggnaden minimeras. (LTH, 2008)

Förstärkningslagret skall vara frostbeständigt för att undvika tjälskador vid expansion, därmed förklaras lagrets namn på engelska, "frost blanket". Lagret skall även vara dränerande så att överskott av regnvattnet skall kunna dräneras till vägens avvattningsystem.

3.2.3 Skyddslager

Skyddslager läggs direkt på bearbetad underbyggnad. Skyddslagret har två syften, dels används det i ett område med tjälfarligt material för att minska tjällyftningar, dels fungerar skyddslager som ett materialskiljande skikt för att förhindrar uppträngning av undergrundsmaterial till förstärkningslagret. (LTH, 2008)

Om skyddslagrets tjocklek är mindre än 200mm så skulle det kunna ersättas med ett tillägg på förstärkningslagret som har samma tjocklek som skyddslagret. (ATB Väg)

3.2.4 Underbyggnad/Undergrund

Terrass är ytan på undergrund/underbyggnad som överbyggnad utförs på. Undergrund och underbyggnad är benämning på delen under terrassyta beroende på om terrassen är utförd vid skärning resp. bankfyllning. Terrasseringsarbete innebär schaktarbete med bortschaktning eller utfyllnad av jord- eller bergsmassor. Normalt packas terrassytan för en bättre bärighet på undergrund/underbyggnad om inte materialet är tillräckligt hårt. En ojämn terrass som inte är packat kan därmed leda till ökad tjocklek på ovanliggande överbyggnadslager. (LTH, 2008)

3.2.5 Faktorer som inverkar permanent deformation

Under en vägkonstruktions livslängd, utsätts den för cykliska trafiklast. Belastning kan ge upphov till permanenta deformationer i konstruktionen. Den totala permanenta lastberoende deformationen är alltså en summa av alla permanenta deformationer som uppstår vid varje cyklisk last. (Lekarp, 1999)

Permanent deformation kan orsakas av exempelvis underdimensionering av vägen, överlast med mera. Det finns ett flertal konkreta faktorer som kan försäkra permanent deformation i obundet material:

- Materialsammansättning (kornform, mineraltyp) (Björkdahl & Jansson, 2001)
- Densitet
- Antal belastningscykler
- Vattenkvot
- Packningskvalité
- Överlast
- Spänningshistoria

I vissa fall beror deformationen endast på enstaka faktorer, men oftast är det en kombination av flertalet. I kapitel 3.1 behandlades bland annat en del grundläggande kunskaper som förklarar orsaken till deformation.

3.2.6 Spänningsmodell

De vanliga typerna av material som finns i en väggropp kan delas in i asfaltbaserad, granulärt eller kohesivt material. För att beskriva spänningstillståndet i ett materiallager används en lämplig spänningsmodell. I enkel analys betraktas asfalt som ett linjärelastiskt material. Spänningsmodellen som förklarades i kapitel 3.1.9 kan användas i analysen. (FEHRL 1991)

I en mer avancerad analys kan spänningstillståndet för ett obundet material beskrivas i olinjära samband. Obundna granulära materialets elasticitetsmodul (resilient moduli) kan exempelvis beskrivas med följande ekvation 3.5 (Brown and Pell, 1967):

$$M_R = K_1(\theta)^{K_2} \quad [\text{MPa}] \quad (3.5)$$

där

M_R = Elasticitetsmodul (Resilient Moduli) [MPa]

$\Theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ = Totalspänningen: summan av huvudspänningarna (Bulk stress) [MPa]

K_1 = Material konstant [-]

K_2 = Material konstant, positiv och varierar normalt mellan 0,4 och 0,6 [-]

Inom den vetenskapliga världen finns det en mängd olinjära spänningsmodeller för obundet granulära material. Valet av spänningsmodell görs utifrån givna förutsättningar och antagande. Därför skiljer sig modellen från fall till fall.

För kohesivt material beskrivs elasticitetsmodulen vanligtvis med den olinjära spänningsmodellen i ekvation 3.6. En negativ materialkonstant, K_2 , innebär att modulen sjunker med ökande deviatorspänning. I samband med in-situ kontrollmätning FWD, varierar ofta deflektioner med avstånd som kan bero på olinjäritet enligt ekvation 3.6 (Per Ullidtz, 1998):

$$M_R = K_1 (\sigma_d)^{K_2} \quad [\text{MPa}] \quad (3.6)$$

där

M_R = Elasticitetsmodul (Resilient Moduli) [MPa]

$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ = deviatorspänning [MPa]

K_1 = Material konstant [-]

K_2 = Material konstant, negativt [-]

3.3 Packning

Packning utgör ett väsentligt moment vid användning av obundna material som fyllningsmassa. Packningskvalité kan vara avgörande för bärighet i vägkonstruktionen. Målsättning är förutom att uppnå en tillräcklig bärighet, även att öka fyllningsmaterialets stabilitet, minska vatten genomsläpplighet och undvika eftersättningar på skadlig nivå. Resultatet av ett gott packningsarbete är minskade underhållskostnader och ökad livslängd. (Forsblad, 2000)

Packning innebär att öka ett materials densitet med yttre krafter i syfte att uppnå de önskade egenskaperna. För jord- och stenfyllning kan packningen öka fyllningens bärighet med fem till tio gånger högre än samma fyllning i opackat tillstånd. Packningskvalité, det vill säga storleken på bärighetsökning beror bland annat på materialsammansättning, vattenkvot, packningsmetod och underlagrets fasthet. (Forsblad, 2000)

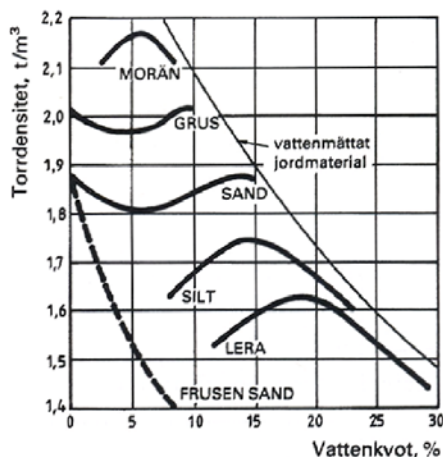
För att kontrollera om packning är välutförd, infördes begreppet packningsgrad. Packningsgraden R_D bestäms som kvoten mellan uppmätt torrdensitet ρ_d och maximal torrdensitet $\rho_{d,max}$ bestämd vid laboriestampning, se sambandet:

$$R_D = \frac{\rho_d}{\rho_{d,max}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.7)$$

Krav på packningsgrad ställs utifrån typ av fyllningsmaterial, förväntade trafikbelastning, tillåtna sättningar med mera. För obundna bär- och förstärkningslager finns internationella föreskrifter att minsta packningsgrad bör ligga mellan 95-100 % med tung laboriestampning. (Forsblad, 2000)

3.3.1 Förutsättning för packning

Tidigare nämndes att materialsammansättning och vattenkvot har inverkan på packningskvalité. För att ta reda på hur dessa faktorer påverka utförs instampningsförsök på obundna material. Resultatet av provet är packningskurvor som visar sambandet mellan torrdensitet och vattenkvot för olika jordmaterial, se Figur 3-12.

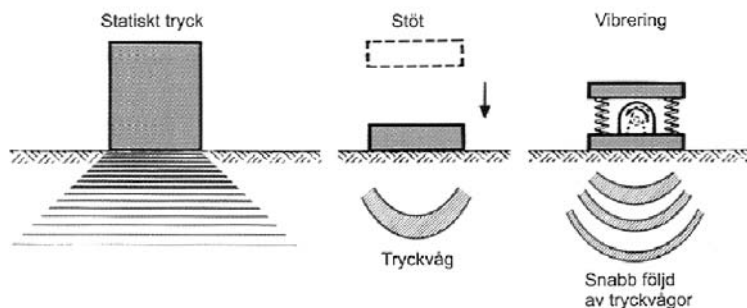


Figur 3-12 Kurvor som visar samband mellan torrdensitet och vattenkvot för olika jordmaterial utifrån instampningsprov (Forsblad, 2000)

Diagrammet visar att vid packning är finkorniga jordarter betydligt mer beroende av vattenkvot än grovkorniga jordarter. Vid en optimal vattenkvot kan finkorniga jordarter uppnå ett högt densitetsvärde. Grovkorniga jordarter är däremot fridränande och kan därför hålla jämnare kurvor. Vid vattenmättat respektive fullständigt torrt tillstånd uppnå grovkorniga jordarter den högsta densiteten. Det föredras att använda krossmaterial och fridränande jordarter som fyllningsmassor, vilka är mindre vattenkänsliga. Dock kan det av praktiska och ekonomiska skäl användas finkorniga jordarter till fyllning. (Forsblad, 2000)

3.3.2 Packningsmetoder

Utifrån olika förutsättningar används olika metoder till att packa jordmaterial. De principiella packningsmetoder som tillämpas idag illustreras i Figur 3-13.



Figur 3-13 Olika packningsprinciper för jord- och stenfyllning (Forssblad, 2000)

De olika packningsmetoderna skiljer sig från varandra på det sättet att lasttyp, laststorlek, lastfrekvens, djupverkan och belastningstid varierar. Utifrån materialtyp och vattenkvot för jordmaterialet samt önskade packningsgrad väljs den lämpligaste packningsmetoden. (Forssblad, 2000)

Packningen kan delas in i två stadier. Första stadium innebär att ett löst lagrat material trycks ihop och därmed åstadkommer en plastisk deformation. Ju mer materialet packas, desto fastare blir det. I andra stadiet blir materialet så pass kompakt att det förblir elastiskt. (Forssblad, 2000)

3.3.3 Kontroll

I olika skede utförs kontroller på packningen för att säkerställa kvalitén på packningsarbete. Två huvudsakliga former är resultatkontroll och utförandekontroll.

Resultatkontroll innebär att materialets densitet kontrolleras mot en föreskriven packningsgrad. En annan metod för resultatkontroll är att mäta på de packade ytorna med plattbelastningsprov, se kap 3.4 för ingående beskrivning. Det finns också yttäckande packningskontroll som är en kontrollmetod som tillåter att packningskontroll genomförs parallellt med packningsarbete. Metoden har fördelen att den täcker hela den packade ytan men har som nackdel att den är mindre flexibelt i mätningen. (Forssblad, 2000)

Utförandekontroll är en kontinuerlig övervakning av material, lagertjocklekar och antal överfarter med en specialutrustad packningsmaskin. Det finns krav och methodspecifikationer i vägverkets publikation VVTBT 2007:117. Kravet är bland annat att kontroller inte ska utföras under tjälade förhållande. En godkänd lageryta behöver kontrolleras om då materialet har trafikerats eller tjälats ner till terrassytan i mer än 10 dagar samt när ytan har justerats. (Vägverket, 2007)

En ständigt mer tillämpad kontroll är egenkontroll som utförs av entreprenör under eget ansvar. Det är speciellt aktuellt i en funktionsentreprenad som innebär att entreprenören får planera, bygga och förvalta. Efter färdigställandet av vägen ha entreprenören ansvar för drift- och underhållsarbete i minst 7 år. (Andersson et al., 2007)

3.4 In-situ bärighet-/packningskontroll

Jordmaterialets komplexitet behandlades i kapitel 3.1 och dess egenskaper är i hög grad beroende på spänningar. Spänningshistoria i jordmaterialet har stor betydelse. Därför önskas testerna att utföras på oförstörda prover som har samma spänningshistoria och struktur som i falt. Sälunda föredras in-situ försök.

Vid nybyggnation utförs bärighetskontroll enligt föreskrifter från Vägverket. De ställda kraven på bärighet är uppdelad på två nivåer i en konstruktion. Ytan på det översta obundna lagret utgör den översta nivån. Den understa nivån är antingen skyddslageryta eller terrassyta beroende på tjockleken på materiallager och typ av överbyggnad. Exempelvis för flexibel överbyggnad gäller bärighetskrav på skyddslagerytan när terrassen ligger djupare än 750mm. (Vägverket, 2007)

Mätvärdena ska förutom uppnå de ställda gränsvärdena men även uppfylla krav från statistisk acceptanskontroll. Syfte är framförallt att kontrollera variationen i ett kontrollobjekt ligger inom acceptanskriterier. Mätningar för en bärighetskontroll utförs som stickprov på ett kontrollobjekt. För att säkerställa att mätvärdena kan vara representativ för hela kontrollobjektet och uppfylla bärighetskraven, tillämpas metoder från Vägverkets föreskrift, se kap 3.4.4. (Vägverket, 2007)

3.4.1 Fallviktsmätning (FWD)

Fallviktsapparat är en mätutrustning som används för att bedöma dynamiska styvheten i en vägkonstruktion. Mätningen utförs med en fallviktsstöt på 50kN för att simulera en deformation i vägen som orsakas från ett hjul på ett tungt fordon. (Vägverket, 1998)



Figur 3-14 Fallviktsutrustning, fotograferad vid fältmätningen

Kraftpulsens överförs via ett fjädersystem på en belastningsplatta som är 300mm i diameter. Kraftpulsens är 50kN och används vid mätning på färdigt vägobjekt men kan även justeras vid exempelvis mätning på terrass eller bestämmnings av spänningsberoende egenskaper. (Vägverket, 1998)

Storleken på kraftpulsens beror av olika faktorer som kan uppdelas med avseende på två huvudsakliga omständigheter: Utrustning och omgivning. Utrustning utgörs av faktorer som kan styras och kontrolleras medan omgivning är mindre styrbara till icke styrbara faktorer.

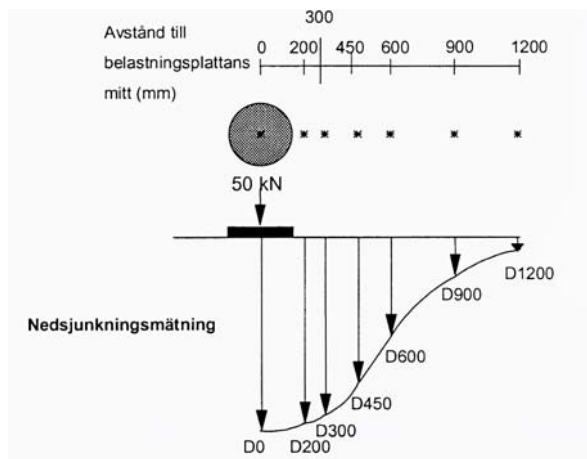
Exempel på väsentlig input:

- Fjädersystemets egenskaper (dämpningseffekt)
- Fallhöjd och Fallvikt
- Belastningsplattans storlek

Exempel på väsentlig output:

- Testmaterialets styvhet (delvis styvbar)
- Klimatförhållande (tidsberoende)
- Markförhållande (tidsberoende)

Den maximala deflektionen på vägytan under stöten registreras automatiskt av givare på olika avstånd ifrån plattcentrum. Centrumgivare mäter den sammanlagda deflektionen direkt under ytan medan de yttre givarna mäter deflektioner i olika jordlager, se Figur 3-15. Diagrammet av deflektioner kallas "nedsjunkningsbassäng" eller sjunktratt". Nedsjunkningsbassängen kan bland annat användas för passberäkningen av deformationsmoduler och töjningar. (Mårtensson & Lenngren, 2003)



Figur 3-15 Nedsjunkningsbassäng (Vägverket, 1998)

Temperaturen i beläggningen och luften registreras med en termometer. Det saknar dock rekommenderad temperatur för mätning på obundna material i vägkonstruktionen. Förutsättningen är att det obundna materialet är otjälade såvida inte syftet är att studera förhållandena specifikt under tjällossning.

Det finns ett antal fallviktsstillverkare att tillgå på marknaden idag. I stora drag fungerar apparaterna på samma sätt, men det är viktigt att känna till att fallviktsutrustning från två olika fabriker under vissa förhållanden kan ge olika resultat. Detta gäller i första hand bestämning av asfaltbundna lagers modul, vilken är beroende av kraftpulsens varaktighet. De olikheterna kan därmed leda till varierade kraftpuls och deflektioner mellan olika fabrikanter. I detta examensarbete fokuseras fallviktsmätningen på KUAB 50.

Vägkonstruktionens styvhet kan beskrivas med ytmodul enligt ekvation nedan:

$$E_0 = \frac{1000 \cdot f \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot a}{D_0} \quad [\text{MPa}] \quad (3.8)$$

där

E_0 = ytmodul [MPa]

f = faktor för spänningsfördelning (Ullidtz, 1998), Segmenterad belastningsplatta: 2,

Styv belastningsplatta: $\pi/2$, Granulärt material: $8/3$, Kohesivt material: $4/3$

ν = Poissons tal eller tvärkontraktionstal. Hårt material: 0,15 (ex. betong) Mjuk material: 0,5 (ex. lera)

Om inte Poissons talet är specificerat, används värdet 0,35 enligt Vägverket.

σ_0 = medelnormalspänningen under plattan [MPa]

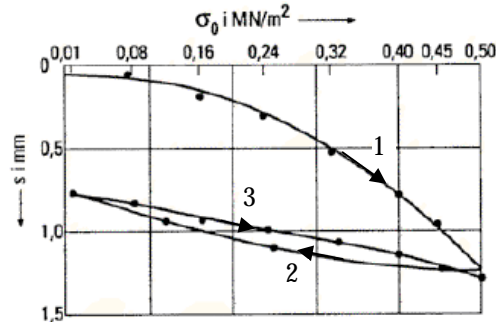
a = belastningsplattans radie [mm]

D_0 = Deflektionen vid centrumgivare [mm]

Vid beräkning av E-moduler antas en linjärelastisk responsmodell på grund av komplexitet av jordstruktur. Materialen betraktas som homogena och isotropa. (Vägverket, 2000)

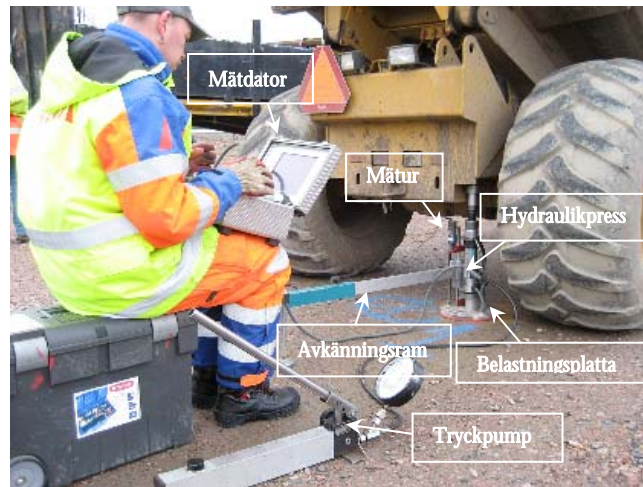
3.4.2 Statisk plattbelastning (PLT)

Efter slutförd packning på ett materiallager används oftast statisk plattbelastning till att bestämma lagrets deformationsegenskaper. Mätmetoden innebär upprepade tryck på en cirkulär platta med stegvis på- och avlastningar. Sättningarna registreras och redovisas i ett så kallat tryck - sättningsdiagram, se Figur 3-16. (Vägverket, 1993)



Figur 3-16 Tryck - sättningsdiagram (Vägverket, 1993)

Statisk plattbelastning utförs med belastning (pil 1 & 3) i två omgångar med en avlastning (pil 2) mellan pålastningarna. Belastningen påförs med stegvis spänningsökning. Trycksättningslinjer från första samt andra pålastningen kan användas för att beräkna elastisk och plastisk deformationsmodul, E_{v2} respektive E_{v1} . Kvoten mellan deformationsmodulerna E_{v2}/E_{v1} utvärderas för att bedöma packningskvaliteten. En hög kvot indikerar ett dåligt packat material. (Vägverket, 1993)



Figur 3-17 Statisk plattbelastning, fotograferad vid fältmätningen

Vid belastningsförsök behövs ett motvikt som är 4,5 ton större än den högsta provlasten under belastningen. Lämpliga motvikt kan vara en lastbil, traktor alternativt ett tungt fordon. För en belastningsplatta på 300mm i diameter belastas jordmaterialet tills normalspänningen har uppnått 0,5MPa eller sättningen har uppnått 5mm. Vid användning av större belastningsplatta höjs gränsen för den maximala normalspänningen och sättningen. (Vägverket, 1993)

Trycksättningslinjer beräknas enligt följande ekvation 3.9 (Vägverket, 1993):

$$S = a_0 + a_1 \sigma_0 + a_2 \sigma_0^2 \quad [\text{mm}] \quad (3.9)$$

där

S = sättning under belastningsplattans centrum [mm]

σ_0 = medelnormalspänningen under plattan [MPa]

a_0, a_1, a_2 = konstanter som bestäms med minsta kvadratmetoden [-]

Efter framtagning av trycksättnings sambandet kan deformationsmoduler bestämmas med ekvation 3.10.

$$E_v = 1,5 \cdot r \cdot \frac{1}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{1,max}} \quad [\text{MPa}] \quad (3.10)$$

där

E_v = Deformationsmodul [MPa]

r = radie för belastningsplatta [mm]

$\sigma_{1,max}$ = Maximal medelnormalspänning vid första belastning [MPa]

3.4.3 Lätt fallvikt (LWD)

Den tyska lätta fallvikten är en enkel och snabb kontrollmetod för att mäta packningskvalité på en beläggning. Mätresultatet är sättningar som med enkla ekvationer beräknas till deformationsmodul E_{vd} . Den lätta fallvikten är lämpat för att användas i grovkorniga och blandade jordmaterial med stenstorlek upp till 63 mm. Metoden är därför användbart för mätning på bland annat obundet bär- och förstärkningslager.

Fallvikten väger 10 kg och faller från en bestämd höjd på ett fjädersystem. Fallvikten faller mot en belastningsplatta på diameter på 300mm och kan skapa en maximal kraft är 7,07 kN under en belastningstid på ca 18 ms. Mätintervall för sättning och deformationsmodul är 0,2 – 10 mm \pm 0,01 mm respektive 0-125 MPa. Intervallet kan variera beroende på fabrikat. Fallvikten är även utrustad med en dosa för mätning och kalibrering samt en printer för utskrift av mätresultat.

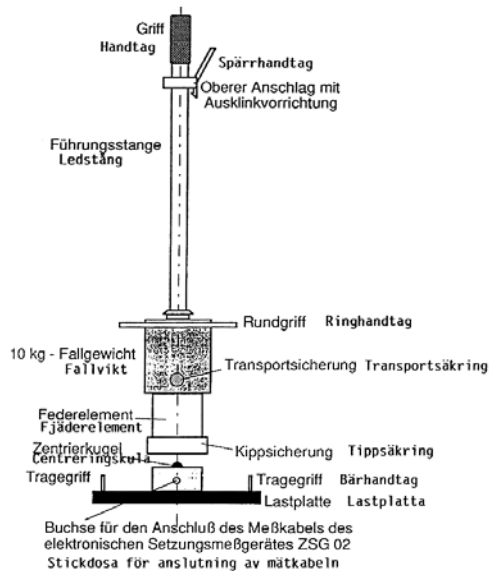


Figur 3-18 Utrustningar för lätt fallvikt, fotograferad vid fältmätningen

Den tyska lätta fallvikten kan användas som alternativ till statisk plattbelastning enligt VVTR Väg. Gentemot statisk plattbelastning har den lätta fallvikten följande fördelar:

- Varken mothåll eller stativ behövs
- Mätning kan utföras på ogynnsamma lägen som är trångt eller svårtillgänglig för plattbelastning
- Lätt att hantera både i utförande och transport
- Relativ kort tid per mätpunkt, ca 3min

Olika delar av den tyska lätta fallvikten redovisas översiktligt i Figur 3-18. Ingående detaljer på fallviktsutrustningen visas i Figur 3-19



Figur 3-19 Utrustningsbeskrivning av tysk lätt fallvikt

Den dynamiska deformationsmodulen beräknas utifrån medelvärdet av tre sättningsamplituder:

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\delta}{s} = \frac{22,5}{s} \quad [\text{MPa}] \quad (3.11)$$

där

- Evd = dynamisk deformationsmodul [MPa]
- R = Radie för belastningsplatta, motsvarar 150mm
- δ = dynamisk belastning, motsvarar 0,1 MPa
- s = sättning [mm]

3.4.4 Statistisk utvärdering

Eftersom det inte är möjligt att utföra bärighets-/packningskontroll på hela vägsträckan, utförs mätningarna som stickprovskontroll. Relevanta mätresultatet används sedan till att representera vägens bärighet. För att säkerställa att stickprovskontrollen är tillräckliga för att vara representativ utförs en statistisk utvärdering. I traditionell jordpackningsteknik används inte statistisk utvärdering. Kontrollen utgörs av instampningsprov vilket används till att bestämma packningsgrad. Vid icke-godkänd kontroll fortsätter packningen och i värsta fall kan det utlagda materialet bytas ut. (Forsblad, 2000)

Vägverkets statistiska acceptanskontroll bygger på fem principer:

1. Avgränsar vad som kontrolleras, så kallad kontrollobjekt.
2. Identifierar en eller flera mätbara karaktäristiska egenskaper hos kontrollobjektet.
3. Bestäm ett sätt att mäta kontrollobjektet utifrån karaktäristiska egenskaper så att mätresultat kan anses representativ för hela kontrollobjektet.
4. Mätningar genomförs som stickprov. För det framtagna mätresultatet beräknas statistiska variabler, exempelvis medelvärde och standardavvikelse.
5. Jämför framräknade statistiska variabler med uppställda acceptanskriterier

Medelvärde är ett känt statistiskt mått som indikerar det förväntade värdet av ett stickprov. Definitionen på medelvärde beskrivs med följande ekvation 3.12:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [\text{var.}] \quad (3.12)$$

där

n = antalet värden

i = index som genomlöper alla värden 1,2,3...n

Standardavvikelse är ett statistiskt mått på variabilitet (spridningen) av en mängd värden. En hög standardavvikelse indikerar att värdena har en stor spridning och kan kräva fler mätningar för att erhålla en större pålitlighet. Standardavvikelse definieras som följande formel:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad [\text{var.}] \quad (3.13)$$

$$s = \sqrt{s^2}$$

där

s = standardavvikelse [var.]

Vidare statistisk utvärdering utförs med punktskattning "stickprov i par" utförs på signifikantnivå $\alpha = 0,05$ och undersöker om det finns någon systematisk skillnad mellan två mätvärden. För att kunna utföra testet, antas mätvärdena vara normalfördelade. Resultatet är en konfidensintervall som analyseras med hypotestest. Den statistiska modellen är:

$$z_i = y_i - x_i \in N(\Delta, \sigma)$$

där

z = differensen mellan jämförande värden

$$I_{\mu} = \left(\bar{z} - t_{\alpha/2}(n-2) \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{z} + t_{\alpha/2}(n-2) \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad [-] \quad (3.14)$$

där

I_{μ} = konfidensintervall

\bar{x} = medelvärdet av mätvärdena

$t_{\alpha/2}$ = t - fördelning

n = antalet mätvärden

σ = standardavvikelse

Hypotestest är: Nollhypotes $H_0 : z = 0$, ingen skillnad finns

Moithypotes $H_1 : z \neq 0$, kan inte utesluta att skillnaden inte finns

3.4.5 Bärighetskrav från Vägverket

Definitionen på bärighet enligt ATB VÄG är "Högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer". Kriterierna för vägkonstruktioner ställs på horisontell dragtöjning i bitumenbunden beläggnings underkant och vertikal trycktöjning på terrassens yta. Bärighetskrav är inget fast värde utan varierar under året på grund av klimatpåverkan i vägkroppen (Vägverket, 2003)

Vid nybyggnation ställs utförandekrav på obundna överbyggnadslager och terrassyta utifrån materiallagrets deformationsmodul. Måtförfarande hänvisas till VVMB 908, VVMB 606 samt VVMB 603 som behandlar statistisk acceptanskontroll, statisk plattbelastning respektive yttäckande packningskontroll. Bärighet på vägkonstruktionen blir således tillfredställande då utförandekrav är uppfyllda. Utförandekrav gäller för vägar med $\dot{A}DT_{tot} \geq 2000$ för den vägdel som är $\geq 5000 \text{ m}^2$, se exempelurklipp ifrån föreskrift VVTBT obundna lager i Tabell 3-1. (Vägverket, 2007)

Tabell 3-1 Bärighetskrav för olika materiallager vid nybyggnad med statistisk acceptanskontroll (Vägverket, 2007)

Jordterrass		
500 - 550 mm under obunden bärageryta = underkant f-lagermaterial	n=8	$\bar{X}_{E_{v2}} \geq 40 + 0,96 \cdot s$
	n=5	$\bar{X}_{E_{v2}} \geq 40 + 0,83 \cdot s$
	G_f om $x_{iE_{v2}} < 32 \text{ MPa}$	
551 - 650 mm under obunden bärageryta = underkant f-lagermaterial		
	n=8	$\bar{X}_{E_{v2}} \geq 30 + 0,96 \cdot s$
	n=5	$\bar{X}_{E_{v2}} \geq 30 + 0,83 \cdot s$
	G_f om $x_{iE_{v2}} < 20 \text{ MPa}$	
651 - 750 mm under obunden bärageryta = underkant f-lagermaterial		
	n=8	$\bar{X}_{E_{v2}} \geq 20 + 0,96 \cdot s$
	n=5	$\bar{X}_{E_{v2}} \geq 20 + 0,83 \cdot s$
	G_f om $x_{iE_{v2}} < 15 \text{ MPa}$	
Skyddslager >250mm		
	n = 8	$\bar{X}_{E_{v2}} \geq 40 + 0,96 \cdot s$
	n = 5	$\bar{X}_{E_{v2}} \geq 40 + 0,83 \cdot s$
	<i>I varje enskild kontrollpunkt:</i>	
	Om $E_{v2} \leq 40 \text{ MPa}$: $E_{v2}/E_{v1} \leq 3,5$	
	Om $E_{v2} > 40 \text{ MPa}$: $E_{v2}/E_{v1} \leq 1 + 0,063 \cdot E_{v2}$	
	Antal godkända kontrollpunkter ska vara minst 7 av 8, respektive minst 4 av 5.	
	G_f om $x_i < 32 \text{ MPa}$	
Bärlager eller Översta obundna lagret		
	n = 8	$\bar{X}_{E_{v2}} \geq 140 + 0,96 \cdot s$
	n = 5	$\bar{X}_{E_{v2}} \geq 140 + 0,83 \cdot s$
	<i>I varje enskild kontrollpunkt:</i>	
	Om $E_{v2} \leq 140 \text{ MPa}$: $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,8$	
	Om $E_{v2} > 140 \text{ MPa}$: $E_{v2}/E_{v1} \leq 1 + 0,013 \cdot E_{v2}$	
	Antal godkända kontrollpunkter ska vara minst 7 av 8, respektive minst 4 av 5.	
	G_f om $x_i < 125 \text{ MPa}$	

Enligt Vägverkets föreskrifter ställs utförandekrav utifrån mätning med statisk plattbelastning eller yttäckande packningskontroll. Den tyska lätta fallvikten anses kunna användas som en alternativ mätmetod till statisk plattbelastning om likvärdigt resultat kan påvisas. På förstärkningslager är det ovanligt att man utför bärighetskontroll därför utgår man ifrån de kritiska punkterna på terrass respektive bärlager. Det finns heller inga lagstarka krav ställda från Vägverket på den tunga fallvikten FWD 50kN.

4. TIDIGARE FORSKNING

4.1 Fallvikt

Fallvikutrustning (FWD) är en icke-förstörande mätmetod som används internationellt. Metoden har många fördelar, bland annat möjligheten att kunna återskapa lagerstruktur och lageregenskaper med hjälp av passberäkning. Traditionellt analyseras fallviktsdata med passberäkning metoder utan att ta hänsyn till de tidsberoende informationer som genereras vid en dynamisk belastning. I följande kapitel behandlas de ingående parametrar som är karaktäristiska för fallviktsmätning.

4.1.1 Belastningstid

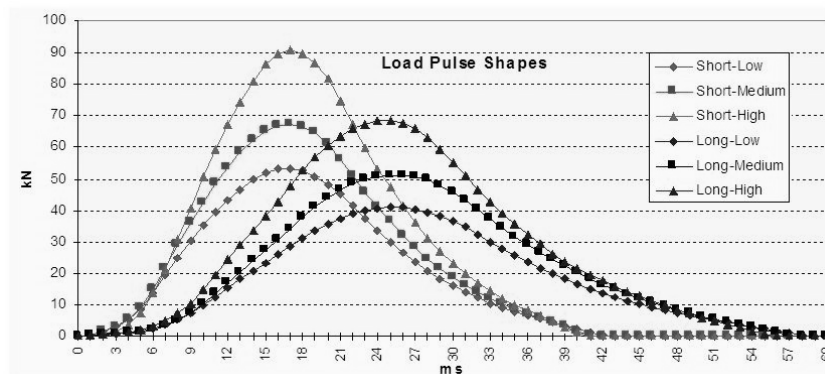
Belastningstiden är en väsentlig faktor som förklarar hur en fallviktsbelastning skapar ett spänningstillstånd som liknar hjulbelastningen från en lastbil. En lång belastningstid reflekterar en långsam körande lastbil medan en kortare belastningstid reflekterar en lastbil som körs på en höghastighets motorväg. Belastningstid kan därför vara avgörande för hur man vill simulera lastbiltrafik. (Lenngren, 2009)

Definition på belastningstiden är tiden fr.o.m. kraftpulsens ökat till 5 % av sitt maxvärde vid pålastning till den tidpunkt då kraften sjunkit till 10 % av maxvärdet vid avlastning. Normalt bör belastningstiden ligga mellan 1,8 och 2,5 gånger pålastningstiden. Pålastningstiden ska vara minst 10 ms, registrerad på tiden för 5 % till 95 % av kraftpulsens maxvärde. En vanlig belastningstid för FWD 50kN ligger mellan 25ms och 30ms. (Vägverket, 1998)

Belastningstiden kan styras av tillverkarens arrangemang av last och fjädrar i fallviktsutrustning (Gummidämpning). Företaget KUAB har konstruerat en FWD-utrustning med ett tvåmassa – system(2m-FWD) som kan generera en lastpuls likt ett 5 tons hjul i 70 km/h. Belastningstiden kan uppgå till 60ms eller ännu längre beroende på inställningen i maskinen och testmaterialets struktur. Sälunda kan belastningstiden variera mellan olika FWD – fabrikat.

Faktum att en kort belastningstid reflekterar ett snabbkörande fordon skapar intresse av att utföra mätningar på korta kraftpulser. Det finns dock några parametrar som bör beaktas. Bland annat föreligger okunskap om masströghetens effekt då jordstrukturen är svårt att definiera. På vattenmättat material kan det även vara svårt att identifiera mjuka lager då utpressning av vattnet kräver en längre belastningstid. För jordmaterialet som ligger i djupet är belastningen från en snabbkörande fordon i själva verket inte alls snabb. För studier av undergrundens bärighet, är det således lämpligare att använda en längre belastningstid. (Lenngren, 2009)

I figuren nedan visas sex olika belastningshistorik (Time history) som registrerades på två belastningssätt i tre olika fallhöjder. Vid samma toppvärde, för den längre belastningen konsumeras mer arbete eftersom nedpressningen sker under en längre tid. Det krävs alltså en högre fallhöjd och därmed mer potentiell energi för att åstadkomma detta.

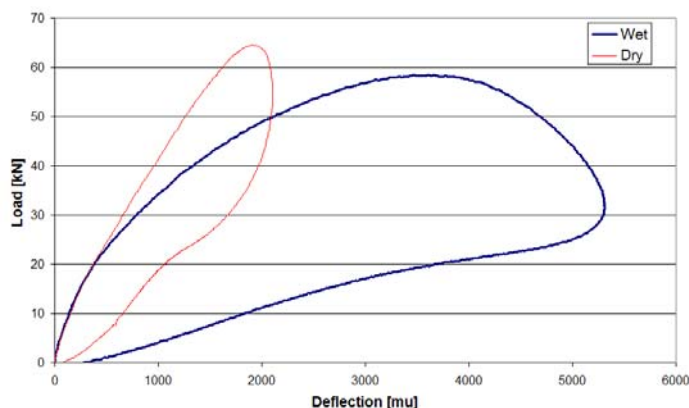


Figur 4-1 Olika kraftpulser gentemot olika kraftstorlekar (Lenngren, 2009)

4.1.2 Time history

Vid analys av mätdata används vanligtvis maximum av den uppmätta deflektionen respektive belastningen till att bestämma deformationsmodul. I många avseenden finns det intresse av att utvärdera belastningsförloppet, så kallad "time history". Mätning med alternativet time history innebär registrering på utveckling av deflektion och kraftpuls under belastningsförloppet.

Belastningsförloppet under ett fallviktsförsök på obundet material kan exempelvis avslöja vatteninnehållet i materialet, se Figur 4-2. Figuren visar två kurvor som bildades av mätning på våt respektive torrt material. I det fallet där materialet var våt visas en tydlig fördröjning av maximal belastning och maximal deflektion, se även illustrationen i Figur 4-3. Även en plastisk deformation har utvecklats under belastningen, se ingående förklaring i kapitel 3.1.11. I det andra fallet var materialet tillräckligt torrt och därför visar en god elastisk beteende.

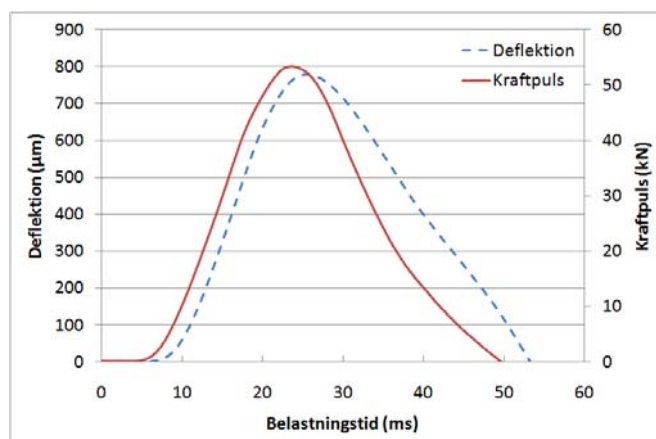


Figur 4-2 Time history för mätning på obunden material i torrt och våt tillstånd (Lenngren, 2007)

En hysteresiskurva som nämndes i kapitel 3.1.11 är sålunda en princip av time history som beskriver hur förhållandet mellan lasten och deflektionen utvecklar sig under en belastningscykel. Figuren ovan visar exempel på hur time history kan se ut vid en fallviktsmätning. Utseende på kurvorna kan se väldigt olika ut beroende på olika faktorer, bland annat markförhållande och klimatförhållande. Att enbart ta fram och utnyttja toppvärdena ifrån mätresultat kan därför vara missledande och riskera förlorandet av en mängd information från time history som kan påverka analysen.

4.1.3 Tidsförskjutning

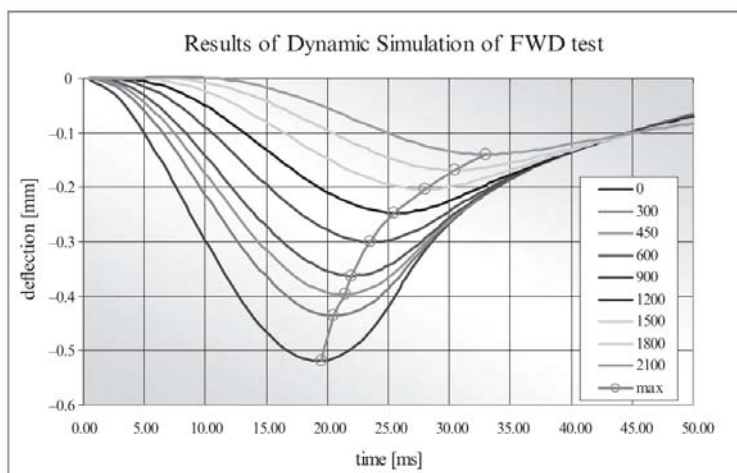
Under en belastningscykel utvecklas kraftpulsens och deflektionens maximala värde och till slut återgår till sitt ursprungsvärde. Det föreligger dock en tidsförskjutning mellan kraftpulsens och deflektionens maximala värde, det vill säga högsta spänning och maximal deflektion inte infaller i samma punkt. Fenomenet beror av en tröghet (inertia) i jordmaterialet som behandlades i kapitel 3.1.12.



Figur 4-3 Kraft- och deflektionsutveckling under en belastningscykel

I Figur 4-3 visas en tydlig tidsförskjutning mellan belastningen och deflektionen. Förskjutningen kan variera beroende på materialets tillstånd och egenskaper samt fallviktsutförandet. I fallet där ett jordmaterial innehåller mycket vatten är trögheten stor och få därmed en stor förskjutning, se högsta värdet på belastningen och deflektionen i Figur 4-2.

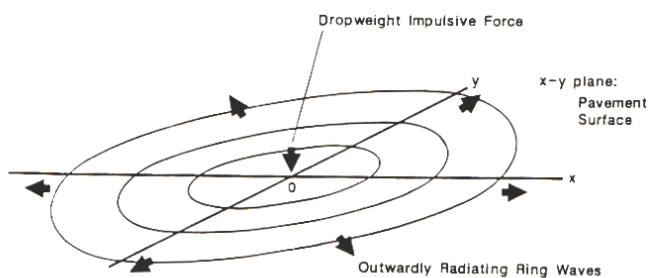
Förutom tidsfördröjning mellan kraft och deflektion, finns även tidsfördröjning mellan de olika seismometrarna. Diagrammet i Figur 4-4 illustrera datorsimulerad deflektioner från de olika seismometrarna. Deflektionstoppar (Ringmarkering) har tydliga tidsförskjutningar som ökar ju längre avstånd seismometer befinner sig från belastningscentrum. Som tidigare nämnde är tidsförskjutningen beroende av trögheten i jordmassan samt de viskoelastiska effekterna. (FEHRL, 1991)



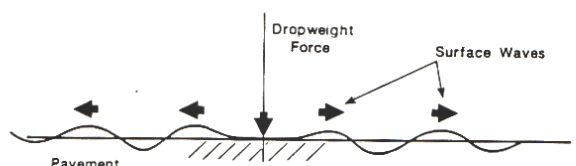
Figur 4-4 Analyserade mätresultat ifrån FWD:s mätning (Lenngren, 2009)

4.1.4 Vågrörelser

Den dynamiska rörelsen vid fallviktsbelastning på markytan kan betraktas som en stenkast i vattnet. Med blotta ögon kan man observera ytvågor eller så kallad Rayleigh vågor som breder ut sig ifrån träffcentrumet av stenkastet. Rayleigh vågor är benämning på ringvågor som fortplantar sig utåt ifrån ett centrum. Ett fallviktslag på jordytan skapar således Rayleigh vågor som utbreder ifrån belastningscentrumet, se Figur 4-5. (Magnusson, 1993)



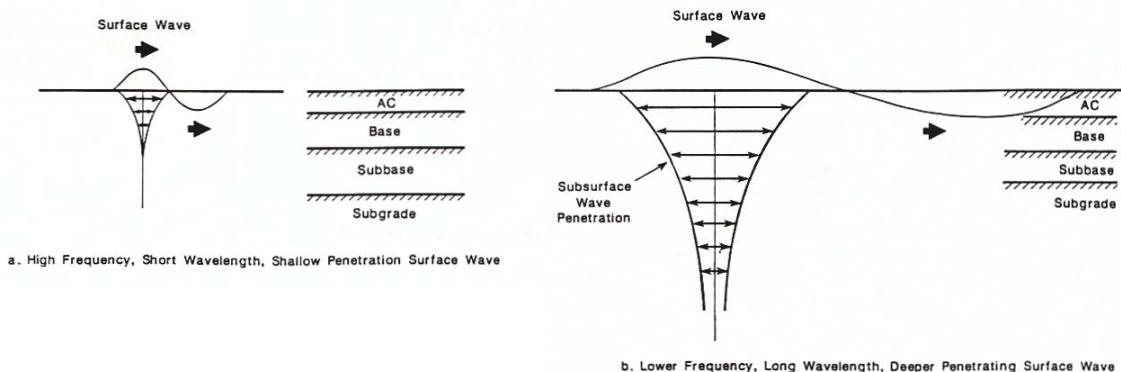
a. Three-Dimensional Picture of Surface Waves



b. Cross-Section View of Surface Waves

Figur 4-5 Ytvåguytbredning vid fallviktsbelastning (Magnusson, 1993)

Rayleigh vågor är en typ av vågrörelse som förhåller sig till frekvens och våglängd. Under ett fallviktslag genereras Rayleigh vågor som kan skiljas mellan låg frekvens och hög frekvens. För ett lågfrekvent fallviktslag ske penetrationen djupt ner i jorden medan högfrekventa fallviktslag har ytlig penetration, se Figur 4-6. Detta innebär kort våglängd är mer känslig på markytan och influera ett mindre område medan en lång våglängd influera mer på de undre materiallager. (Magnusson, 1993)



Figur 4-6 Ytvägspenetration i vägkonstruktion vid fallviktsbelastning (Magnusson, 1993)

Spänningsbilden för dränerade obundna granulära material kan förenklas med trattformen som illustreras i Figur 4-6. Eftersom vägutbredning är väldigt beroende på egenskaper i medium kan förenklingen av trattformen inte tillämpas vid exempelvis vattenmättat material. Vattnet i jordmaterial skulle således skapa andra egenskaper som förändrar spänningsbilden. Anders Lenngren

4.1.5 Repeterbarhet och reproducerbarhet

Det finns två parametrar som mäter likvärdighet på mätresultat från olika fallviktslag. Den ena är repeterbarhet (Repeatability) och den andra är reproducerbarhet (Reproducibility). Repeterbarhet innebär att fallviktslag upprepas tills slaget ger en deflektion som är lika (diff-5 %) med förra medan reproducerbarhet är mätt på hur väl mätningarna som utförs med flera olika mätutrustningar på samma objekt kan ge samma resultat. Mårtensson Bertil

Van Gurp (1994) beskriver väl för en annan definition av repeterbarhet som FWD:s kapacitet att reproducera kalkylerad deflektionsbassäng under en serie av upprepade fallviktslag utan upplyft av plattan. Studien kommitté P7 har specificerats tolerans för variationen i belastning och deflektion vid analys av repeterbarhet:

- Standardavvikelse för uppmätta belastningar som upprepas bör ha en tolerans på $\pm 160\text{N}$ eller $\pm 2\%$ jämfört med medelvärdet av de uppmätta värdena
- Standardavvikelse för uppmätta deflektioner bör ha en tolerans på $\pm 2\mu\text{m}$ eller $1,25\%$ of medelvärde av de uppmätta värdena

Gällande reproducerbarhet finns det utförda studier som påvisade att kraftpulsens har stor påverkan på storleken av deflektion. Eventuellt kan bestämning av kraftpulsens karaktärer reducera variationen i deflektioner som registreras från olika fallviktsutrustningar. Kraftpulsens kan karakteriseras av pulsbredd, pulsarea, lutning vid pålastning och så vidare. Förutom kraftpulsens roll påpekade studien även att det finns systematiska variationer mellan olika fallviktsutrustningar. (Van Gurp, 1994)

4.1.6 Konditionering

För ett idealt elastiskt material gör det ingen skillnad att upprepa fallviktslag på en och samma mätplats. Däremot i verklighet kan upprepade fallviktslag bidra till att öka elasticitetsmodul samtidigt som deflektionen reduceras. (Lenngren, 2007)

För att uppnå ett realistiskt och pålitligt mätresultat, är det viktigt att konditionera materialet före de egentliga mätningarna. Genom att utnyttja den fördelen att fallviktslag går relativt fort, utförs fallviktsmätningar oftast

med ett sättningsslag. Det finns tre anledningar av att utföra sättningsslaget. Första orsak är att givarna ska få en god kontakt med markytan så att de mätta deflektionerna är realistiska. Andra orsak är att packa materialet ordentligt för att hålla en god kontakt mellan plattan och markytan. Sista orsak beror på att det finns restspänningar orsakad av olika belastningar och temperatureffekter i det testade materialet. Det sistnämnda kallas speciellt för "spänningskonditionering" (Lenngren, 2007)

Sättningsslaget bör utföras med en hög belastning då syftet är att mäta den elastiska responsen. Dels för att trafikbelastning genererar materialspänningar som är lägre än dem vid packningen, dels för att undvika eventuella modulökningar som beror på dåligt packad material. Som tidigare nämndes, finns det restspänningar i materialet som kan elimineras genom ett högbelastat sättningsslag. (Lenngren, 2007)

4.1.7 Test på underbyggnad

Mycket forskning är genomförda inom fallviktsmetoden. Tester direkt på terrassen har påvisat två problem vid mätningen (Lenngren et al., 1993):

1. Materialet är ofta alltför ojämnt för att sensorerna ska ha en tillräcklig bra kontakt med markytan
2. På jordar kan deformationsegenskaperna plötsligen förändras på grund av uttorkning alternativt vattenabsorbition.

En lösning på problemen enligt Lenngren m.fl.(1993) är att lägga ett material med kända egenskaper, exempelvis en träplanka ovanpå kontrollytan. Därmed kan sensorerna ha god kontakt med ett plant material. Metoden kan dock ifrågasättas eftersom plankan inte är kopplad till lermaterial och kan röra sig fritt så att deflektionen påverkas. I så fall krävs en modell som ta hänsyn till att friktion inte råder mellan träplankan och markytan.

4.1.8 Styrka och svaghet

Som tidigare nämnts bärighetskontroller kan utföras med FWD utan att förstöra materialet. FWD är även betydligt mer ekonomisk och snabbare jämfört med PLT.

Det finns även fler fördelar att använda FWD:

1. Väg- och jordmaterial som testas förblir ostörd
2. FWD-data reflekterar det verkliga tredje-dimensionella spänningsförhållandet i materialet
3. Belastning med FWD efterliknar en lastbils hjullast
4. Man kan bestämma egenskaper för olika lager på djupet

Första punkten innebär att i samband med laboriemetod kan jordmaterialets egenskaper och förhållanden ha förändrats vid provtagning medan FWD utför test in-situ utan störningar på testmaterialet. Det är också en fördel att materialegenskaper kan tas fram i ett verkligt tredje-dimensionella spänningsförhållande. Speciellt gäller mätning på obundna material då dess spänningsförhållande är olinjärt vid statisk och dynamisk belastningar. (Magnuson, 1993)

Den stora fördelen med FWD är att fallviktsbelastningen liknar en lastbils hjullast, vilket ger en uppfattning om vägens beteende vid verkliga trafiklast. Att kunna bestämma olika materiallayers egenskaper är också en styrka som tillåter bestämning av underliggande materiallager efter påförda beläggningar. Under ett vägprojekt i Marieholm har Anders Lenngren lyckats utifrån fallviktsdata återskapa plattbelastningsvärden på terrassytan med avancerade modeller.

Förutom ovannämnda styrkor finns det omständigheter som innebär osäkerheter med FWD-mätningar. Många undersökningar har konstaterat att det föreligger variationer i mätdata som beror av ett flertal faktorer. Med antagande av elasticitetsteorin finns följande faktorer som ge upphov till variationer (Van Deusen et al., 1994):

1. Ofullständig sensorkontakt ger upphov till felaktiga deflektionsvärden
2. Ofullständig plattkontakt ger upphov till ojämn ytspänningsfördelning som i sin tur påverkar mätresultatet från andra sensorer
3. Upprepade fallviktsbelastningar på obundna granulära material kan leda till att jordmaterialets egenskaper förändras

Frågan om den tunga fallvikts pålitlighet är därför kontroversiell. Under flera decennier har ingenjörer och vetenskapsmän påvisat skillnader i mätningar som berodde bland annat på fabrikat av FWD, årstid då mätningarna utfördes och inställningar vid fallviktsmätningar (plattstorlek, spänningsnivå, slagserien etc.)

4.2 Statisk vs dynamisk last

Statisk plattbelastning har länge varit dominerande som in-situ mätningssätt för obundet granulära material. En enklare och snabbare mätningssätt är önskvärd då statisk plattbelastning är mycket tidskrävande vilket i regel medför en alltför skral statistisk täckning av mätobjekten. Det finns speciellt många utvärderingar med den lätta fallvikten med anledning av att denna mätmetod är snabbare och kan vara tillgänglig på området där statisk plattbelastning har svårt att komma åt. Zoltan Tompai (2008) påpekar dock att det är fortfarande begränsade tillämpningar av lätt fallvikt och den används huvudsakligen vid låg prioriterade områden som exempelvis vägren och dike där statisk plattbelastning är svår att utföra. I Sverige finns VVTR Väg som rådgivning för hur lätt fallvikt kan användas istället för statisk plattbelastning i bärighetsutredning. I verkligheten tillämpas den lätta fallvikten endast marginellt och använts enbart för att snabbt utföra packningskontroll under byggtid.

Den lätta fallvikten har dock en lätt tyngd, och dess djupverkan är relativt begränsad. Därför ifrågasätts metodens förmåga för att ge uppfattning om bärighet på hela konstruktionen. Den tunga fallvikten (FWD) har däremot en djupverkan på åtskilliga meter. Djupet beror på materialen och belastningens storlek. FWD använts vanligtvis på asfaltbeläggning för att verifiera vägkroppens tillstånd. För att tillämpa FWD även i obundet material undersöks korrelationen mellan elasticitetsmoduler från FWD respektive PLT. Undersökningar visar dock varierande resultat på grund av skillnader mellan materialen samt skillnader mellan fallviktsutrustningarna. Men FWD har på senaste åren utvecklats och kan åstadkomma en relativt jämn belastning. Därmed finns anledning att utföra fler undersökningar.

4.2.1 Korrelation mellan statisk och dynamisk elasticitetsmodul

Ett vanligt sätt att jämföra PLT med LWD/FWD är att hitta ett korrelations samband mellan den statiska elasticitetsmodulen (E_s) och den dynamiska elasticitetsmodulen (E_{vd}). I många fall har det påvisats att en korrelation återfinns mellan den statiska och dynamiska elasticitetsmodulen. Slutmålet är att kunna hitta ett generellt samband men det finns svårigheter med tanke på skillnader i:

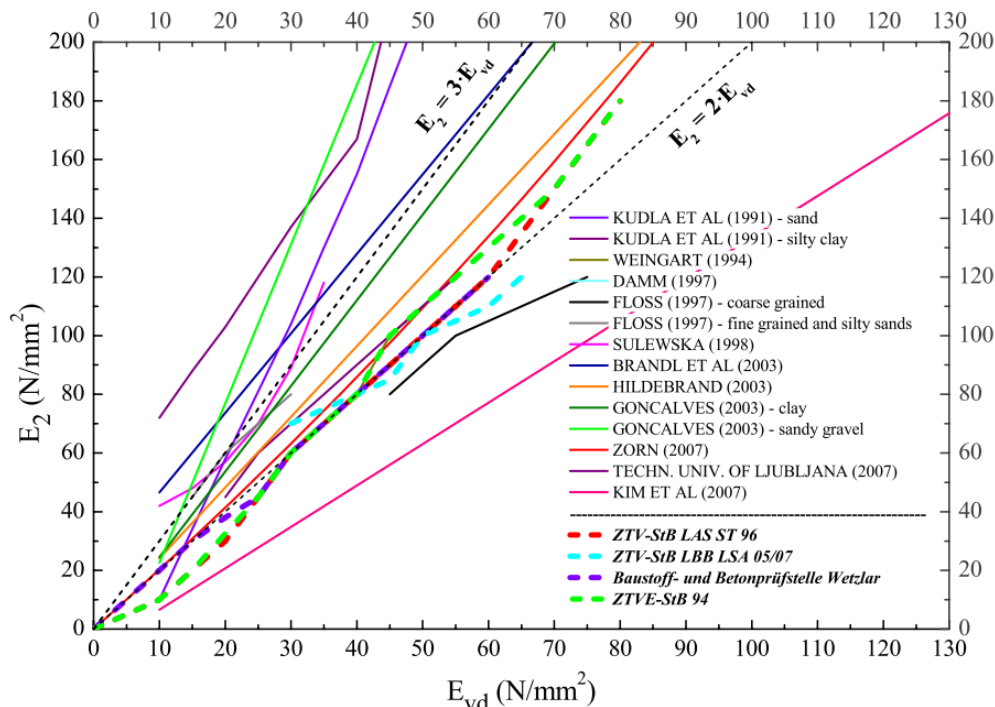
- dynamiken för PLT och LWD/FWD
- jordmaterial vid olika mätningstillfällen
- klimat-/markförhållande
- olika fallviktsutrustningar

På terrassytor med blandkorniga och finkorniga jordmaterial har flera undersökningar visat relativt goda korrelations samband mellan elasticitetsmodulen från den lätta tyska fallvikten LWD och PLT. Motsvarande resultat kunde även påvisas med den finska lätta fallviktsmätare av typ Loadman. Det framtagna sambandet är $E_{v2} = 1,4 E_{vd}$. På grovkorniga jordmaterial är elasticitetsmodulen från de lätta fallviktsmätningarna något lägre än de från statisk plattbelastning och har sambandet $E_{v2} = 2E_{vd}$. (Forssblad, 2001)

LWD vs PLT

I en rapport skriven av Zoltán Tompai (2008) sammanställdes ett flertal undersökningar utförda från olika länder. Undersökningarna är utförda på olika jordarter och ett flertal visar likartade korrelation mellan den

lätta tyska fallvikten (LWD) och PLT, se Figur 4-7. Tillättna värden från de tyska standarderna är ritade som fetstilade och streckade linjer. Tyska standardlinjerna är koncentrerade kring referenslinjen som har en proportionalitet på två. Bortse från två linjer som ligger isär, visar diagrammet att de flesta korrelationslinjer har en proportionalitet som ligger över två. Tyska standarden antar alltså en lägre proportionalitet för att sätta gräns för de dynamiska värden, vilket anses som säkerhetsmarginaler.



Figur 4-7 Korrelationssamband framställda från olika internationella referenser (Tompai, 2007)

Rapporten framställde även en förbättrad version av den ungerska korrelationssamband "Baksay formula". Förslag på den nya versionen är $E_{v2} = 0,62E_{vd}$ ($R^2 = 0,67 - 0,69$) och korrelationen är baserade på olika terrassmaterialtyper. (Tompai, 2008)

I kapitel 4.1.2 förklarades att deformationsmodulen vanligtvis bestäms med toppvärdena på deflektionen och belastningen från fallviktsdata. Lindberg och Lindfors (2008) har med nytänkandet undersökt deformationsmodul som framtas utifrån avlastningskurva, d v s den återgående delen av hysteresiskurva. Resultatet visar att metoden möjligen kan eliminera de initiala plastiska deformationerna och åstadkomma en deformationsmodul utifrån en bättre elastisk respons. I försöket med att hitta en korrelation mellan LWD och PLT visar även en mindre spridning med avlastningsvärdena jämfört med att använda toppvärdena. Det krävs dock en mer omfattande statistiska undersökningar för att styrka metoden.

FWD vs PLT

En utvärdering av tung fallvikt (50 kN) som alternativ till statisk plattbelastning genomfördes av Magnus Ahlcrona (2001). Mätningarna utfördes på totalt 93 mätpunkter på tre materiallager med FWD och PLT. De slutliga framtagna korrelationssambanden är baserad på utvalda mätpunkter med hänsyn till avvikelser i vissa mätpunkter. Mätningproceduren är att fallviktsmätning utförs först och därefter plattbelastning med en tidintervall mellan 15 minuter till 3 timmar. Mätningar kan därför ifrågasättas om testmaterialet hinner förändra sig mellan mätningarna. En sammanställning av resultat från respektive materiallager visas på tabellen nedan:

Tabell 4-1 Sammanställning av korrelationssamband (Ahlcrona, 2001)

Lagertyp	Antal mätpunkter	Korrelation	Korrelationskoefficient (R^2)
Bärlager	23	$E_{v2} = 0,99 \times E_{vd} + 8$	0,73
Förstärkningslager	60	$E_{v2} = 0,91 \times E_{vd} + 16$	0,60
Terrass	10	$E_{v2} = 0,34 \times E_{vd} + 61$	0,44

Vid sammanslagning av alla obundna material, fås sambandet: $E_{vz} = 0,94 \times E_{vd} + 14$ ($R^2 = 0,69$). Dock bör sambandet tas med stor försiktighet eftersom förutsättningarna är varierande för de olika materiallager. Utvärdering gjorde Notera att den tunga fallvikten som användes är av en äldre typ som endast har sensor vid belastningspunkt, metoden har således utvecklats idag.

4.2.2 Tidsaspekt

Det är uppenbart att belastningstiden för FWD och PLT skiljer sig avsevärt. Påverkan från tidsskillnaden återspeglas i responsen från marken och varierar i omfattning beroende på om det är friktionsmaterial eller kohesionsmaterial. Friktionsmaterial är relativt okänsliga för belastningstiden och responsen kan antas vara elastisk för både FWD och PLT. Kohesionsmaterial är däremot känsligare och speciellt vid högt vatteninnehåll kan egenskaperna i jorden förändras drastiskt. Vid FWD-mätning kan ett vattenmättat jordmaterial bli oelastiskt på grund av att vattnet inte hinner sippra ut under den korta belastningstiden, se kapitel 4.1.1. Till skillnad från FWD har PLT en lång belastningstid som tillåter en fullständig utpressning av markvattnet.

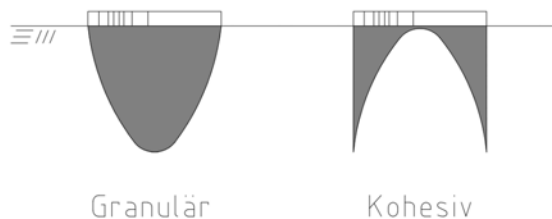
Belastningstiden för olika FWD ligger mellan 15ms och 30ms. Detta ger inverkan på deflektion, varför det skiljer sig mellan olika FWD-utrustningar. (FEHRL, 1991)

Enligt de fundamentala principerna inom konstruktionsteknik; dimensionering av en konstruktion bör uppfylla krav som innebär att brott eller någon svår skada inte får uppkomma samt krav på funktion vid normal användning. I regel kan en vägkonstruktion inte gå sönder, därmed kan inte kontrollmetoderna användas till att bedöma brottsäkerhet. Därför är det endast deformationer som mäts upp och bedöms. Olika deformationsegenskaper är behandlade i kapitel 3.1.8 och dessa avgörs utifrån bland annat belastningens varaktighet. FWD genererar en momentan belastning som innebär en del osäkerheter, bland annat situationen med vattenmättat material som nämns ovan. Därför fordras upprepning av fallviktslagen för att åstadkomma relevant resultat. Deformation som fås vid PLT kan däremot innehålla andra deformationsegenskaper, exempelvis krypning som kräver en längre belastningstid för att åstadkomma.

4.2.3 Djupverkan

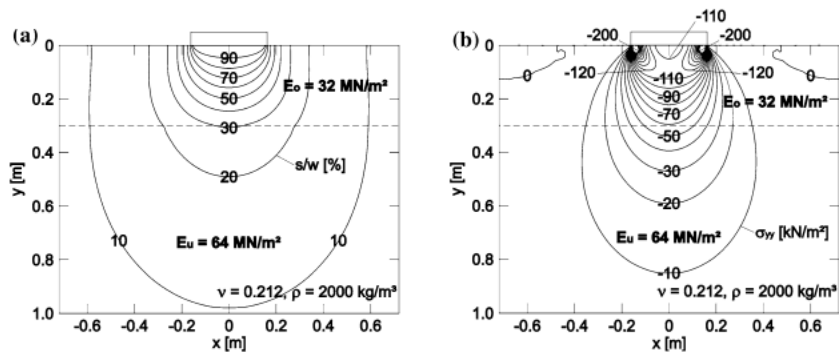
I regel varierar djupverkan för PLT mellan 0,1 – 1 meter och ibland uppskattas till två gånger plattans diameter, cirka 60cm. Genom fältförsök är det känt att FWD vid belastning 50kN har djupverkan som uppgår till 3 meter eller mer. Dock är det inte självklart för hur djupverkan utbreder sig i omfattning och i spänningsstorlek. Oftast vill man beskriva den belastade jorden med en spänningsbild men i många fall finns det olika faktorer som påverkar spänningsbilden.

För ett idealelastiskt medium är den teoretiska spänningsfördelningen under en styv platta oändligt stor i omkretsen. Detta gäller således inte för ett verkligt beläggningsmaterial. För kohesiva material, exempelvis lera, är den verkliga spänningsfördelningen likt den teoretiska fördelningen medan för granulära material är omkretsen liten eftersom bärigheten på ytan är liten. Illustrationen i Figur 4-8 visar typiska spänningsfördelningar på olika material under belastning av en cirkulär platta. (Ullidtz, 1998)



Figur 4-8 Teoretisk spänningsfördelning på granulärt och kohesivt jordmaterial under en cirkulär plattbelastning

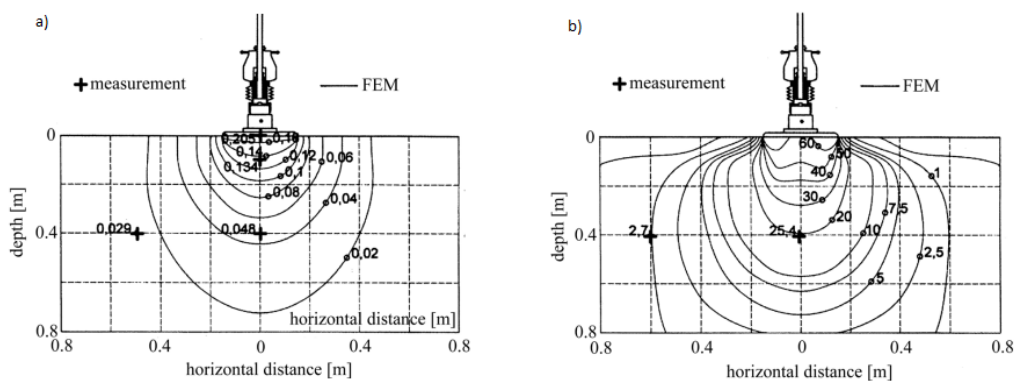
Belastningstyp och markförhållande är avgörande för djupverkan och för spänningsbilden i djupet. En förenklad spänningsbild från ett statiskt tryck vid statisk plattbelastning är en ballongformad utbredning, se Figur 4-9. En mer korrekt beskrivning är ett spänningsförhållande som verkar med en halvoändlig utbredning, d v s spänningen utbreder sig i den nedåtgående riktningen med en oändlig spridning. Spänningen avtar med avståndet ifrån lastcentrum.



Figur 4-9 Exempel på datorsimulerad djupverkan vid statisk plattbelastning.
a) Vertikal deformation b) Vertikal normalspänning (Christopf A. et al., 2008)

I kapitel 4.1.4 redogjordes den trattformade spänningsbilden vid fallviktsbelastning som endast är relevant för test på obundna granulära material. Därför kan obundna material vara lämpligt för jämförelsen mellan FWD och PLT då båda mätmetoder kan åstadkomma en elastisk respons. I ett vattenmätta finkornigt material kan det dock påverka spänningsbilden avsevärt. Anders Lenngren

Med antagande att jordmaterialet är elastiskt och halvoändligt, kan djupverkan för LWD stimuleras med finita element metod (FEM), se Figur 4-10. Modellen stämmer bra överens för en välpackad friktionsjord. Dock visas modellen inte hänsyn till plastiska deformationer. Genom att jämföra Figur 4-9 med Figur 4-10 kan man observera likheter i deformation och olikheter i spänningsförhållanden. Notera att spänningsstorlek är olika för ringarna i respektive figurer. (Dietmar A et al., 2004)



Figur 4-10 Numerisk simulerad djupverkan för LWD med finita element metod (FEM).
a) Vertikal deformation b) Vertikal normalspänning (Dietmar A et al., 2004)

4.2.4 Konditionering

Mätmetoderna LWD, FWD respektive PLT konditionera testmaterialet på olika sätt förrän den egentliga mätningen ske. Vid mätning med LWD utförs tre sättningsslag för att åstadkomma fullständig kontakt mellan belastningsplatta och jorden. Med anledning till att LWD använder en lätt vikt, handlar det endast om ytliga konditioneringar. Således kan det visa stora variationer mellan LWD – mätningarna för testmaterial vars egenskaper är benägen till att förändra sig vid belastning, ett bra exempel är ett vattenmättat material.

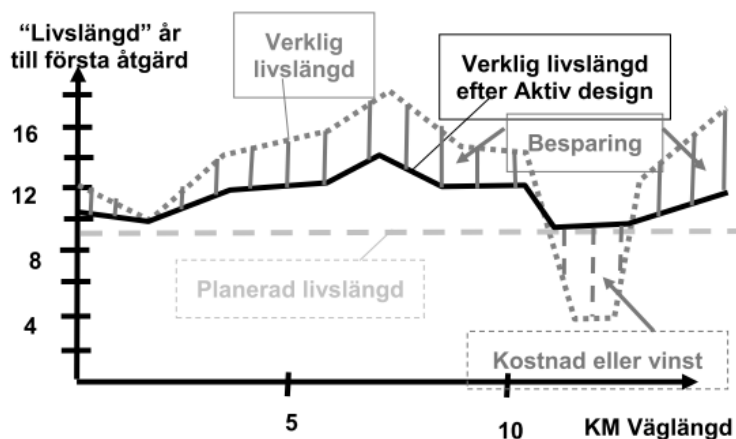
För FWD utförs i normal fallet ett sättningsslag med syfte att eliminera restspänningar och på samma vis som LWD skapa en god kontakt med markytan. En detaljerad beskrivning finns under kapitel 4.1.6. Med tanke på att sättningsslaget vanligen är inställt på 20kN och resterande fallviktslag oftast är högre, finns det chans att den fullständiga konditionering ske på de andra slagen. Det är därför inte självklart att sättningsslaget konditionera testmaterialet fullständigt förrän mätning med de efterkommande slagen vars syfte är att användas till bärighetsbedömning. Det går att öka kraftpuls på sättningsslaget för att åstadkomma en högre konditioneringsnivå. Det kan dock endast ske under förutsättning att man har god kännedom om testmaterialet, annars riskeras testmaterialet att förstöras med avseende på spänningsanalysen och analysen bortkastas. Ett sätt att komma runt problemet är att använda två eller flera kompletta slagserier

För mätning med PLT är det inte specificerat med konditionering av testmaterialet. I själv verket ingår konditioneringen under mätningproceduren med hänsyn till att pålastningar upprepas. Ett statiskt tryck upp till en maximal spänning på 500 kPa under några minuter medför att testmaterialet förblir stabil och eventuell förekommande jordvattnet pressas ut. Christoph A. et al. (2008) poängterar att jorden håller sig pressad under mätningen och styvheten ökar, således har belastningshistoriken en stor betydelse för utvärderingen. Om första pålastningen ses som en "konditionering" av testmaterialet, skulle andra pålastningen utföras på ett välkonditionerat jordmaterial vilket kanske inte återspeglar de verkliga förhållandena. Lastförloppet blir därmed en viktig information för bärighetsanalys.

4.3 Interaktiv design

Med livscykelanalys i fokus har interaktiv design blivit aktuell för nybyggnationer inom vägsektorn under senaste åren. Termen innebär att optimera insatser på konstruktionsarbeten i relation till befintliga markförhållanden genom kontinuerliga bärighetskontroller och därmed uppnås lägre konstruktions- och underhållskostnader för vägbyggnationer, se Figur 4-11. Istället för att lägga lika mycket resurser på hela vägsträckan, fördelas och anpassas resurserna till befintlig miljö. Proceduren med kontinuerliga kontroller genomförs för varje lager.

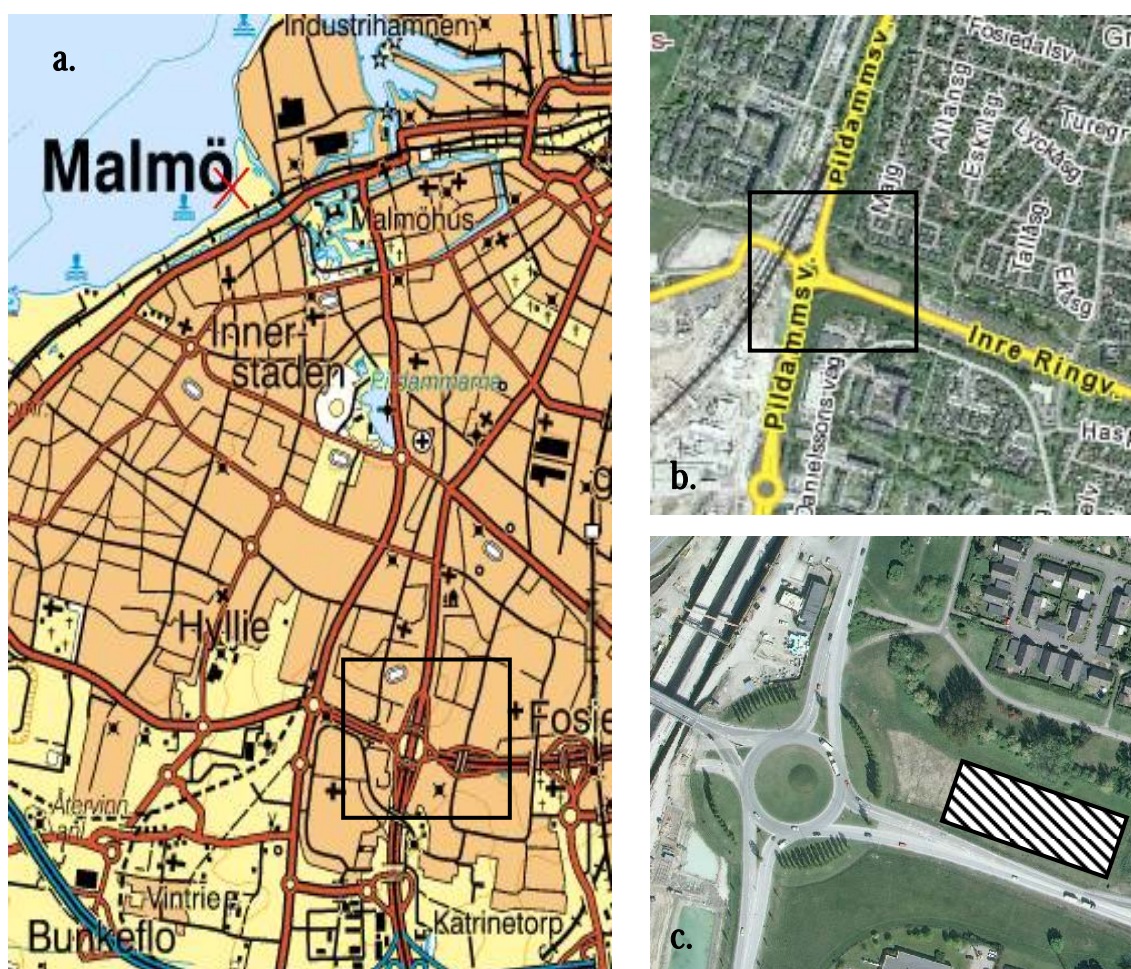
I dagsläget används bland annat statisk plattbelastning (PLT) och tung fallvikt (FWD) som bärighetskontroller vid interaktiv design. I ett examensarbete belyste Mattsson & Sipari (2007) att FWD gav ett mätresultat som speglar de verkliga förhållandena på ett bättre sätt än PLT. Fler kontrollpunkter kan även tas med FWD och mätningstiden är avsevärt kortare än PLT.



Figur 4-11 Jämförelse mellan livslängder med och utan aktiv design (Huvstig, 2007)

5. FÄLTFÖRSÖK

Ett pågående vägprojekt i Malmö omfattar nybyggnation av Hyllie trafikplats samt av en fyrfältig väg som knyter ihop Annetorpsvägen med Inre ringvägen. Mätobjektet är en 100 m vägsträcka i ett plan under trafikplatsen. Mätsträckan var färdigt terrasserad med utlagt förstärkningslager och delvis utlagt bärlager, se Figur 5-1. I mars 2009 utfördes terrasseringsarbetet. Ingen packning har utförts på terrassen eftersom jorden ansågs tillräcklig hård. Därefter skedde utläggning och packning av förstärkningslagret i flera omgångar under april-maj 2009. Bärlagret lades på och packades på färdig nivå under juli 2009.

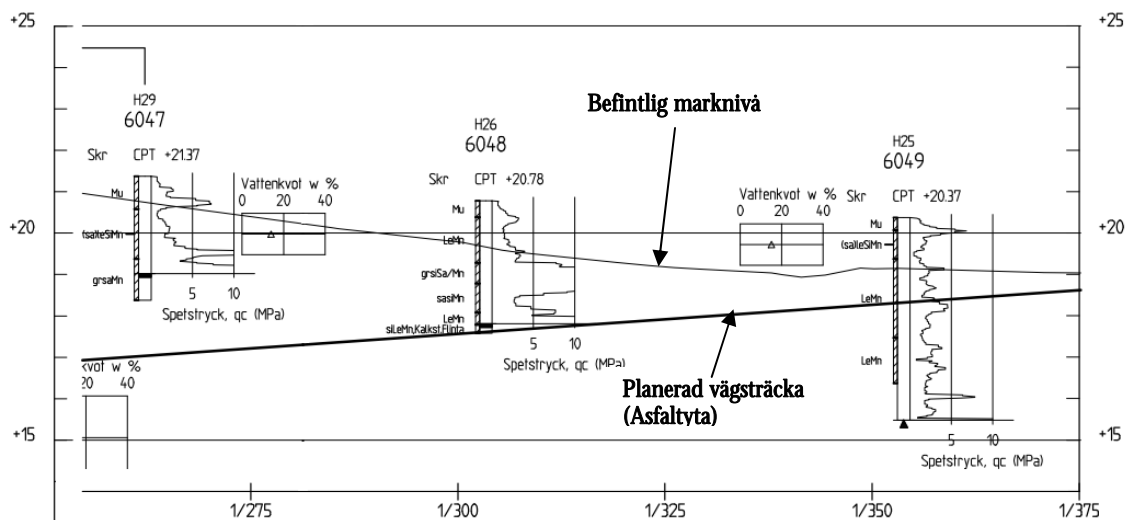


Figur 5-1 Försöksområdet i Hyllie trafikplats, testyta är skrafferade området i figur c (Hämtad från Geolex 2009-12-14)

Vid Hyllie trafikplats pågår även byggandet av Citytunneln sedan sommaren 2008. Geotekniska förhållanden i Hyllie kan därför ha påverkats av detta. Testytorna består av körbanor i både riktningar med en totalyta på 120m x 20m. Sammanlagt utfördes mätningen med tre kontrollmetoder i 20 mätpunkter.

5.1 Geotekniska förutsättningar

Inom försöksområdet har sex CPT – sonderingar (Cone Penetration Test) utförts innan bygget startades. Provboringarna indikerar att den befintliga markjorden mestadels består av morän med överlagring av mullhaltig jord med en mäktighet från 0,2 m till 1 m, se Figur 5-2. Enligt uppgiften i Figur 5-2 är vägprofilen på en nivå som huvudsakligen består av lermorän. Lermoränen bedöms som fast till mycket fast. De uppmätta vattenkvoterna i moränen varierar mellan 11 och 21 % med större än 75 % av värdena mellan 12 och 15 %.



Figur 5-2 Tre av sex CPT - sondering inom försöksområdet

Geohydrologiska undersökningar visar att grundvattennivån, i såväl kalkberget som jordlagren, är kraftigt avsänkt på grund av byggandet av Citytunneln. Under långtidsmätningar har grundvattnets trycknivå uppmätts till mellan +9,1 och +12,1 vilket innebär att grundvattennivån ligger 4 till 9 meter under planerad vägprofil. Under provboringarna upptäcktes ingen fri vattenyta.

Den planerade vägsträckan går i skärning ned till 6 m, notera att den maximala skärningen inte visas i figuren ovan. För att bestämmas lermorärens skjuvhållfasthet används ekvation 3.3. Överlagringsjorden antas ha en mäktighet på 5 m och tyngd på 20kN/m^3 vilket ger ett överlagringstryck på 100 kPa. Spetsstrycket i lermorän kan avläsas till 2 MPa utifrån diagrammen i Figur 5-2. Skjuvhållfastheten har beräknats med hjälp av ekvation 3.3 till 173kPa.

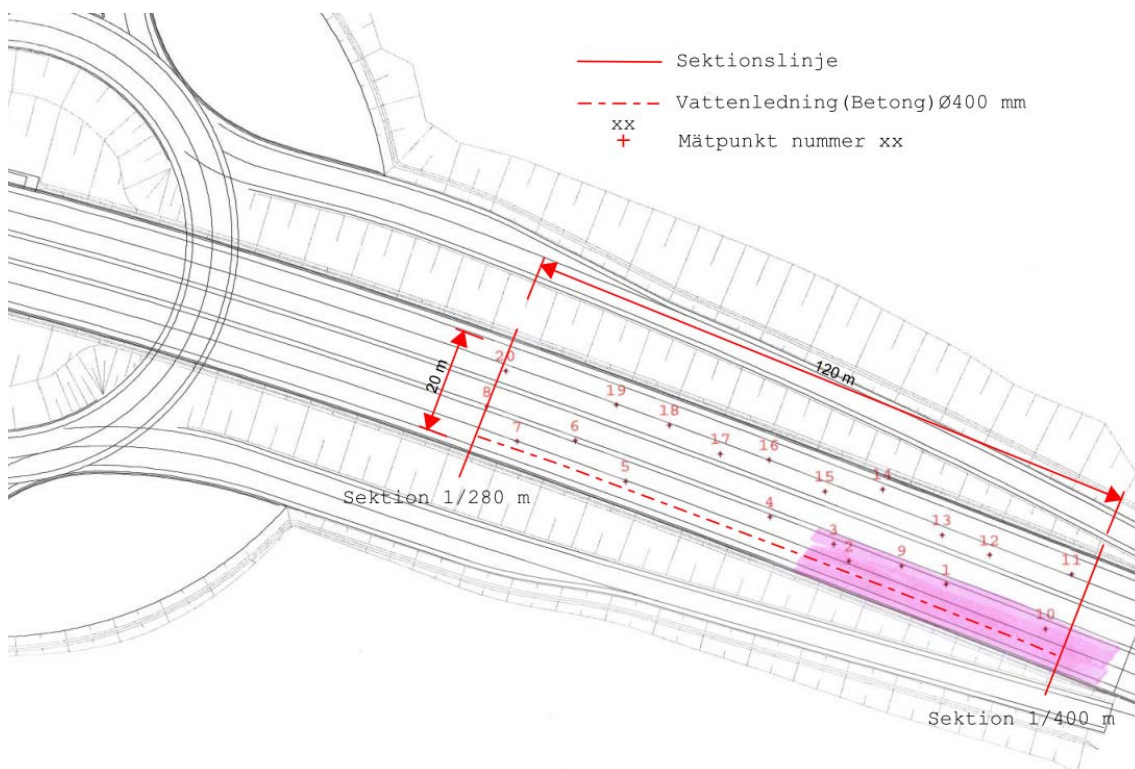
5.2 Vägkonstruktion

Vägkonstruktionen består av en flexibel grusbitumenöverbyggnad (GBÖ) med total tjockleken 825 mm. Överbyggnaden består av olika materiallager enligt tabell Tabell 5-1 nedan. Notera att endast de två materiallagren som är markerade är utlagda och testade, varav det översta är endast utlagd enligt grämarkerad yta i Figur 5-3. Ytor som inte är färglagda i figuren utgörs alltså endast av förstärkningslager.

Tabell 5-1 Överbyggnadsbeskrivning

Materiallager	Materialtyp	Tjocklek (mm)
Beläggning	ABS 16 70/100	40
Bindlager	ABb 22	60
Bitumenbundet bärlager	AG 32 70/100	90
Obundet bärlager	Krossat bergmaterial	80
Förstärkningslager	Krossat bergmaterial	555

Vid tiden för mätning var förstärkningslagret utlagt på den testyta som ska mätas och ytterligare nivåjustering behövs, då markytan är ganska ojämn och lagertjockleken varierar. Enligt inmätningar varierar lagertjockleken från 0,38 till 0,59m, se bilaga BILAGA 1.



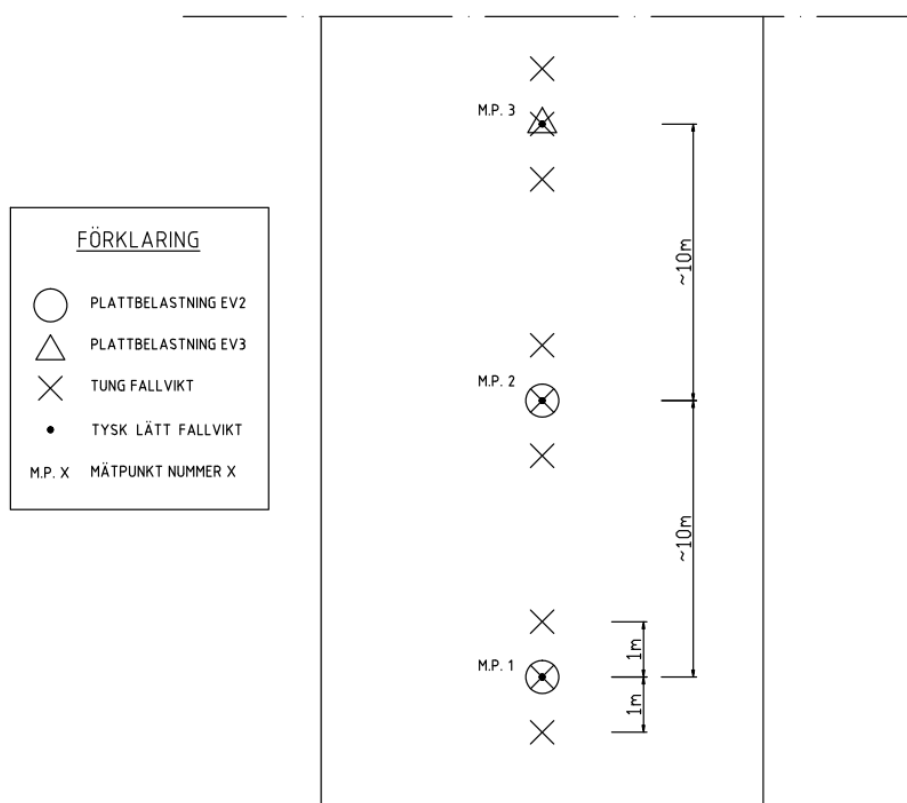
Figur 5-3 Mätpunkter på vägsträckan, markerade området är påfört med bärlager

Figur 5-3 är hämtad från ett utklipp ur planritningen med mätpunkterna utmarkerade. En vattenledning i betong med dimension $\text{Ø}400$ mm är utlagd under ena sida av vägen. Betongrörets närvaro har en negativ inverkan på packningsarbetet för materialet ovanför röret. En sämre packning av materialet kan därmed leda till sämre bärighet. I profilritningen visar betongrörets läge på ca 2,2 m under den planerade vägytan.

5.3 Utförande

Mätningen omfattar 20 mätpunkter på en testyta med area 2400 m². Mätningarna genomfördes under två dagar i början av december 2009. Körbanan i ena körriktning mättes på dag ett och den andra körriktningen mättes under andra dagen. I kommande kapitel benämns den testyta som innefattar mätpunkter 1 till 10 som **Del 1** medan den andra delen benämns som **Del 2** och innefattar mätpunkter 11 till 20. Mätpunkterna planerades ha ca 10 m mellanrum. Dock fick en del mätpunkter flyttas i sid- och längdled på grund av ojämnheter på markytan, se placeringar i Figur 5-3. Mättningsproceduren var följande: Först utfördes mätningen med den tyska lätta fallvikt, därefter med den statiska plattbelastningen och slutligen med den tunga fallvikten. Denna ordningsföljd valdes för att den tyska lätta fallvikten har minst påverkan på testmaterialet. Tidsintervallet mellan mätning med LWD och PLT är ca 10min till 2 timmar. Tidsintervallet mellan mätning med PLT och FWD är ca 10 min till 1 timme.

För att kontrollera om statisk plattbelastning inverkar på mätning av tung fallvikt samt bättre statistiskt underlag, utförde ytterligare två mätpunkter 1 m före respektive efter den ordinarie mätpunkten, se Figur 5-4.



Figur 5-4 Upplägget för mätning

5.3.1 Lätt fallvikt (LWD)

Mätningen med tysk lätt fallvikt utfördes först av kontrollmetoderna med hänsyn till dess låga belastning som ger minst påverkan på mätplatsen. Mättningsproceduren börjar med tre sättningsslag som inte registreras. Därefter utförs ytterligare tre slag vars sättning registreras med en noggrannhet på tre decimaler. Medelvärdet på de tre sättningarna bestäms och används till beräkning av elasticitetsmodul, $E_{vd, LWD}$.

En enkel belastningshistorik (time history) kan även skrivas ut och sparas som kvitto. Den är dock inte lika informativt som mätdata från den tunga fallvikten. Belastningshistoriken utgörs av en belastningskurva som fås och endast formen kan iakttas.

5.3.2 Statisk plattbelastning (PLT)

Statisk plattbelastare kräver en jämn testyta för en noggrann mätning. För att jämna av markytan läggs ett sandlager över mätpunkten före mätningen. Vid mätning används en dumper som motvikt.

Resultatet av statisk plattbelastning är två elasticitetsmoduler E_{v1} och E_{v2} som beräknas utifrån två pålastningar. För att se om ytterligare belastning har någon effekt, utförs en extra pålastning i var tredje mätpunkt och därmed erhålls ett E_{v3} värde, se Figur 5-4. På- och avlastningar är även registrerade punktvis med mätdator på ett intervall enligt den tyska DIN-normen. Registrering sker manuellt med knapptryckning då operatören bedömer att sättningen har avstannat och normalspänning har uppnått de nivåer som anges i normen. På- och avlastningskurvor ritas automatiskt av mätdatorn.

5.3.3 Tung fallvikt (FWD)

Den tunga fallvikten FWD 50kN planerades för försöket. På grund av att utrustningen var upptagen i ett annat projekt, användes istället HWD 150kN. HWD - utrustning används bland annat i mätningar på flygplats och kan generera en större kraft än FWD. Mekaniken i FWD och HWD fungerar på samma sätt och det går att ställa in önskade kraftnivåer i HWD som motsvarar FWD:s kraftnivåer. För att åstadkomma en jämn spänningsfördelning vid belastningen är belastningsplattan uppbyggd av fyra kvartscirkelformade segment.

I varje mätpunkt utförs ett sättningsslag på 20 kN. Därefter följer två slagserier med ökande kraftpuls i varje serie, se Tabell 5-2. Varje kraftpuls utförs med en belastning. Sammanlagt genomfördes 60 mätpunkter med tung fallvikt inklusive två extra kontrollpunkter till varje ordinarie mätpunkt, upplägget illustreras i Figur 5-4. Kontrollpunktens har till syfte att undersök eventuella skillnader på mätresultatet nära en punkt eller i punkten, speciellt med tanke på att den statiska plattbelastningen utförts före den tunga fallvikten. Erfarenhetsmässigt är variationen på meternivå normalt mycket liten.

Tabell 5-2 Mätningsslag för tunga fallvikten

Sättningsslag	Slagserie 1				Slagserie 2			
20 kN	20 kN	40 kN	50 kN	70 kN	20 kN	40 kN	50 kN	70 kN

Genom att utföra fallviktsmätning med ökande belastningar kan man säkerställa att mätningarna ligger inom den maximala registreringsgränsen hos seismometrarna. (Van Deusen et al., 1994)

Deflektionen på markytan registrerades upp i sju punkter på olika avstånd och deflektionen används för att beräkna ytmodulen, $E_{vd, FWD}$ enligt ekvation 3.8. Vid fallviktslaget registreras även belastningshistorik (Time history) som innehåller information om kraftpulsens och deflektionens utveckling under belastningen. Vid mätning visas belastningshistoriken genast på en datorskärm och operatören kan verifiera resultatet. Om mätvärdena är instabila utförs belastning på nytt.

Två mätpunkter (M.P. 1 & 3) från första dag utförs med en extra omgång på andra dagen. Syftet är framförallt att kontrollera om mätresultatet kan reproduceras för samma testyta under andra dagen. Troligtvis är förutsättningarna något annorlunda, dels för att mätpunkterna redan är påverkade från mätningen, dels för att markförhållande inte är lika på grund av väder. Men det är ändå värt att undersöka hur mätpunkten förändras efter mätningen på en dag.

5.4 Mätresultat

I detta kapitel redovisas de beräknade elasticitetsmodulerna och tillhörande sättningar. Detaljer återfinns i BILAGA 1 till BILAGA 7. Viktiga noteringar under mätningen redogörs och kommenteras kortfattat. Utförliga utvärderingar av olika aspekter redovisas i kapitel 6.

I stora drag kunde mätningen genomföras utan yttre störningar. Vädret var mulet och kallt under båda dagarna. Det kom en regnskur andra dagen men intensiteten var relativt låg. Lufttemperaturen var strax över 0°C och något varmare under första dagen. Temperaturen på markytan uppmättes med hjälp av FWD – utrustning till 3,4°C - 6,6°C första dagen och till 1,6°C - 2,8°C andra dagen. Lufttemperaturen var 1°C - 2°C lägre än marktemperaturen.

5.4.1 LWD

Under dag 1 varierade avståndet mellan mätpunkterna kraftigt eftersom vissa områden ansågs vara olämpliga för mätningen. Mät punkt 9 och 10 fick placeras i början av mätsträckan. Resultatet från mätningen redovisas i Tabell 5-3. Se även BILAGA 2 och BILAGA 3 för samtliga registrerade sättningar. Skrivaren slutade att fungera efter några mätkontroller under båda dagarna, varför manuell avläsning valdes med en mätnoggrannhet på två decimaler.

Tabell 5-3 Mätresultat från lätt fallvikt för testyta Del 1

Mät punkt	Evd _{LWD} (MPa)	S (mm)	Underlag	Anm.
1	51.8	0.43	BL	S = Sättning BL = Bärlager FL = Förstärkningslager
2	47.5	0.47	BL	
3	62.2	0.36	BL	
4	58.6	0.38	FL	
5	42.9	0.53	FL	
6	46.4	0.49	FL	
7	36.8	0.61	FL	
8	50.3	0.45	FL	
9	51.8	0.43	BL	
10	45	0.5	BL	
Medelvärde:	49.3	0.47		
Standardavvikelse:	7.41	0.073		

Testytan som mättes dag 2 var betydligt jämnare och därför är mätpunkterna placerade längs en rak linje med jämna avstånd. Notera att mät punkt 14 utfördes på bar stenytan för att ha ett unikt fall relaterade till de andra mätpunkterna, se Figur 5-5. Placeringen av mät punkt 14 ligger således utanför linjen. Resultatet från mätningen redovisas i Tabell 5-4. Generellt var det spridningen stor mellan sättningarna i de enskilda mätpunkterna under dag 2. I flera mätpunkter har mätningen fått göras om på grund av att de uppmätta värdena låg utanför mätområdet för mätningdosan. Förklaringen är troligen att sättningarna har varit små och således ligger utanför registreringsintervallet (0,2 - 10 mm ±0,01 mm).

Tabell 5-4 Mätresultat från lätt fallvikt för testyta Del 2

Mät punkt	Evd _{LWD} (MPa)	S (mm)	Underlag	Anm.
11	152.0	0.15	FL	stor spridning
12	102.3	0.22	FL	
13	136.4	0.17	FL	
14	56.8	0.4	FL	
15	86.5	0.26	FL	Omprovning
16	129.3	0.17	FL	
17	59.4	0.38	FL	Omprovning. stor spridning
18	121.0	0.19	FL	
19	126.4	0.18	FL	Omprovning
20	163.0	0.14	FL	Omprovning. stor spridning
Medelvärde:	113.3	0.23		
Standardavvikelse:	36.4	0.09		

5.4.2 PLT

Plattbelastningsförsöket genomfördes utan något större problem. Markytan var något fuktigare under andra dagen efter ett kortvarigt regn på natten före mätningen än under första dagen. Testmaterialet ansågs dock vara tillräckligt dränerande och regnet har därför inte betraktats som en faktor som påverkat mätresultatet. Försöket med en extra pålastning påvisar att materialet kan packas ytterligare och elasticitetsmodulen E_{v_3} blir därmed 5 % till 10 % större än tillhörande E_{v_2} – värdena, se Tabell 5-5 respektive Tabell 5-6.

Generellt påvisar mätresultatet att testyta del 2 har en större elastisk respons än del 1. Dock är kvoten E_{v_2}/E_{v_1} relativt hög för de flesta mätpunkterna i testyta del2, vilket är ett tecken att materialet inte är väl packat, se Tabell 5-5 respektive Tabell 5-6.

Tabell 5-5 Mätresultat från statisk plattbelastning för testyta Del 1

Mätpunkt	E_{v_1} (MPa)	E_{v_2} (MPa)	E_{v_3} (MPa)	E_{v_2}/E_{v_1}	E_{v_3}/E_{v_1}
1	77.7	145		1.87	
2	41.6	96.6		2.32	
3	89.9	147.8	157.9	1.64	1.76
4	75.6	140.8		1.86	
5	58.6	115.9		1.98	
6	44.5	123.7	135	2.78	3.03
7	33.9	104.3		3.08	
8	32.2	97.4		3.02	
9	83.3	126.7	133.8	1.52	1.61
10	45.3	117.9		2.6	
Medelvärde	58.3	121.6		2.27	
Standardavvikelse	21.6	18.8		0.6	

Tabell 5-6 Mätresultat från statisk plattbelastning för testyta Del 2

Mätpunkt	E_{v_1} (MPa)	E_{v_2} (MPa)	E_{v_3} (MPa)	E_{v_2}/E_{v_1}	E_{v_3}/E_{v_1}
11	39.7	174.3		4.39	
12	50.6	176.5	180.6	3.49	3.57
13	60.4	174.5		2.89	
14	33.1	137.1		4.14	
15	47.3	175.5	191.2	3.71	4.04
16	40.5	150.3		3.71	
17	50.1	175.4		3.5	
18	48.8	130.8	139.2	2.68	2.85
19	54.9	147.1		2.68	
20	42.2	127.3		3.02	
Medelvärde	46.8	156.9		3.4	
Standardavvikelse	8	20.5		0.59	

5.4.3 FWD

Utöver elasticitetsmoduler och deflektioner genererar tungt fallviktsförsök en mängd andra typer av information. Därför redovisas fallviktsresultatet i en begränsad omfattning i detta kapitel. En mer utförlig utvärdering och redovisning finns i kapitel 6.3.

De uppmätta kraftpulserna under belastningarna är 5 % - 15 % större än de inställda kraftpulserna, jämför värdena i Tabell 5-2 och BILAGA 5. Fenomenet kan bero på att kontakttrycket förändras sig efter hårdheten i jordlagret. Kraftpulsen kan därför både vara högre och lägre än de inställda belastningarna. Bertil Mårtensson beskriver att lasten blir större när marken är styv medan mjuka underlag leder till lägre last under förutsättning att fallvikt och fallhöjd är konstanta.

Enligt den svenska metodbeskrivningen (Vägverket, 1998) för tung fallvikt används 50 kN som standardkraftpuls och därför redovisas mätresultatet för fallviktslaget 50 kN. Ytmoduler för ordinarie mätpunkter redovisas med hänsyn till att de flesta kontrollpunkterna (en meter före respektive efter mätpunkten) gav ytmoduler som är $\pm 10 - 20$ MPa jämfört med värdena mitt på mätpunkten. Ytmoduler som bäst reflekterar elastiska deformationer har valts ut från belastning 50 kN i andra slagserien (8:e slag) och har sammanställts i tabell Tabell 5-7 och Tabell 5-8.

Tabell 5-7 Mätresultatet från fallviktsmätning vid 50 kN i testyta del 1

Mätpunkt	Kraftpuls	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Lufttemp.	Yttemp.	Ytmodul (D0)
MP 1	52.2 kN	850	526	355	217	143	65	33	5.0 °C	6.4 °C	199 MPa
MP 2	51.8 kN	955	589	393	218	130	55	29	5.7 °C	6.3 °C	176 MPa
MP 3	52.2 kN	1011	693	464	270	168	68	30	5.3 °C	6.4 °C	168 MPa
MP 4	52.1 kN	878	628	406	218	134	50	30	4.6 °C	6.0 °C	193 MPa
MP 5	51.8 kN	1161	840	516	297	170	54	26	4.0 °C	5.8 °C	145 MPa
MP 6	52.2 kN	991	663	420	215	115	32	15	3.4 °C	5.8 °C	171 MPa
MP 7	51.8 kN	940	622	403	211	116	39	20	4.0 °C	5.7 °C	179 MPa
MP 8	52.0 kN	819	619	430	240	133	45	18	3.5 °C	5.8 °C	206 MPa
MP 9	52.2 kN	957	634	408	247	154	63	27	4.1 °C	5.5 °C	177 MPa
MP 10	52.2 kN	858	518	317	198	126	51	22	4.5 °C	5.6 °C	198 MPa
Medelvärde											163 MPa
Standardavvikelse											26 MPa

Tabell 5-8 Mätresultatet från fallviktsmätning vid 50 kN i testyta del 2

Mätpunkt	Kraftpuls	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Lufttemp.	Yttemp.	Ytmodul (D0)
MP 11	54.3 kN	701	491	370	245	167	83	45	0.2 °C	1.7 °C	252 MPa
MP 12	54.1 kN	761	552	430	298	206	100	-51	0.1 °C	1.7 °C	231 MPa
MP 13	53.5 kN	790	548	407	255	162	69	32	0.0 °C	2.1 °C	220 MPa
MP 14	52.0 kN	925	600	359	218	131	52	25	0.5 °C	2.5 °C	182 MPa
MP 15	53.2 kN	791	587	429	266	168	67	29	0.7 °C	2.7 °C	218 MPa
MP 16	53.1 kN	722	526	390	238	152	64	29	0.8 °C	2.3 °C	239 MPa
MP 17	53.2 kN	701	508	382	239	148	56	22	1.2 °C	2.6 °C	247 MPa
MP 18	52.9 kN	786	565	389	232	140	51	21	1.3 °C	2.9 °C	219 MPa
MP 19	53.0 kN	705	528	387	241	147	57	28	1.3 °C	2.5 °C	244 MPa
MP 20	52.5 kN	857	622	426	240	132	43	17	1.5 °C	2.5 °C	199 MPa
Medelvärde											201 MPa
Standardavvikelse											36 MPa

Notera att mätpunkten 8 har flyttats ett par decimeter, på grund av extrema värden uppmättes. Till skillnad från de andra mätpunkterna är stenarna synliga på markytan i mätpunkt 14, se högra figuren i Figur 5-5. Detta val av mätplats gav en möjlighet att undersöka hur utseendet på markytan påverkade mätresultatet. Notera även att mätpunkt 14 är flyttad något i sidled i förhållande till mätlinjen på testyta del2.



Figur 5-5 Markytan för mätpunkt 13 resp. 14

Belastningstiden är cirka 50ms. Temperaturen i luften och markytan mättes upp med givare. Det finns skillnader mellan luft- och yttemperatur, vilket beror på att värme har lagrats i marken sedan tidigare. Markytan är därför något varmare än luften.

6. UTVÄRDERING AV RESULTAT

Utvärderingen av mätresultatet delas upp i tre delar:

- Ingående utvärdering av PLT – data
- Ingående utvärdering av FWD – data
- Jämförelse mellan mätresultat från FWD och PLT

6.1 LWD

Även om spridningen på sättningarna från LWD var stor på flera mätpunkter, kan man konstatera att testyta del 2 generellt har högre E-moduler än testyta del 1. Samma resultat kunde även påvisas för PLT och FWD. Det är naturligtvis svårt att bedöma hela konstruktionens bärlighet med tanke på den relativt begränsade djupverkan från LWD. Det kan också leda till en felaktig bedömning då hårdheten varierar i markytan och de nedre lagren.

På testyta del 1 har E-modulerna förhållandevis liten variation då värdena ligger runt 50 MPa medan E-modulerna för testyta del 2 varierar mellan 60 MPa och 160MPa. Den markanta skillnaden kan förklaras av att graden av packningen är lägre på testyta del 2 vilket bekräftas av de höga kvoterna E_{v2}/E_{v1} från PLT. varför LWD blir en ostabil kontrollmetod då testmaterialet är sämre packat. Spridningen på sättningarna på testyta del 2 beror alltså huvudsakligen av två faktorer:

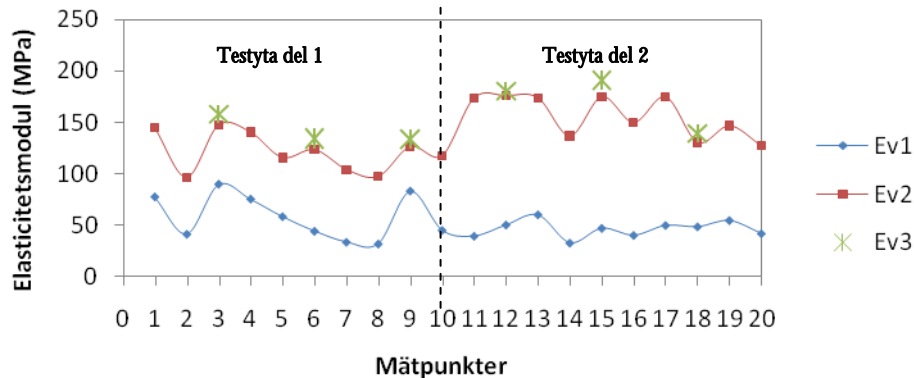
- fallvikten är för lätt
- variation i testmaterialet: lagertjocklek och grad av packningen

E-modul på MP 14 är speciellt låg jämfört med andra värdena på samma testyta. Även E_{v1} och E_{v2} från PLT samt ytmodulen E_{vd} från FWD är förhållandevis lägre och tyder på att MP 14 har en sämre bärlighet. Det är dock naturligt eftersom mätpunkten ligger på vägrenen med sämre sidostöd och detta område inte är avsett att trafikeras. Något som ytterligare skiljer MP 14 från de andra mätpunkterna är den låga spridningen på sättningarna, vilket är ett tecken på att textytan är stabil för mätning med den lätta fallvikten. Variationer och stora spridningar på värdena hos de andra mätpunkterna innebär att textytan inte är lämplig för LWD – mätning då djupverkan begränsas till markytans nivå. En djupare utvärdering av LWD utelämnas i denna rapport.

6.2 PLT

Vid utvärdering av bärligheten användes Vägverkets föreskrifter enligt beskrivning i kapitel 3.4.5. Notera att utvärderingen görs på en betydligt mindre yta än normalt. Det stycke med pålagt bärlager som består av mätpunkter 1, 2, 9 och 10, uppfyllde kravet för såväl medelvärde som för varje enskild kontrollpunkt. Eftersom det ännu inte finns bestämda utförandekrav för förstärkningslager, provades kraven för skyddslager som underlag, se Tabell 3-1. Bärligheten blir således underskattad men istället kan bärlighetskraven för bärlager användas. För testyta del 1 uppfyllde alla mätpunkter kraven förutom punkt 7 och 9 där kvoten var något högre än den angivna gränsen. För testyta del 2 var det generellt höga E_{v2} – värden men även höga värden på kvoten E_{v2}/E_{v1} . Därmed var det 7 mätpunkter som inte uppfyllde bärlighetskraven.

För en bättre översikt av mätresultatet, sammanställs de olika elasticitetsmodulerna för testyta del 1 och del 2 i ett diagram, se Figur 6-1. Notera att trenden för E_{v1} och E_{v2} är likartade för testyta del 1 vilket tyder på att en relativt jämn packning har utförts på ytan. För testyta del 2 finns ett stort gap mellan värdena för E_{v1} och E_{v2} . Det är tecken på att packningen är otillräcklig och ojämn, se även kvoten E_{v2}/E_{v1} i Tabell 5-5 och Tabell 5-6 där en hög kvot indikerar sämre packning.



Figur 6-1 Elasticitetsmoduler för respektive mätpunkter

Generellt har testyta del 2 lyckats uppnå högre värden på E-moduler än testyta del 1. Största orsaken kan vara att en vattenledning som finns under testyta del 1 ligger relativt högt upp och försvårar effekten av packningen. Stenmaterial som ligger intill ett cirkulär rör är svårt att packa tätt, därmed sänks den maximala packningskapaciteten. Temperaturen kan ha också inverkat på jordens hårdhet då markvattens egenskaper förändras vid temperaturförändringar, även om lermörän och förstärkningslager anses vara dränerande och innehåller en relativt låg vattenhalt. Mätningen på testyta del 2 som utfördes på andra dagen hade en marktemperatur på runt 2°C, vilket närmar sig fryspunkten för vatten i materialet. Då vattnets egenskaper förändras kan materialsammansättningen hårdnas och den totala bärigheten ökar. Det är dock inte självklart att ökningen av bärighet i detta fall verkligen berodde på temperaturen eller på skillnaden i testytor. Fallviktsdata från FWD kan förmodligen ge mer klarhet i detta avseende.

Låga Ev_1 -värden och höga Ev_2 -värden hos testyta del 2 är tecken på att stora plastiska deformationer har inträffat vid första pålastning. Efter att stenmaterialet hade deformerat sig ordentligt kunde höga Ev_2 -värden åstadkommas. Detta tyder på att det finns möjlighet att uppnå en högre packningsgrad genom att packa materialet ytterligare.

Försöket med att utföra en tredje belastning gav inga märkvärdiga resultat. Man kan konstatera att högre värden på Ev_3 än Ev_2 indikerar dels att en högre E-modul kan uppnås genom ytterligare pålastning, dels att en extra pålastning inte förändrar värdet på Ev_2 speciellt mycket. En fullkomligt elastisk respons är alltså uppnådd vid andra pålastningen, se bilaga BILAGA 1 där kurvorna för Ev_2 resp. Ev_3 är nästan parallella. Ett sätt att jämföra Ev_3 och Ev_2 är att skapa kvoterna Ev_3/Ev_1 och Ev_3/Ev_2 , se Tabell 6-1.

Tabell 6-1 Sammanställning av resultat ifrån Ev_3

Mätpunkt	Ev_1 (MPa)	Ev_2 (MPa)	Ev_3 (MPa)	Ev_2/Ev_1	Ev_3/Ev_1	Ev_3/Ev_2
3	89.9	147.8	157.9	1.64	1.76	1.07
6	44.5	123.7	135	2.78	3.03	1.09
9	83.3	126.7	133.8	1.52	1.61	1.06
12	50.6	176.5	180.6	3.49	3.57	1.02
15	47.3	175.5	191.2	3.71	4.04	1.09
18	48.8	130.8	139.2	2.68	2.85	1.06

I jämförelse med Ev_2/Ev_1 ökar kvoten Ev_3/Ev_1 med upp till 10 %, vilket är en självklarhet med tanke på att deformationen är mindre vid den tredje belastningen. Deformationer vid de olika belastningarna har dock olika innebörd. Kvoten Ev_2/Ev_1 förklarar graden av konditionering vid första pålastning som packar testmaterialet och eliminerar eventuella restspänningar. Kvoten Ev_3/Ev_2 anger graden på plastiska deformationer som kan läggas på ytterligare. Värdena på denna kvot är låga och det innebär att en relativt elastisk respons kan åstadkommas redan vid andra pålastningen. Man kan således konstatera att en extra belastning ger ytterligare deformationer och sannolikt skulle ännu mer deformationer uppstå vid en fjärde belastning. Det är att likställas med triaxialförsök som innebär flera hundra belastningar tills man uppnått en absolut elasticitet. I det avseendet är traditionell PLT en testmetod som kontrollerar elasticitet på ett mindre krävande sätt. Eftersom undersökningen är utförd på ett hårt underliggande material och med ett fåtal mätpunkter kan andra beteenden eventuellt upptäckas hos andra jordarter.

6.3 FWD

I detta kapitel genomförs en ingående analys av fallviktsdata. Bland annat undersöks repeterbarhet, reproducerbarhet och förhållandet mellan olika kraftpulser. Deflektionsbassänger utvärderas utifrån storlek och form. Dessutom görs en jämförelse mellan ordinarie mätpunkter och kontrollpunkter.

Speciella mjukvaruprogram görs för att analysera fallviktsdata kommer att användas. Bland dessa finns programmet "Clevercalc" som används till att passningsräkna E – moduler för olika materiallager och "Timeh" som är till för att ta fram belastningshistorik (Time History) och energimängd för varje belastning.

6.3.1 Normalisering

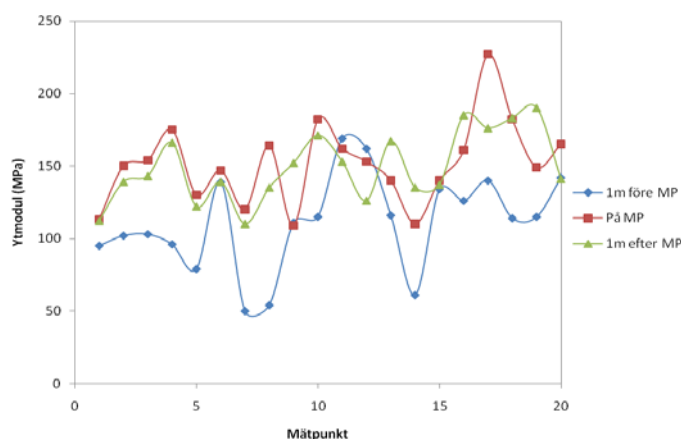
Eftersom de uppmätta krafterna är större än de inställda, utförs normaliseringar av ytmoduler för att mätpunkterna ska vara jämförbara. Normalisering består av en enkel ekvation som lyder (Tholén, 1980):

$$E_{norm} = \frac{F_{inställd}}{F_{uppmätt}} \cdot E_{uppmätt} \quad [\text{MPa}] \quad (6.1)$$

Normalisering är även till för att eliminera skillnaden mellan kraftpulser på olika mätpunkter. Det är dock viktigt att skillnaden i kraftpulserna före normalisering inte bortses från utan att orsaken till den har analyserats. Notera att analysarbete i följande kapitel utförs utifrån normaliserade värden. Förändring av ytmoduler efter normalisering anses dock vara liten, justeringen ligger runt $\pm 5 - 10$ MPa.

6.3.2 Sättningslag

Sättningslagen är en belastning på 20kN vars syfte är att konditionera testmaterialet. Mätdata från sättningslaget lagras normalt inte men i detta fall lagrades den för att kunna användas i eventuella undersökningar. Resultatet visar att majoriteten av ytmoduler som fås vid sättningslagen en meter före ordinarie mätpunkt är betydligt lägre än ytmoduler från sättningslagen utförda på ordinarie mätpunkt. Däremot föreligger en snarlik trend mellan mätresultat från sättningslaget taget en meter efter mätpunkten och ordinarie mätpunkt, se Figur 6-2.

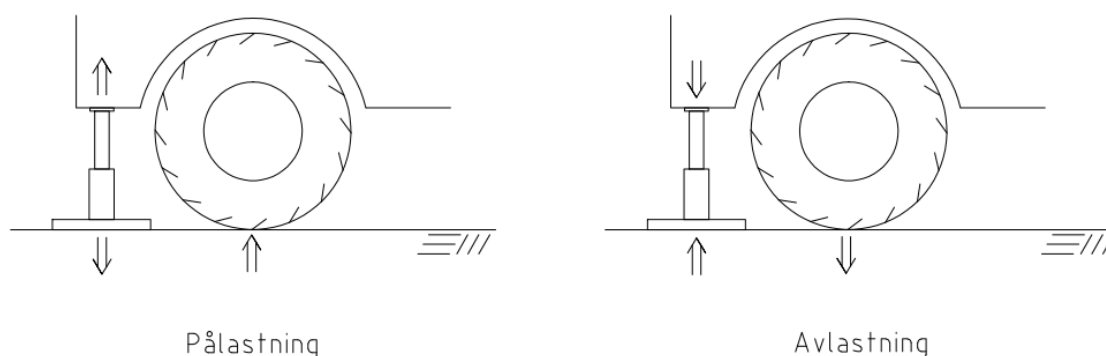


Figur 6-2 Sammanställt diagram av e-moduler från sättningslagen

Tabell 6-2 E-moduler från sättningslagen

Mät punkt	1 m före (MPa)	På (MPa)	1 m efter (MPa)
1	95	113	112
2	102	150	139
3	103	154	143
4	96	175	166
5	79	130	122
6	139	147	139
7	50	120	110
8	54	164	135
9	111	109	152
10	115	182	171
11	169	162	153
12	162	153	126
13	116	140	167
14	61	110	135
15	134	140	137
16	126	161	185
17	140	227	176
18	114	182	183
19	115	149	190
20	142	165	141

En möjlig orsak kan vara att det vid PLT används en tung motvikt som konditionerar testmaterialet före FWD – mätningarna. Vid pålastning av PLT belastas plattan på marken genom upptryckning av mothållet, i detta fall användes en dumper som mothåll, se Figur 6-3 där hjulet är placerad 1 m efter ordinarie mätpunkt. Därefter avlastas trycket och dumpern sänks ner. Hjulen från dumpern trycker i sin tur ner marken på liknande vis som PLT men på en kortare belastningstid. Eftersom dumpern är placerad efter mätpunkten, påverkas främst den jorddel som ligger efter mätpunkten.



Figur 6-3 Pålastning och avlastning vid statisk plattbelastning på en ordinarie mätpunkt

Förutom påverkan från PLT, kan en förklaring vara att fallviktslagen i sig har konditionerat testmaterialet för slagen som utförs efteråt. Detta förutsätter att sättningslaget har störst inverkan på djupare materiallager eftersom markytan endast kan påverkas av det slag som utförs mitt på mätpunkten.

6.3.3 Linjäritet mellan kraftpulserna

Syftet med upprepade fallviktslag är att packa ett jordmaterial för att höja elasticiteten. Spekulationer om att en fullständigt elastisk respons är uppnådd i andra slagserien förutsätter att sättningslaget samt första slagserien konditionera testmaterialet på en tillfredställande nivå. Ett enkelt test är att sätta in ytmoduler från de olika kraftpulserna i korrelationssamband och undersöka möjliga linjära samband.

Origo (0,0) sätts som skärningspunkt för korrelationssambanden. Sättningslaget utgår i denna analys då detta slag genererar deformation som är förhållandevis plastisk. Korrelationen testas på fallviktsdata från samtliga mätpunkter som inkluderar ordinarie mätpunkter och kontrollpunkter enligt följande modeller:

- Jämförelse mellan kraftpulser (20, 40, 50, 70 kN) inom första slagserien
- Jämförelse mellan kraftpulser (20, 40, 50, 70 kN) inom andra slagserien
- Jämförelse mellan samma kraftpuls i första respektive andra slagserien

Korrelationssambanden redovisas i form av korrelationsdeterminant och proportionalitetskonstant (k) i tabeller nedan. Endast minimum och maximum för proportionalitetskonstanten redovisas för varje mätposition. Korrelationslinjen består av en linjär ekvation $y = k \cdot x$ där x är den lägre kraftpulsen alternativt kraftpulsen i första slagserien och y är den högre kraftpulsen alternativt kraftpulsen i andra slagserien.

Tabell 6-3 Korrelationssamband inom första respektive andra slagserien

Pos.	Inom första slagserie				Inom andra slagserie			
	R ² 20 - 40	R ² 40 - 50	R ² 50 - 70	k	R ² 20 - 40	R ² 40 - 50	R ² 50 - 70	k
På	0.786	0.923	0.958	1.05 - 1.08	0.957	0.988	0.968	1.03 - 1.12
1 m före	0.934	0.924	0.936	1.01 - 1.11	0.950	0.994	0.980	1.02 - 1.10
1 m efter	0.785	0.908	0.973	1.05 - 1.08	0.972	0.994	0.987	1.02 - 1.11

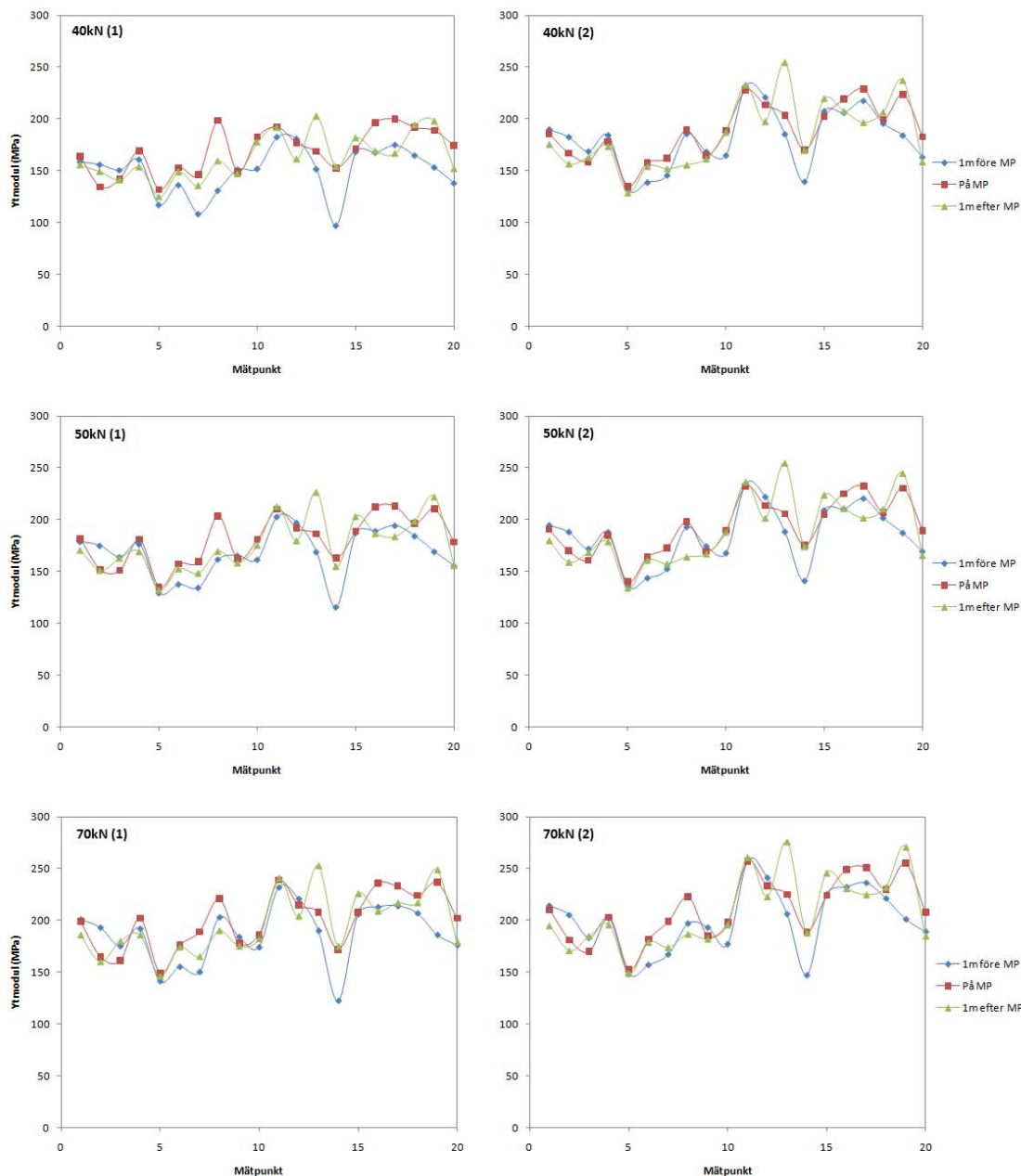
Tabell 6-4 Korrelationssamband mellan första och andra slagserier

Pos.	Mellan första och andra slagserier				k
	R ² 20 - 20	R ² 40 - 40	R ² 50 - 50	R ² 70 - 70	
På	0.887	0.754	0.936	0.966	1.04 - 1.11
1 m före	0.898	0.784	0.929	0.927	1.07 - 1.20
1 m efter	0.928	0.835	0.951	0.970	1.06 - 1.14

Även om linjäriteten generellt är god i samtliga samband, är det uppenbart att korrelationen är sämre i första slagserien än i den andra. Det tyder på att en bättre elasticitet kan uppnås genom upprepade fallviktslag. Sambanden som avser kraftpulser 20 kN och 40 kN har lägre korrelationsdeterminant. En förklaring är att kraftpulserna inte är tillräckligt höga för att stabilisera testmaterialet. Notera även att sambanden mellan 40kN i första och andra slagserien är sämre än samma jämförelse för 20kN. Eftersom kraftpulsen 40kN har en större djupverkan än 20kN när belastningen djupare ner i testmaterialet där variationer kan vara större än materialet vid markytan.

6.3.4 Kontrollpunkter

I kapitel 6.3.2 redovisades hur undersökningen av sättningsslaget indikerar att det föreligger en skillnad på en av kontrollpunkterna. I detta kapitel utförs en vidare undersökning av kontrollpunkterna för kraftpulser 40kN, 50kN och 70kN i respektive slagserie. Ytmoduler från respektive kraftpuls sammanställs i nedanstående diagram. Det är uppenbart att linjerna följer ungefär samma mönster, vilket återkopplas till linjäritet mellan de olika kraftpulserna som redovisades i kapitel 6.3.3.



Figur 6-4 Jämförelse mellan kontrollpunkter och ordinarie mätpunkter. Diagrammen till vänster tillhör första slagserie medan diagrammen till höger tillhör andra slagserie

Det är värt att lägga märke till att MP 14 där kontrollpunkten ligger före den ordinarie har en relativt låg ytmodul jämfört med ordinarie mätpunkt och den andra kontrollpunkten. I kapitel 6.3.2 diskuterades hur plattbelastningen påverkar sättningsslaget i fallviktsmätningen. Det visar även att kontrollpunkten som ligger före har generellt större deformation. En gemensam tolkning av detta är att plattbelastning har störst inverkan på fallviktsmätning då konstruktionen har sämre bärlighet.

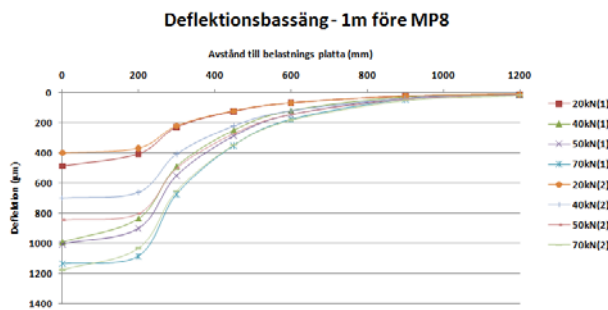
6.3.5 Repeterbarhet

I tidigare kapitel definierades repeterbarhet som en kapacitet för FWD att reproducera kalkylerad deflektionsbassäng under en serie av upprepade fallviktsslag utan att lyfta upp plattan. För att analysera repeterbarhet skapades deflektionsbassänger för varje mätpunkt. För en mätpunkt utgörs deflektionbassänger av 2 slagserier som innehåller 8 kraftpulser med tillhörande sju deflektioner för varje kraftpuls. Jämförelse av deflektionsbassänger görs dels för samma kraftpulser i två olika slagserier, dels för olika kraftpulser i båda slagserierna. Utseendet på deflektionsbassängen kommer även att beaktas. Deflektionsbassäng för sättningslaget utgår.

Repeterbarhet konstateras att vara god, speciellt för kraftpulsen 20kN där de flesta deflektionsbassänger nästan överlappar varandra. Det är tecken på att en relativt jämn deflektion kan åstadkommas på låg kraftpuls även efter flera fallviktsslag som är högre än 20kN. En annan förklaring är att de högre belastningarna inte påverkar deflektionsbassängen från 20kN slaget och att marken således påverkas endast i en begränsad omfattning vid fallviktsslaget 20kN, se deflektionsbassängerna i bilaga BILAGA 7.

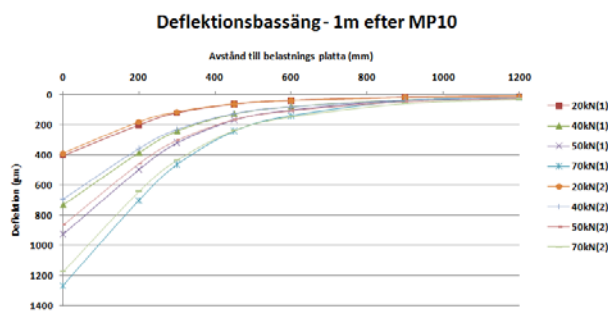
Vid jämförelse mellan deflektionsbassängerna för olika mätplatser är repeterbarhet generellt bättre på ordinarie mätpunkter än på de mätpunkter som är placerade 1 meter före. Mätpunkter som är placerade 1 meter efter har deflektionsbassänger som är snarlika de för ordinarie mätpunkter. Orsaken kan vara påverkan från PLT, en liknande förklaring för sättningslagets variation som redovisades i kapitel 6.3.2.. Jordmaterial står under tryck vid PLT och blir styvare samt stabilare.

Två huvudsakliga utseenden/former kan identifieras hos samtliga deflektionsbassänger. Det ena utseendet är skålformat, se Figur 6-5. Notera att figuren visar en extrem variant på skålformad deflektionsbassäng. För andra skålformade deflektionsbassänger är formen svagare. Kännetecknet för skålformen är knycken vid 300mm sensor där deflektionen plötsligt minskar. Eftersom deflektioner från de yttre sensorerna reflekterar responsen på jordmaterialet på ett större djup, kan knycken tyda på att materialet är inhomogent och mycket sannolikt att hårdheten i jordmaterialet plötsligt ökar. En förklaring kan vara påträffande av ett stenblock eller stenar av större fraktioner på djupet. Med tanke på att knycken upptäcktes i många deflektionsbassänger är det sannolikt att materialet är inhomogent på djupet. Möjligtvis kan knycken också bero på materialskifte i konstruktionen.



Figur 6-5 Exempel på skålformad deflektionsbassäng

Den andra varianten är trattformad och har utseende enligt Figur 6-6. Trattformen består ofta av deflektionsbassänger som avtar med mjukare kurvor från största deflektionen. Trattformen kan även kombineras med en svag skålform och då troligtvis vara tecken på ett materialskifte då det undre materialet är hårdare än det på ytan.



Figur 6-6 Exempel på trattformad deflektionsbassäng

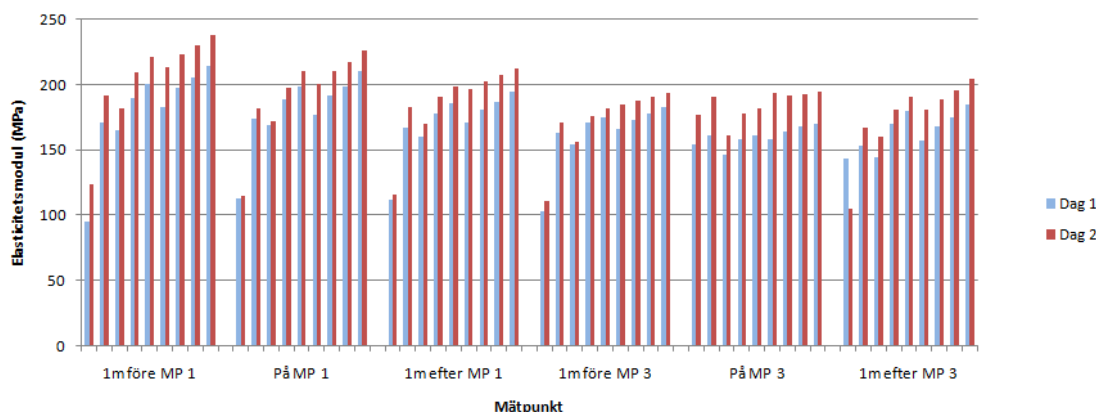
6.3.6 Reproducerbarhet

Definitionen för reproducerbarhet är enligt tidigare kapitel ett mått på hur väl mätresultatet från flera olika mätutrustningar överensstämmer med varandra. Då endast en fallviktsutrustning användes i detta fall, kan reproducerbarhet definieras om som ett mått på överensstämmelse för mätresultatet uppmätt vid olika tillfällen.

Mätningen har utförts på MP 1 & 3 inklusive kontrollpunkter en gång under dag 1 och en gång under dag 2. Ytmodulerna från alla slagen för respektive mätpunkterna är sammanställda i ett stapeldiagram, se Figur 6-7. Alla slagen utom ett sättningsslag vid MP3 har en högre ytmodul på dag 2 än dag 1. En förklaring är att mätningen på dag 2 fungerar som en tredje och fjärde upprepning av slagserier. Det innebär att jorden kan pressas ytterligare genom upprepade fallviktsslag. Det finns en ytmodul som till skillnad från de andra minskade på dag 2. Ytmodulen kommer från sättningsslaget och en förklaring till minskningen kan vara att markytan har blivit sämre och ojämn efter trafikering av tunga fordon, och att ytmoduler därmed inte påverkas för de högre kraftpulserna.

Det är dock svårt att entydigt bedöma upprepade fallviktsslag som den främsta orsaken till modulökning. Eftersom mätningen på testyta del 2 som utfördes på dag 2 var generellt högre kan det finnas yttre faktorer som har påverkat mätningen. Följande påståenden för modulökningen kan formuleras:

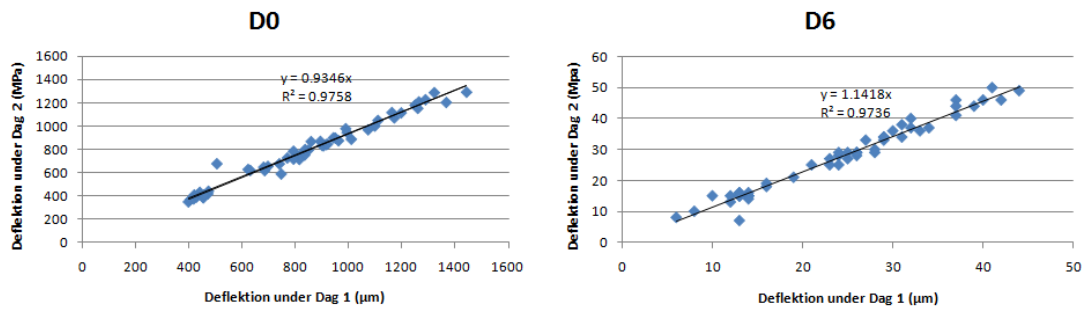
1. Anta att testyta del 2 har en högre bärighet än del 1. Då gäller att modulökningen på MP 1 & 3 beror på upprepning av slagserier.
2. Yttre faktorer förändrades under dag 2, vilket påverkade mätningen och medförde att det skedde en generell modulökning på grund av väderleken.
3. En synergieffekt av punkt 1 & 2 är att både upprepade fallviktsslag och yttre faktorer bidrog till modulökningen.



Figur 6-7 Ytmoduljämförelse för alla slagen utförd på två mätpunkter testyta del 1 under dag 1 & 2

Även här visas att slaget vid kraftpuls 40kN i slagserie 1(3:e slaget) ger lägre ytmodul än 20kN. Återigen kan orsaken vara att 40kN – slaget har djupare penetration än 20kN – slaget vilket reflekterar en större variation och möjligen större deformation i de undre materiallagren.

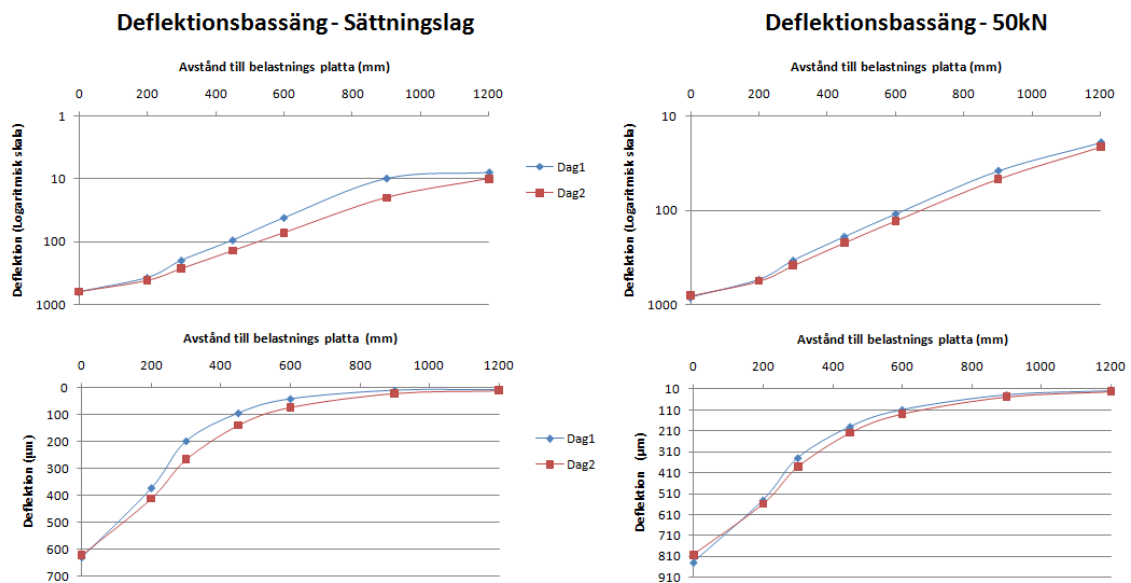
För en djupare undersökning är det värt att studera deflektionerna för seismometrarna D0 och D6 under båda dagarna. En enkel undersökningsform är att skapa ett linjärt samband mellan deflektioner på samma seismometer, se Figur 6-8. Korrelationsdeterminanten är i båda fallen ganska hög och har värden nära 1. Med stor sannolikhet kan linjäritet förklara att det föreligger ett elastiskt beteende och därmed stämmer påståendet om modulökning på grund av upprepade fallviktsslag.



Figur 6-8 Korrelations samband mellan deflektionerna under dag 1 och 2 för D0 respektive D6

Notera att proportionalitetskonstanten för den yttersta seismometern D6 är högre och har värde över 1 medan konstanten för D0 ligger under 1, vilket innebär att deflektioner mitt under plattan minskade på dag 2 medan deflektioner på den yttersta seismometern ökade på dag 2. Det finns en punkt i D0 respektive D6 som hamnar utanför början av korrelationslinjen och är sättningslaget från en meter efter mätpunkten 3.

En tydligare bild kan fås vid jämförelse mellan deflektionsbassänger, se Figur 6-9. Deflektionsbassänger är framtagna av deflektioner från sättningslaget och 50kN – slaget vid en meter efter MP 1. För en bättre översikt av de låga deflektionerna, se de nedre diagrammen i logaritmisk skala.



Figur 6-9 Jämförelse mellan deflektionsbassänger från dag 1 & 2 (exemplet är taget ifrån en meter efter MP 1)

Det är uppenbart att de trattformade deflektionsbassängerna har utplanats, och liknar upp och nervända skålar vars botten tryckts ner och plattas ut. Eftersom D0 representerar en ackumulerad ytmodul för hela konstruktionen kan minskningen vid dag 2 förklaras med att konstruktionen har blivit fastare totalt sett. Det visar dock en ökning av de mittersta deflektionerna som kan innebära att de undre materiallagren kunde packats ytterligare. Slutsatsen är att de övre materiallagren har blivit fastare på dag 1. Därmed möjliggörs en djupare penetration på de undre materiallagren på dag 2 och åstadkomma en större packning i undre lagren.

6.3.7 Belastningsförlopp

Eftersom time history är registrerad för varje fallviktsslag samt för varje sensor, kommer endast utvalda mätdata att analyseras i denna studie. Time history visar utvecklingen av deflektion och kraftpuls under belastningstiden. Genom att sätta deflektionen i relation till kraftpulsen skapas en så kallad belastningskurva. I detta sammanhang innebär energiförluster att det åtgår energi vid packning av material. Notera att den potentiella energinivån är konstant då slagen utförs på samma fallhöjd. Resterande energi åtgår till friktion och värmeförlust. Det går även att sätta deflektionen och kraftpulsen i relation till belastningstiden för att jämföra utvecklingen av båda parametrar.

Mjukvaran KUAB time history evaluation "Timeh" har använts för att översiktligt undersöka mätpunkternas belastningshistorik, och därefter har kurvorna sammanställts i excel-filer. Jämförelser på Time history genomförs huvudsakligen i **tre** nivåer:

Nivå 1. mellan alla ordinarie mätpunkter och kontrollpunkter (1 m före) för Evd 50kN i andra slagserien

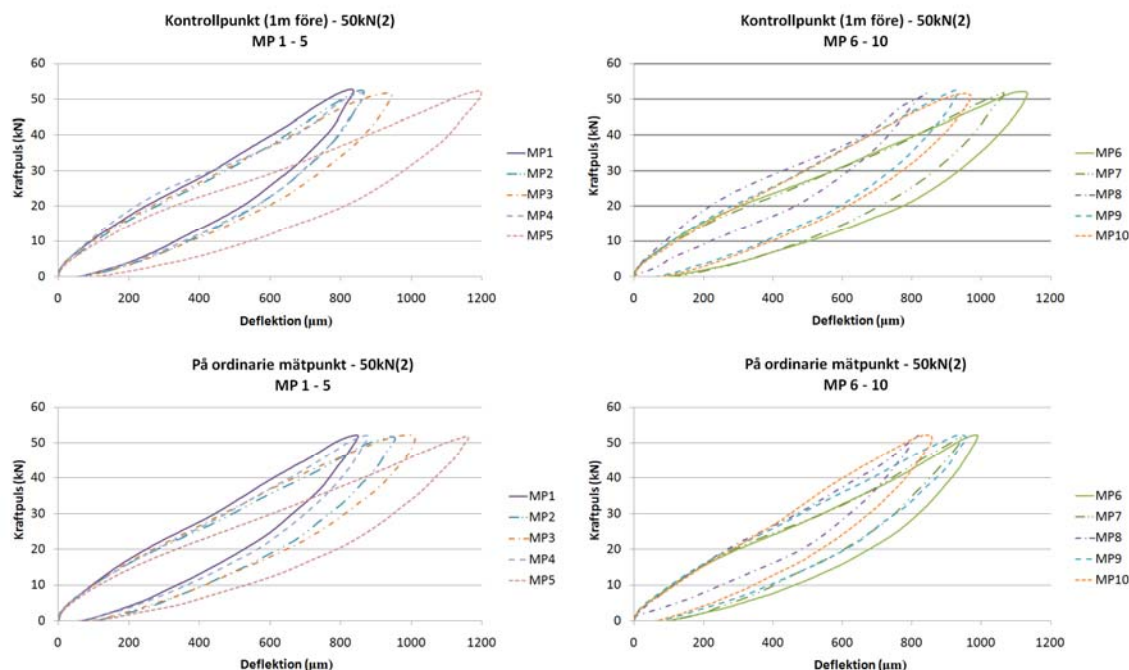
Nivå 2. mellan sättningslag och fallviktsslag i första respektive andra slagserien på utvalda mätpunkter, jämför även energimängden

Nivå 3. mellan olika sensorer på utvalda mätpunkter

Det är anmärkningsvärt att diskutera fallviktsslagen före 20kN och 70kN i andra slagserien då dessa två kraftpulser har olika grad av konditioneringar. Kraftpulsen 20kN i andra slagserien har sex föregående fallviktsslag som är lika med eller högre än 20kN medan 70kN i andra slagserien endast har ett föregående slag som har samma kraftpuls. Därför är 70kN i andra slagserien inte lämplig för denna typ av analys.

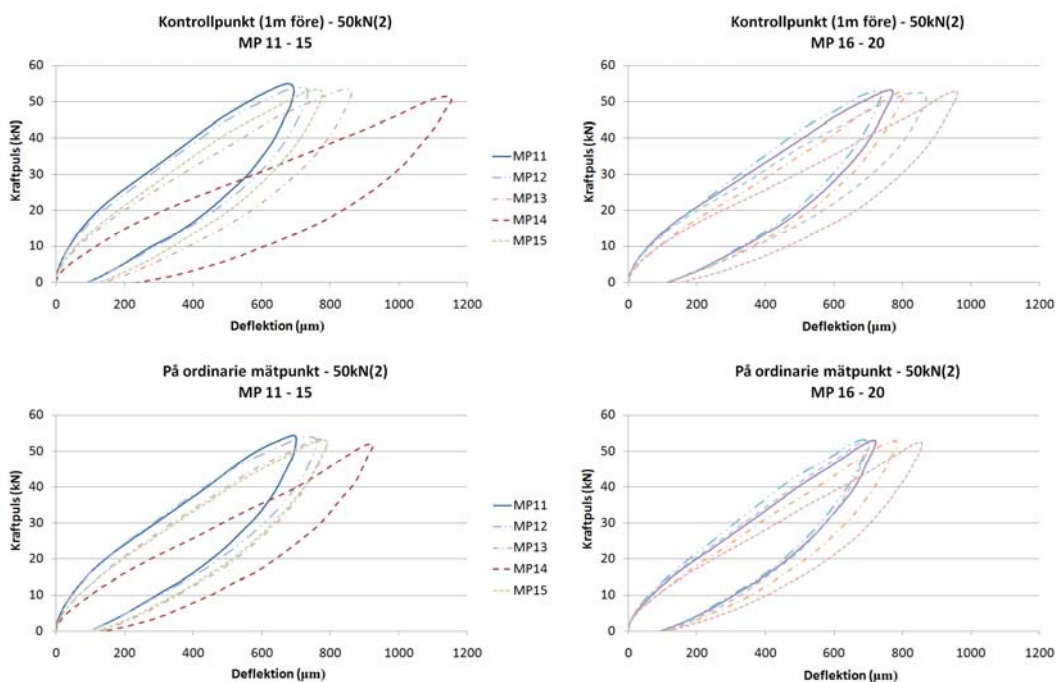
Nivå 1

Anledningen till att kontrollpunkter (1m före) ingår i jämförelsen är att skillnaderna mellan kontrollpunkter (1m före) och ordinarie mätpunkter är större gentemot skillnaderna kontrollpunkter (1m efter) och ordinarie mätpunkter, vilket behandlades översiktligt i kapitel 6.3.2. Belastningskurvor för mätpunkterna 1 till 20 är sammanställda i Figur 6-10 och Figur 6-11.



Figur 6-10 Belastningskurvor för ordinarie mätpunkter och kontrollpunkt (1m före), MP 1 - 10

Belastningskurvorna för MP 1 till 10 har former som är snarlika och lite lätt böjda. Kurvorna för MP 11 till 20 är också likartade men är mer ovalformade som riskorn. Generellt är belastningskurvornas areor för testyta del 1 mindre än för testyta del 2, vilket kan bero på att testyta del 2 krävde en större energimängd vid belastning av testmaterialet. Detta styrker hypotesen om att testyta del 2 är sämre packade. Belastningskurvor för kontrollpunkten visar att energiförlusten är större då denna mätpunkt är mindre påverkad från PLT. Detta är speciellt märkbart i MP 14 där ytan för belastningskurvor är avsevärt större för kontrollpunkten än för ordinarie mätpunkt, vilket även indikerar att en större energimängd förbrukades under belastningen. Notera att MP 8 har en spetsig form som skiljer sig från andra kurvor, vilket kan innebära att mätpunkten är mer elastisk i sin karaktär. En vidare undersökning utförs på mätpunkt 8.

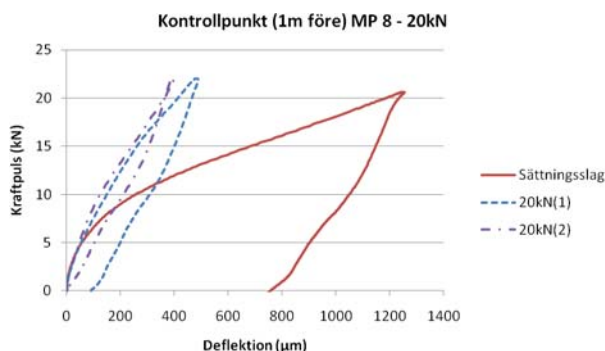


Figur 6-11 Belastningskurvor för ordinarie mätpunkter och kontrollpunkt (1m före), MP 11 - 20

Den ovala formen liknar den man får från viskoelastiska material, dock främst i början och slutet av belastning samt nära maximum där deflektionen och kraftpuls inte beskriver ett linjärt förhållande. I ett linjärt förhållande uttrycks en absolut elastisk respons med en rak kurva som sträcks ut och återgår till origo. En djupare analys av belastningshistorik utförs för mätpunkterna 8, 14 och 15. Även här används kontrollpunkter (1m före) då dessa är mindre påverkade.

Nivå 2

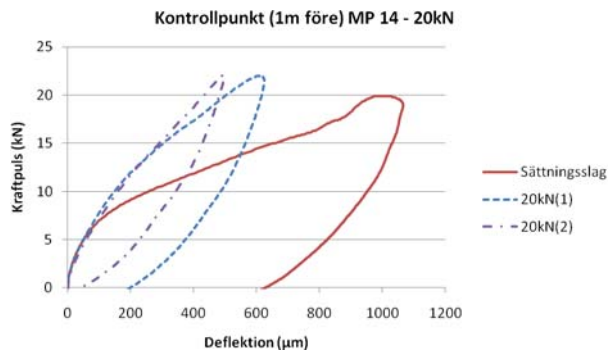
En sammanställning utförs av belastningskurvor från sättningsslaget och kraftpulser 20kN i första respektive andra slagserien. Energiförlusten för sättningsslaget samt slagen 20kN och 50 kN i första respektive andra slagserien kan uppskattas utifrån D0-kurvan genom integration av arean inom belastningskurvorna.



Figur 6-12 Belastningskurvor för kraftpulser 20kN på kontrollpunkt (1m före) MP 8

Tabell 6-5 Energiberäkning för MP 8

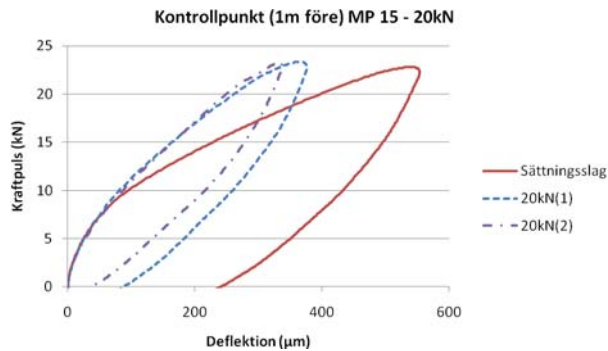
MP 8 - Kontrollpunkt (1m före)	
Fallviktslag	Energimängd (mNm)
Sättningslag	128961
20kN (1)	28653
20kN (2)	12356
50kN (1)	141882
50kN (2)	76545



Figur 6-13 Belastningskurvor för kraftpulser 20kN på kontrollpunkt (1m före) MP 14

Tabell 6-6 Energiberäkning för MP 14

MP 14 - Kontrollpunkt (1m före)	
Fallviktslag	Energimängd (mNm)
Sättningslag	112496
20kN (1)	58743
20kN (2)	30702
50kN (1)	325881
50kN (2)	198963



Figur 6-14 Belastningskurvor för kraftpulser 20kN på kontrollpunkt (1m före) MP 8

Tabell 6-7 Energiberäkning för MP 15

MP 15 - Kontrollpunkt (1m före)	
Fallviktslag	Energimängd (mNm)
Sättningslag	62360
20kN (1)	35002
20kN (2)	25015
50kN (1)	184589
50kN (2)	138632

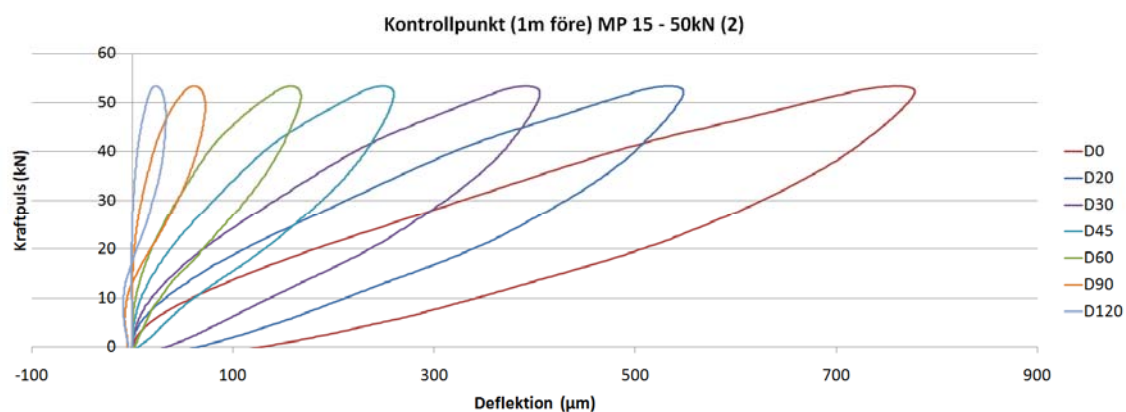
Utifrån antagandet att den framräknade energimängden motsvarar packningsenergin, är det naturligt att packningsenergin är sjunkande med upprepade fallviktslag av samma kraftpuls. Ju mindre elastiskt materialet är desto mer av den potentiella energin förbrukas i friktion (dämpning) och värmeförlust. Detta är uppenbart vid kraftpulserna 20kN och 50kN då energimängden sjunker med upprepade fallviktslag. Notera dock att skalan inte är enhetlig för alla tre figurer och belastningskurvor för 50kN är inte medtagna.

I samtliga tre fall minskade belastningskurvans area från sättningslaget till kraftpulsen 20kN i andra slagserien, vilket indikerar en minskning av packningsenergin. Dock visar kraftpulsen 50kN att materialet fortfarande kan packas eftersom packningsenergin är större, vilket inte alls är märkligt om materialet fortfarande är packningsbart vid större belastning än 20kN. Fenomenet visas speciellt i MP14 där packningen är otillräcklig vid låg belastning. Även MP15 visar att packningsenergin är relativt låg vid 20kN men att den ökar markant vid 50kN. Kraftpulsens nivå är således bestämmande för graden av konditionering.

Nivå 3

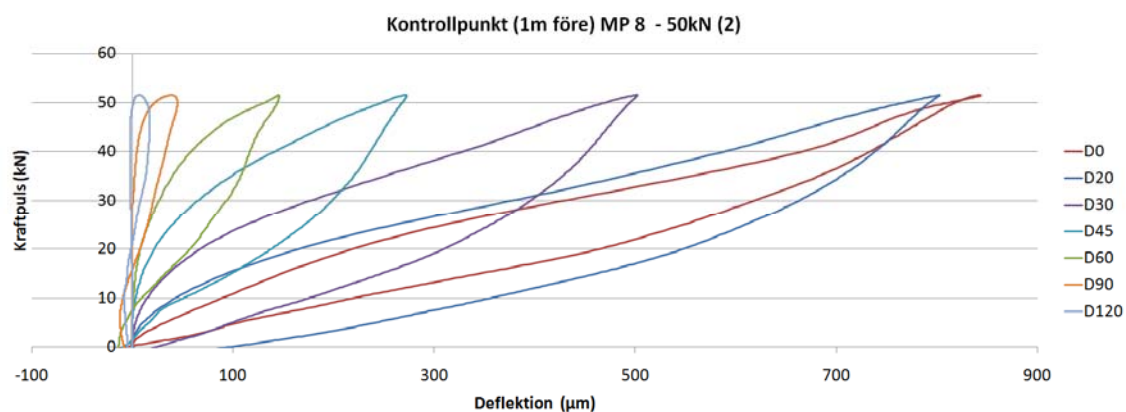
Belastningskurvor från sju seismometrar sammanställs för mätpunkterna 8, 14 och 15. Figurerna redovisas i bilaga BILAGA 6. Kurvorna från de olika seismometrarna kan skiljas utifrån storlek på deflektionen. I normalfallet är deflektionen störst vid D0 och minst vid D120, således ligger D120 kurva längst in till vänster i diagrammet.

Både MP 8 och MP 15 visar att de bortre seismometrarna (D90, D120) lyfts upp vid kraftpuls 50kN, se exemplet i Figur 6-15. Det kan vara tecken på närvaro av vatten i undergrunden då vattnet pressas utåt från belastningsplattan. Eftersom responsen är relativt måttlig kan det även finnas andra orsaker till att seismometrarna lyfts upp, exempelvis vid belastning som är högre än den testmaterialet kan tåla. Den lyftande responsen saknas i MP 14, vilket kan förklaras med att mätpunkten är otillräckligt packad. Varken vatten eller material trycks utåt eftersom det mesta av belastningen åtgår till omformning av materialet.



Figur 6-15 Belastningskurvor för sju seismometrar vid 50kN i andra slagserie, kontrollpunkt (1m före) MP 15

Man kan med blotta ögon observera att belastningskurvan D20 för MP8 har en större area än D0, se Figur 6-16. Detta var inte uppenbart vid sättningslaget men upptäcktes vid 50kN i första slagserien och utvecklades ytterligare i andra slagserien. Lastspridningen sker med djupet och reflekterar de yttre sensorerna beteendet hos de undre materiallagren. Orsaken till skillnad mellan areornas storlek kan därför vara att på lösare packning i undre lagret eller alternativt en mycket bra packning i ett tunt lager nära ytan. Det senare kan åstadkommas med en lätt vält eller en vibratorplatta.



Figur 6-16 Belastningskurvor för sju seismometrar vid 50kN i andra slagserie, kontrollpunkt (1m före) MP 8

6.3.8 Passningsräkning

Normalt används passningsräkning för färdiga konstruktioner med asfalterade ytor. I detta försök undersöks om passningsräkning är möjligt att använda för obundet granulära material. Lageregenskaper i form av E-moduler och töjningar bestäms med programmet CLEVERCALC utifrån olika inställningar och inmatade deflektionsvärden. Inställning av lagermodell utgår ifrån en 60cm tjock överbyggnad. I denna undersökning varierar en eller två styrparameter i taget och resten behålls fixa, se Tabell 6-8. Totalt provades 10 inställningar/modeller. Samma inställning används för passningsräkning i respektive testytor men främst testyta 1.

Tabell 6-8 Lagermodeller och inställningar för passningsräkning

Inställningsnr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lagertjocklek (cm)	Lager 1	10	30	10	10	10	10	10	10	10	10
	Lager 2	50	30	20	40	10	50	50	50	50	50
	Lager 3	Morän	Morän	30	10	20	Morän	Morän	Morän	Morän	Morän
	Lager 4	Berg	Berg	Morän	Morän	20	Berg	Berg	Berg	Berg	Berg
	Lager 5	-	-	Berg	Berg	Morän	-	-	-	-	-
	Lager 6	-	-	-	-	Berg	-	-	-	-	-
Seismometer	D0	x	x	x	x	x	x		x	x	x
	D20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	D30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	D45	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	D60	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	D90	x	x	x	x	x	x	x		x	x
	D120	x	x	x	x	x				x	x
Fallviktslag	Sätt (20)	x	x	x	x	x	x	x	x		
	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	40	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	50	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	70	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	20	x	x	x	x	x	x	x	x		x
	40	x	x	x	x	x	x	x	x		x
	50	x	x	x	x	x	x	x	x		x
	70	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Testyta	Testyta 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Testyta 2	x		x			x	x	x	x	x

Lagermodeller har huvudsakligen ställts upp utifrån de verkliga lagertjocklekarna som mättes in med GPS. Det är dock inte tillfredställande att bara testa de verkliga lagerskiljande skiktarna eftersom konstruktionen kan bete sig annorlunda under en belastning. I en tidigare analys av deflektionsbassänger upptäcktes exempelvis en "spricka" längre ner i konstruktionen och därför testas även andra lagermodeller. Dessutom kommer passningsräkningen att utföras med utvalda seismometrar och slagserier.

Poissons tal äsatts värdet 0,4 för alla lager. Av rimlighetsskäl samt för att undvika programkrasch minimivärde och maximivärde automatiskt till 10 resp. 10000000 MPa vid extrema värden av E – moduler sätts.

Generellt är E – moduler för översta lagret på 10cm relativt höga, vilket ligger mellan 1000 – 2000MPa för testyta 1 och upp till 5000 MPa för testyta 2. Detta kan dels bero på att de översta stenmaterialen belastas under hårt tryck då dessa är närmast plattan, dels bero på en "spricka" eller en skiljande gräns som finns djupt ner i testmaterialet. "Sprickan" har identifierats sedan tidigare kapitlet om deflektionsbassänger där en knyck upptäcktes vid 200 – 300 mm seismometer.

De olika inställningarna med respektive medel RMS-värden (Root-Mean Square) är sammanställd i Tabell 6-9. RMS är ett variansmått som beskriver skillnaden mellan uppmätta deflektioner och de som modellen ger för

de E-moduler som passats. RMS anges per givare i procent. Värden runt 1 % är vanliga på jämna ytor. På obundet bärlager är värdena runt 3 % i bästa fall.

Testyta 2 har allmänt högre passning med alla inställningar utom en, se Tabell 6-9. Den inställning som visade en sämre passning erhålls av första slagserie. Vid passningsräkning av andra slagserien förbättrades RMS-värdet markant, vilket styrker att testmaterialet blir bättre konditionerat vid andra slagserie för testyta 2. Även testyta 1 har en måttlig förbättring vid andra slagserie jämfört med första. Upprepade fallviktslag kan alltså generera en bättre packning och en större elastisk respons.

Med kvalitativ bedömning kan man i förväg komma underfund med att flerlagerindelning kan leda till höga RMS-värde eftersom de uppmätta värdena kan anpassas med mindre intervall. Detta påvisades bland inställningarna 1 till 5 där passningsräkningen fungerade bäst för den 5:e inställningen med ett genomsnittlig RMS-värde på 2,31. Högsta värdet på genomsnittligt RMS blev 7,53 och återfinns hos inställning 2. Det finns enstaka mätpunkter som har betydande större RMS-värde än de andra mätpunkterna oavsett lagermodeller. Hos dessa finns till exempel MP8 och MP14 vars belastningshistorik har analyserats tidigare och upptäckte bland annat otillräcklig packning. Även MP 1, 4, 5, 7 och 11 har betydligt högre RMS-värden och det beror främst på att korrelationen var dåligt vid sensorer D20 och D30. I vissa fall berodde avvikelsen på D90 och D120.

Tabell 6-9 Medelvärde av RMS från passningsräkning med Clevercalc

Testyta 1										
Inställningsnr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMS (Medel)	3.08	7.53	2.45	3.57	2.31	2.73	4.21	2.72	3.37	2.79
Standardav.	1.91	2.47	1.46	4.14	1.70	1.74	1.62	1.93	1.99	1.80
Testyta 2										
Inställningsnr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMS (Medel)	1.79	-	1.28	-	-	1.47	1.07	1.24	6.37	1.64
Standardav.	1.72	-	1.19	-	-	1.36	1.18	1.27	3.36	1.52

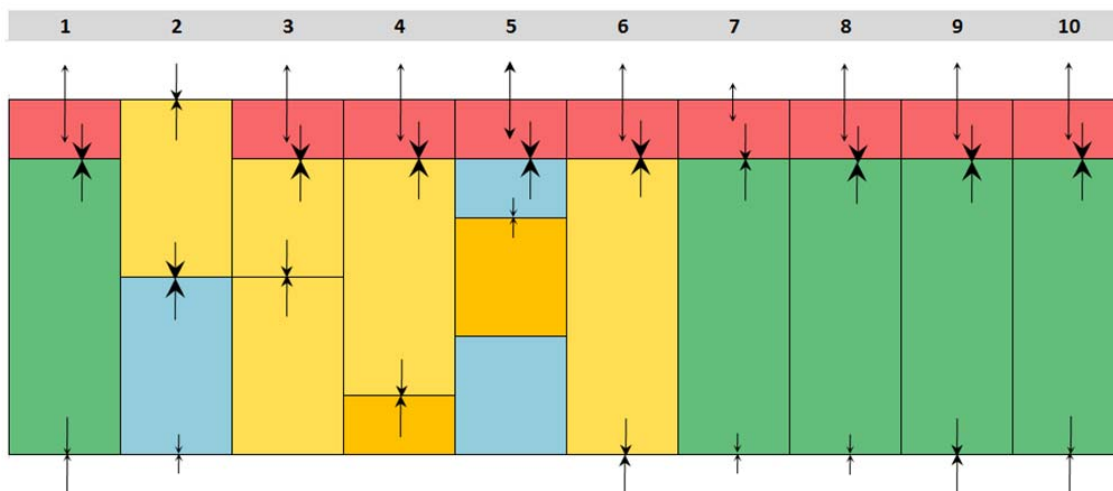
Vid borttagning av utvalda sensorer är passningsräkningen principiellt bättre. Med undantag av inställning 7 då seismometrarna D0 och D120 inte ingår i analysen, försämras passningen för testyta 1. Detta beror på att en del mätpunkter för testyta 1 innehåller en dålig passning för de mittersta seismometrarna. I detta avseende ifrågasätts medtagandet av de yttersta seismometrarna då de registrerade mätvärdena är låga och värdesiffrorna är få, vilket leder till att varje enskild registrerad sättning för de yttre sensorerna kan variera över 50 %. Således blir passningen bättre då de yttre sensorerna utesluts.

Erhållna E – moduler och töjningar från passningsräkningen redovisas med olika lagermodeller i Figur 6-17. Varje lagermodell har en total tjocklek på 60cm och delas upp i dellager beroende på inställningen. Data för kraftpuls 50kN i andra slagserien (första slagserien för inställning 9) kommer att användas för uppbyggnad av lagermodellerna, se beräknade data i Tabell 6-10. Analysen utförs med antagandet att konstruktionen är homogen läng mätsträcka och därmed används ett medelvärde av E – moduler och töjningar för varje testyta.

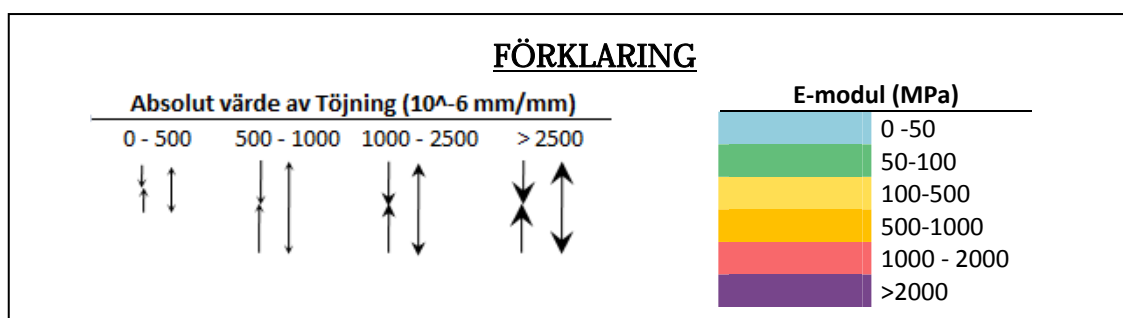
Tabell 6-10 Medelvärde av E-moduler och töjningar för testyta 1 (50kN i andra slagserien)

NR	E(1) (MPa)	E(2) (MPa)	E(3) (MPa)	E(4) (MPa)	Töj-1 (10 ⁻⁶ mm/mm)	Töj-2 (10 ⁻⁶ mm/mm)	Töj-3 (10 ⁻⁶ mm/mm)	RMS
1	1303	99	81	541	829	-3565	-1008	2.68
2	279	37	357	357	-1004	-3650	-185	6.88
3	1225	111	145	2692	728	-3591	-1603	2.22
4	1216	107	590	900872	757	-3459	-2313	2.77
5	1524	46	931	22	1314	-6398	-353	1.90
6	1271	101	510	933934	793	-3566	-1006	2.27
7	1935	76	231	262	417	-1387	-477	3.73
8	1367	89	269826	235	878	-3774	-372	2.22
9	1299	89	91	596	914	-3846	-1004	3.23
10	1247	99	89	536	792	-3423	-928	2.68

I Figur 6-17 kan man få en översiktlig bild av hur E-moduler och töjningar varierar med lagermodellen. I figuren kan man avläsa att översta lagret har höga E-moduler och medelstora trycktöjningar. I de flesta fallen var dragtöjningar stora mellan terrassen och överbyggnaden. I vissa fall är vertikala dragtöjningarna stora även i de mellersta materiallagren. Analysen av passningsräkningen påverkas således starkt av hur lagermodellen är uppställd. Att använda de verkliga lagertjocklekarna kan möjligen inte avspegla responsen i hela konstruktionen.



Figur 6-17 Illustration av E-moduler och töjningar för testyta 1



Notera att data i rådatafil som erhålls från Clevercalc endast redovisar töjningar för tre lager, vilket innebär att inställningar med lagerantalet större än 3 inte få alla töjningarna mellan lagren redovisade.

Föreställ att det finns en belastningsplatta över det översta lagret och ett lager bestående av morän under det understa lagret. Det är lätt förståeligt att materialet från första lagret till morän utsätts för tryck och trycket minskar med djupet, vilket redovisas i

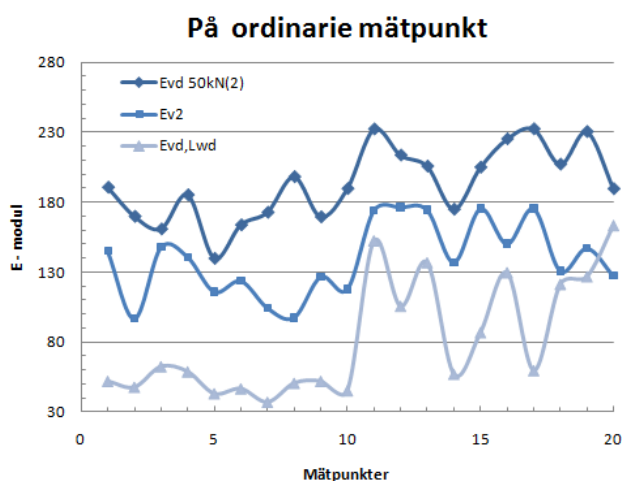
. Vertikal dragtöjningen som uppträder mellan plattan och ytan kan förklaras i en spänningsbild med tre huvudspänningsriktningar där den vertikala räkar vara minst.

6.4 Jämförelse mellan kontrollmetoderna

Jämförelsen mellan FWD och PLT baseras huvudsakligen på elastiskt beteende i testmaterialet. Undersökningen av korrelationssamband utgår från att Ev2 från plattbelastningen reflekterar en elastisk respons. Olika modeller används vid utvärdering av korrelationssamband. Slutligen diskuteras skillnader mellan PLT och FWD utifrån olika aspekter. Med hänsyn till att mätresultatet från LWD innehåller stora spridningar och variationer är det inte lämpligt att använda värdena till analys. Istället kommer utvärderingen av LWD att behandlas i kapitel 7.

6.4.1 Översiktlig jämförelse av mätresultat

Man kan konstatera att det finns en direkt koppling mellan mätresultaten från de olika kontrollmetoderna. Mätresultaten från LWD, FWD och PLT visar generellt att testyta del2 kan uppnå högre E – moduler än testyta del 1, vilket innebär att maximal bärighet är större på testyta del2, se Figur 6-18. Dock återstår det fortfarande att få variationer av mätvärdena fullständigt förklarade då många faktorer är inblandade, bland annat djupverkan och belastningstid.



Figur 6-18 Elasticitetsmodul på ordinarie mätpunkter från LWD, FWD och PLT

På testyta del 1 är standardavvikelser av E – moduler för LWD, FWD och PLT 7.4, 17.3 respektive 18.8 medan standardavvikelserna på testyta del 2 är 36.3, 19.1 respektive 20.5, se Tabell 6-11 och Tabell 6-12. För samtliga kontrollmetoder höjdes spridningen på testyta del 2 och speciellt för LWD. Tidigare resonemang om att PLT avslöjar packningskvalité i testyta del 1 respektive del 2 indikerar att packningsgraden har stor inverkan på fallviktsmätningar såväl för LWD som för FWD. Då packningsgraden är hög på testyta del 1 blir testytan stabilare för fallviktsmätning medan sämre packat material på testyta del 2 skapar större variationer.

Tabell 6-11 Sammanställning av mätresultat för testyta del 1

	Testyta del 1		
	LWD	FWD 50(2)	PLT Ev2
1	51.8	190.6	145.0
2	47.5	169.9	96.6
3	62.2	160.9	147.8
4	58.6	185.2	140.8
5	42.9	140.0	115.9
6	46.4	163.8	123.7
7	36.8	172.8	104.3
8	50.3	198.1	97.4
9	51.8	169.5	126.7
10	45.0	189.7	117.9
Medel	49.3	174.0	121.6
STD.	7.4	17.3	18.8

Tabell 6-12 Sammanställning av mätresultat för testyta del 2

	Testyta del 2		
	LWD	FWD 50(2)	PLT Ev2
11	152.0	232.0	174.3
12	105.3	213.5	176.5
13	136.4	205.6	174.5
14	56.8	175.0	137.1
15	86.5	204.9	175.5
16	129.3	225.0	150.3
17	59.4	232.1	175.4
18	121.0	207.0	130.8
19	126.4	230.2	147.1
20	163.0	189.5	127.3
Medel	113.6	211.5	156.9
STD.	36.3	19.1	20.5

I kapitel 6.2 konstaterades att PLT för testyta del 2 ger höga kvoter E_{v2}/E_{v1} som indikerar ett dåligt packningsarbete. För FWD är det svårare att åstadkomma en liknande kvot då vetskapen om lastspridningen fortfarande är liten. Vid PLT är det uppenbart att testmaterialet är ordentligt packade för de flesta fallen när belastningen uppgår till 500 kPa. Det är däremot inte lika självklart för vilken kraftpuls vid FWD som skapar en välkonditionerad testyta. Antalet upprepade fallviktslag kan också vara nyckeln till konditionering. Ett försök att värdera konditioneringen är att skapa en kvot mellan sättningsslaget och kraftpulsens 20kN i andra slagserien. Med anledning av variation i sättningsslaget mellan mätpunkterna, se kapitel 6.3.2, används mätvärdena från kontrollpunkten som ligger en meter före ordinarie mätpunkt. Kvoten för FWD skapas genom att använda ytmoduler från sättningsslaget och kraftpulsens 20kN i andra slagserien, se Tabell 6-13.

Tabell 6-13 Kvot mellan deformationsmodul för FWD och PLT

MP	FWD	PLT	Differens i procent
	(E_{20kN}/E_{sat})	(E_{v2}/E_{v1})	
1	1.87	1.87	0 %
2	1.69	2.32	38 %
3	1.58	1.64	4 %
4	1.83	1.86	2 %
5	1.59	1.98	24 %
6	1.01	2.78	175 %
7	2.62	3.08	17 %
8	3.12	3.02	-3 %
9	1.42	1.52	7 %
10	1.44	2.60	81 %
11	1.50	4.39	192 %
12	1.47	3.49	138 %
13	1.68	2.89	72 %
14	2.14	4.14	94 %
15	1.64	3.71	126 %
16	1.66	3.71	123 %
17	1.64	3.50	114 %
18	1.67	2.68	60 %
19	1.66	2.68	62 %
20	1.14	3.02	165 %

För testyta del 1 (MP 1 till 10) är det en relativt bra överensstämmelse mellan kvoterna för FWD och PLT. För testyta del 2 är skillnaden markant och ingen koppling kan påvisas. Man kan även i detta fall ifrågasätta packningsgradens inverkan på kvoterna vid fallviktsmätning. Eftersom energimängden är konstant mellan slagen attenueras slagenergi för packning vilket minskar deformationen för det 1:a slaget. För PLT registreras inte energin varför detta blir okänt. Mer energi går troligtvis åt för det första belastningen.

Skillnaderna på kvoterna för testyta del 2 väcker även misstankar om att temperaturdifferens kan ha påverkat markförhållandena eftersom temperaturen på andra dagen var lägre och nära 0°C i luften respektive markytan. Temperaturen har emellertid störst inverkan på granulära material som är högvattenhaltiga och leder till fryshavning. Eftersom inget jordprov var taget på testytan i samband med mätningen är det svårt att göra en bedömning av temperaturens inverkan. Terrassen består dock av en mycket fast jordart som anses ha låg vattengenomsläpplighet. Även stenmaterialet i överbyggnaden är dränerande, vilket innebär att risken är liten för att mätresultatet har påverkats av temperaturen. Om is har bildats under natten åtgär i regel energi dels för att krossa materialet dels för en eventuell fasskiftning.

Något som är värt att diskutera är mätningen på MP 14 där alla tre kontrollmetoder visar en tydlig nedgång på E – moduler. Mätpunkten planerades på en testyta som hade tydliga stenfraktioner på ytan för att undersöka skillnaden med de andra mätpunkterna. Resultatet visar att en mätpunkt med sämre bärighet på konstruktionen kan upptäckas med samtliga kontrollmetoder.

6.4.2 Korrelationssamband mellan FWD och PLT

Att en av kontrollmetoderna kan reflektera den elastiska responsen är en förutsättning för att kunna värdera ett korrelationssambands kvalitet. I denna jämförelse antas att Ev2 från PLT kan återspegla en god elasticitet i testmaterialet. Undersökning av korrelationssambandet baseras huvudsakligen på Ev2 från plattbelastningsmätningen och ytmoduler (Evd) från den andra slagserien i fallviktsmätning. Även i denna analys används normaliserade värden från fallviktsdata. Då resultat mellan kontrollpunkter och ordinarie mätpunkter är snarlika, används främst resultatet från ordinarie mätpunkter i jämförelsen. Korrelation undersöks med hjälp av regressionsanalys som utförs enligt följande modeller:

1. Jämförelse av samtliga mätpunkter för Ev2 och Evd (20, 40, 50, 70kN). Fallviktsdata från ordinarie mätpunkter används.
2. Jämförelse mellan Ev2 och medelvärde av Evd (20, 40, 50, 70kN) från samma kraftpuls utförd på ordinarie mätpunkter respektive kontrollpunkter.
3. Jämförelse mellan Ev2 och Evd 50 i första respektive andra slagserierna.
4. Jämförelse mellan Ev2 och Evd 50 i andra slag serien uppdelad på respektive testytor.

Undersökning av ett korrelationssamband utgår ifrån förstegradspolynom. Efter den linjära regressionsanalysen betraktas korrelationslinjens förhållande till de verkliga mätpunkterna. Om inte någon annan trend kan upptäckas utesluts en regressionsanalys av högregradspolynom. Korrelationslinjen beskrivs med en linjär ekvation:

$$y = k \cdot x + m \quad \text{[MPa]} \quad (6.2)$$

där

x = ytmodul, Evd för angiven kraftpuls från FWD

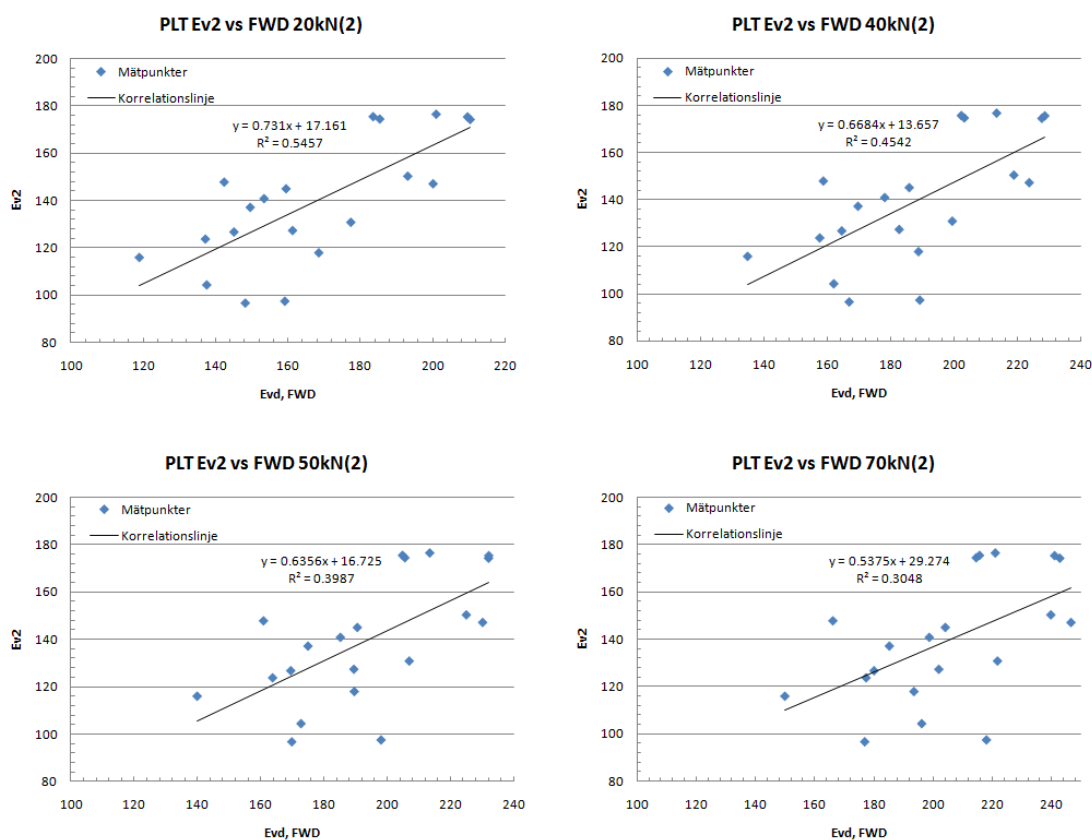
y = Ev2 från PLT

k = Proportionalitetskonstant

m = skärningspunkt med y-axeln

För varje korrelationssamband anges determinantkonstanten R^2 som är ett värde på korrelationens styrka. Ett värde på 1 på determinantkonstanten innebär att mätpunkterna sammanfaller exakt med korrelationslinjen. För en fullständig statistisk utvärdering utförs även en korrelationsanalys med punktskattning enligt "stickprov i par", se kapitel 3.4.4. Metoden undersöker om det finns någon systematisk skillnad mellan Evd och Ev2 samt mellan testytorna.

6.4.3 Jämförelse 1



Figur 6-19 Korrelationssambanden mellan PLT och FWD i jämförelse 1

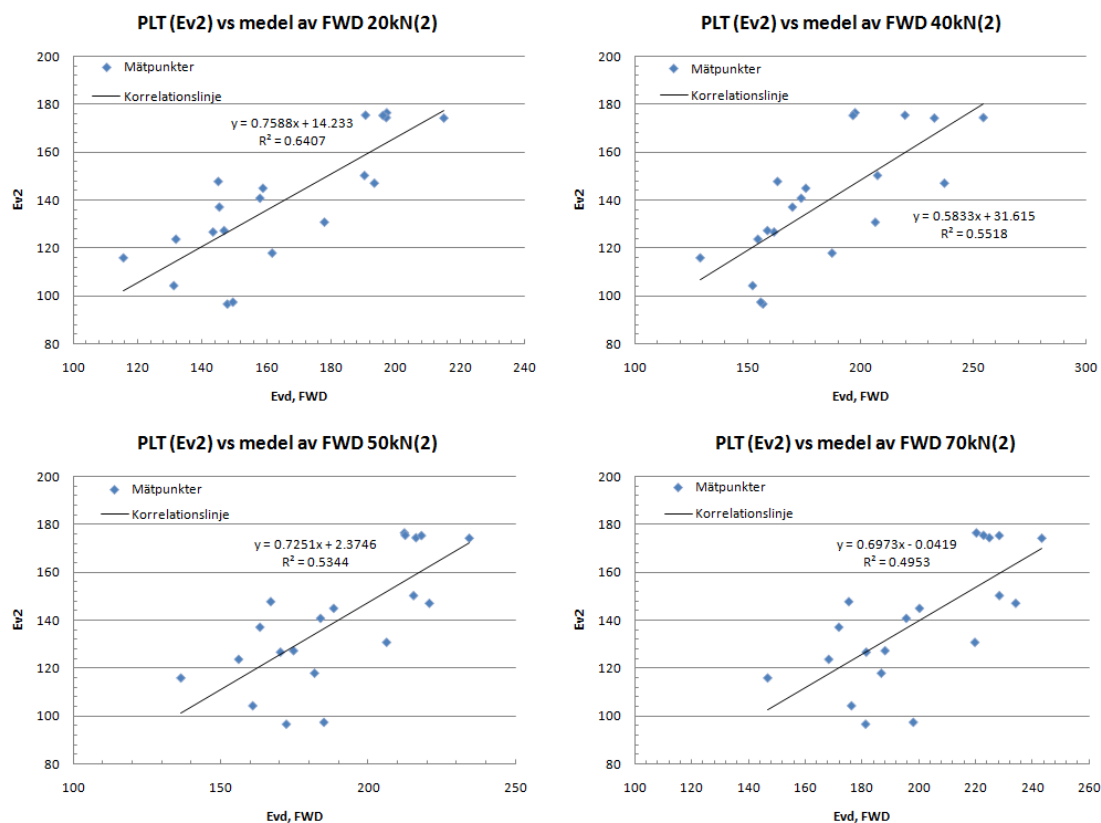
	Konfidensintervall, I_μ	Hypotestest
Ev2 vs 20kN	(19.6 , 35.9)	H_1
Ev2 vs 40kN	(39.5 , 57.8)	H_1
Ev2 vs 50kN	(43.9 , 63.2)	H_1
Ev2 vs 70kN	(54.5 , 76.1)	H_1

Trots att tidigare påvisades ett nästan linjärt samband mellan de olika kraftpulserna för FWD, visar kraftpulserna även skillnader på korrelation mot PLT. Korrelationen mot PLT var bäst för kraftpulsen 20kN med $R^2 = 0,55$ och sämst för kraftpulsen 70kN med $R^2 = 0,30$. Det föreligger en trend med sjunkande R^2 - värde vid ökande kraftpuls, vilket kan vara en slump då korrelation mellan de olika kraftpulserna är nästan linjärt.

Bortsett från slumpen kan orsaken till sjunkande korrelation vara djupverkan vid olika kraftpulser. En låg kraftpuls innebär att djupverkan begränsas till materiallager nära markytan. Efter ett antal upprepade belastningar med både FWD och PLT kan man med god säkerhet anta att material vid markytan är välpackade. FWD kan dock åstadkomma en belastning som nå djupt ner i materialet. Med antagandet att de undre lagren fortfarande kan packas, återges korrelationssamband med sjunkande determinantkonstant vid ökande belastning.

En annan förklaring till korrelationsskillnaden är att testmaterialet är inhomogent. Variationer hos egenskaper i marken leder till att fallviktsmätning med större kraftpulser avslöjar större variationer.

6.4.4 Jämförelse 2



Figur 6-20 Korrelationsambanden mellan PLT och FWD i jämförelse 2

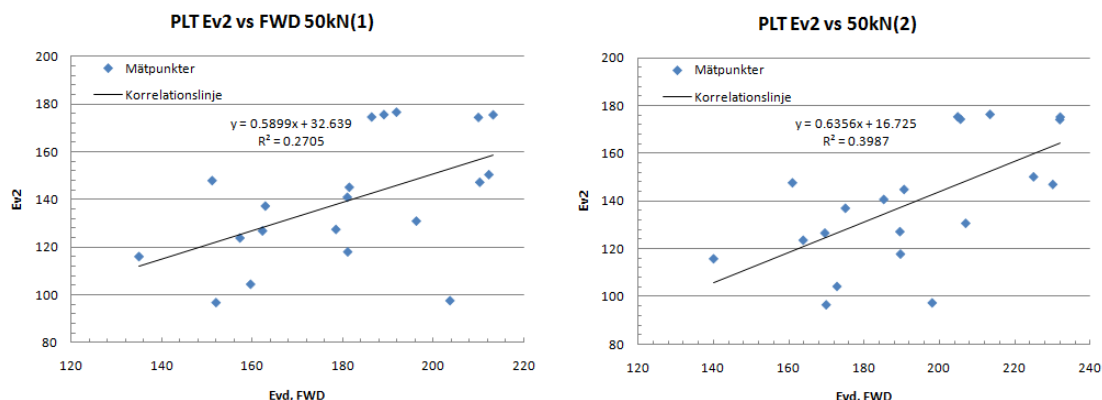
Konfidensintervall, I_{μ}	Hypotestest
Ev2 vs medel av 20kN (18.2 , 32.8)	H_1
Ev2 vs medel av 40kN (37.1 , 53.2)	H_1
Ev2 vs medel av 50kN (18.4 , 28.7)	H_1
Ev2 vs medel av 70kN (51.8 , 69.2)	H_1

Notera att kontrollpunkterna ligger en meter utanför den mätpunkt som PLT utfördes på. Om testmaterialet är väldigt likartat inom en meter, kan mätningarna kring ordinarie mätpunkter neutralisera påverkan från PLT:s belastningarna. Mätvärdena från kontrollpunkter kan därmed utjämna ytmoduler för FWD.

En jämförelse av diagrammen i Figur 6-19 och Figur 6-20 visar att mätvärdena från kontrollpunkterna gett ett bidrag till att höja korrelationsambanden. Det kan därför föreligga misstankar om att FWD – tester kring PLT - mätning kan ge bättre korrelationer. Som tidigare visats att utföra PLT – mätning först är en ren konditionering av testmaterialet inför FWD – mätning, vilket inte ger möjlighet för FWD att återspegla de verkliga förhållandena. Samtidigt är det en utmaning att skapa samma förutsättning för både FWD och PLT.

En annan förklaring till höjning av korrelationsamband är att kontrollpunkter helt enkelt utjämna den normala variationen som finns i fallviktsdata. Därför kan man inte utesluta kontrollpunkternas koppling till ordinarie mätpunkter.

6.4.5 Jämförelse 3

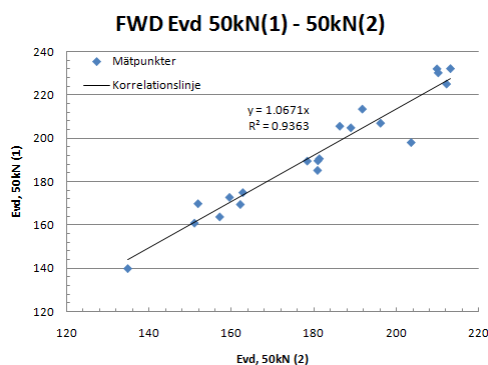


Figur 6-21 Korrelations samband mellan PLT och FWD i jämförelse 3

Konfidsintervall, I_{μ}	Hypotestest
Ev2 vs 50kN (1) (31.0 , 51.9)	H_1
Ev2 vs 50kN (2) (43.9 , 63.2)	H_1

Diagrammen ovan visar att ytmoduler, Evd från andra slagserien ger bättre korrelation mellan FWD och PLT gentemot ytmoduler från första slagserien. Av naturliga skäl packas stenmaterialet ytterligare och blir mer elastiskt när fallviktsslagen upprepas eller när en högre belastning används. Detta förutsätter att den högsta belastningen i första slagserien inte förstör den redan välpackade tillståndet.

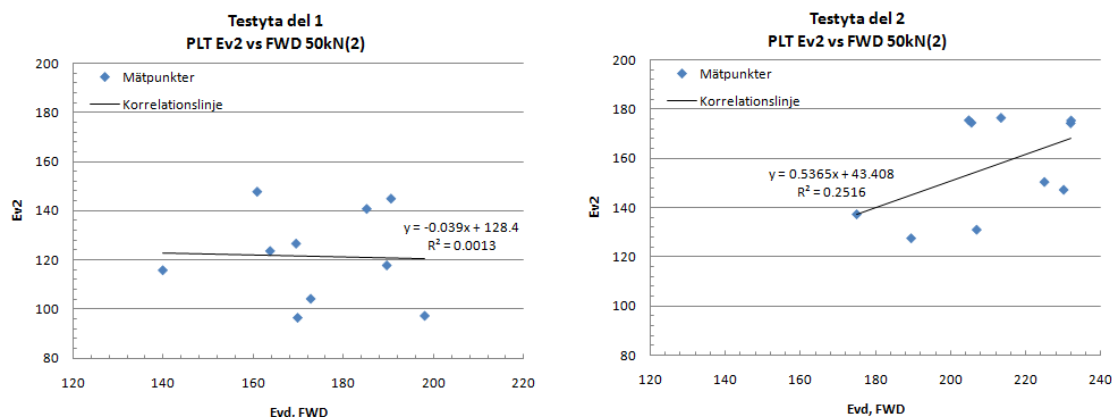
I kapitel 6.3.3 påvisades linjäritet mellan första och andra slagserien. För kraftpulsen 50kN har korrelations sambanden mellan två slagserierna ett R^2 - värde på 0.9363, vilket redovisats i tabell Tabell 6-4. Se även diagrammet nedan som visar mätpunkternas spridning i relation till korrelationslinjen.



Figur 6-22 Korrelations samband mellan första och andra slagserien för kraftpulsen 50kN i FWD

Vid jämförelse av Figur 6-21 och Figur 6-22 kan man konstatera att en liten spridning mellan samma kraftpuls för FWD kan leda till att korrelationen mot PLT försämras drastiskt. I detta fall sjönk R^2 - värde från 0,40 till 0,27 trots att korrelationen för kraftpulserna 50kN i respektive slagserierna var goda.

6.4.6 Jämförelse 4



Figur 6-23 Korrelations samband mellan PLT och FWD i jämförelse 4

Diagrammet ovan visar att mätpunkterna har en oregelbunden variation och att FWD – värdena för testyta del1 inte har någon som helst korrelation med Ev2. Även om korrelationen var något bättre för testyta del 2, är R^2 – värdet fortfarande för lågt för att styrka korrelations sambandet. Gentemot jämförelse 1 och 2 var korrelationen mycket bättre då båda testytorna användes. Det kan dock innebära att korrelationen i jämförelse 1 och 2 bildades slumpmässigt då vissa mätpunkter från testyta del 1 råkade passa in i linjen med testyta del 2.

Testytorna kan även utvärderas genom att kontrollera om det finns någon skillnad på PLT – värdena mellan Ev1 och Ev2 för respektive testyta samt mellan kvoterna Ev2/Ev1 för respektive testyta. Dock följer mätpunkterna i testyta 1 respektive testyta 2 inte helt parallellt med varandra. Därför sker jämförelsen enligt följande tabell:

Mätpunkter i testyta 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mätpunkter i testyta 2	12	14	15	16	17	18	19	20	13	11

	Konfidensintervall, I_{μ}	Hypotestest
PLT (Ev1)	(-23.5 , 0.4)	H_0
PLT (Ev2)	(24.8 , 45.7)	H_1
Ev2 / Ev1	(0.6 , 1.7)	H_1

Eftersom konfidensintervallet för Ev1 innefattar värdet 0 finns det möjligen ingen skillnad på Ev1 – värdena mellan båda testytorna med en felrisk på 5 %. Däremot kan man inte utesluta att det finns en skillnad för Ev2 – värdena och kvoterna Ev2/Ev1 då konfidensintervallet inte innefattar nollan.

6.4.7 Skillnader mellan kontrollmetoder

Gemensamt för samtliga tre kontrollmetoder är att belastningar upprepas för att uppnå en elastisk respons i testmaterialet. Skillnader i mätningssätt leder dock till att den elastiska responsen blir olika. I teoridelen behandlades de fundamentala skillnaderna mellan LWD, FWD och PLT. Det är två skilda belastningstyper som genererar dels en kort, dels en lång belastningstid. Den långa belastningstiden är en styrka hos PLT som möjliggör belastning på ett testmaterial under stabila förhållanden och därmed skapar en stabilare spänningsbild för jorden. Fallviktsmätningar, LWD respektive FWD skapar däremot en betydligt mer komplicerade spänningsbild då deformationen söker sig till löst material under kort tid. Resultatet kan skilja sig från fall till fall.

Djupverkan är en viktig faktor som bestämmer testmaterialets reaktion mot belastningen. Två deformationer med samma värde behöver inte nödvändigtvis innebära att marken deformeras på samma sätt. I ena fallet kan det vara en stor sättning på markytan medan det i det andra fallet kan vara de undre materiallagren som har stora sättningar. En belastnings omfattning i djupet och horisontalled kan därför bli viktig att känna till för att tolka mätresultatet. Av de tre kontrollmetoderna är det i princip endast FWD som möjliggör en detaljerad analys av djupverkan med anledning av att deformationer registreras även på avstånd från belastningsplattan.

En fördel med FWD är att tillförd energimängden går att beräkna utifrån fallviktsdata. Detta är svårare för PLT då belastningarna är manuellt styrda. Energimängden är avgörande för att avslöja en deformations bakomliggande orsaker och dessutom nära relaterad med djupverkan. Eftersom samtliga kontrollmetoder baseras på beräkning av E-moduler utifrån deformation kan man få den felaktiga uppfattningen att ett högt värde innebär bra bärighet. Ett opackat material kräver principiellt mer energi för att deformeras, således kan deformationen vara liten på grund av energiförlust vid packning.

Att mätningssproceduren är olika kan även påverka mätresultatet och ge felaktig information. Både LWD och PLT är manuell styrda mätningar vilket innebär att varje justering utförs av en mättekniker. Till exempel behöver ledstången i LWD luta rätvinklig mot marken för att önskad belastning ska erhållas. Upprepade belastningar vid PLT kräver att mätteknikern är kunnig och prickar in rätt belastning med rätt varaktighet. Även ställningen vid PLT behöver justeras med vattenpass för att skapa en jämn belastning på marken. Då proceduren är repetitiv och monoton kan det uppstå slarv i vissa moment och därmed kan mätvärdena bli felaktiga.

Något som inte är medtaget i analysen men som bör uppmärksammas är de viskoelastiska effekter som uppkommer vid deformation av ett material. Det är speciellt viktigt vid en långtidslast som skapar tidsberoende deformationer. Vid mätning av PLT kan exempelvis krypdeformationer uppstå när testmaterialet anträffar en bestämd varaktighet och belastning. Vid fallviktsmätning blir visko-elasticitet påtaglig med hänsyn till att belastningen är väldigt kort.

7. DISKUSSION

För att möta dagens industribehov och framtida utveckling ställs krav på bättre kvalitet och snabbhet för kontrollmetoder i detta sammanhang bärighetsmätning. Fallviktsutrustningen (FWD) klarar många mätningar på en väg under en dag till skillnad från PLT som endast kan utföra ett fåtal representerar en ny modern teknik. Det är att jämföra med antalet pixlar för lysrörs TV och LCD TV då den första endast består av tre elektronkanoner medan den senare varianten består av många små lampor. Om en elektronkanon går sönder försämrar drastiskt bildkvaliteten. På samma vis; om en av de få mätpunkter som mäts med PLT inte kan användas, kan analysen falla ihop på grund av att det saknar ett statistisk signifikant underlag.

En mer avancerad teknik kan också innebära problem och utmaningar. I de fall där variationer längs vägen är stora är det svårt att bedöma eventuella samband mellan FWD och PLT med en regressionsanalys. En ideal testyta för en korrelationsanalys mellan FWD och PLT är en homogen yta som förblir homogen även efter belastningar. Svårigheten är att egenskaper i det obundna materialet också förändras efter varje belastning. Man måste försöka begränsa faktorer som går att styra med avsikten att minska den totala variationen.

Att bedöma relationen mellan FWD och PLT utifrån ett värde på en korrelationsdeterminant är svårt med tanke på att antalet parametrar. Med ett värde på korrelationsdeterminanten runt 0,5 finns det inte belägg att hävda ett bra samband. Det går å andra sidan inte heller att utesluta ett samband även för ganska låga värden.

En absolut korrelation mellan FWD och PLT är inte att förväntas med tanke på att de två kontrollmetoderna mäter olika egenskaper. Belastningstiden och belastningstyper är olika vilket skapar skilda spänningsbilder för jordmaterialet under mark. Olika kraftpåslag gör också att belastningen går olika djupt. Ett fallviktslag är en koncentrerad belastning i tid som kan penetrera djupt ner i marken medan plattbelastning genererar en bredare belastning. Det skulle därför vara konstigt om en absolut korrelation finns då både kontrollmetoder inte mäter samma materiallager. Däremot kan det finnas samband genom att övre material reagerar på ett visst sätt genom egenskaper i underliggande material. Ett bra samband för FWD och PLT skulle alltså vara en slump av resultatet av ett flertal faktorer.

En optimal jämförelse mellan FWD och PLT är att genomföra två mätmetoder under exakt samma förutsättningar. Variationer i en vägkonstruktion är dock oundviklig. Utifrån fallviktsdata återfinns även att testmaterialet är inhomogent, vilket påverkar utvärdering av jämförelser mellan olika kontrollmetoder. Det är generellt svårt att skapa två identiska testytor med samma egenskaper med hänsyn till komplexitet i stenmaterial. Därför krävs det kunskaper om de båda kontrollmetodernas egenskaper för att bedöma vilka stenmaterial som är lämpad för båda kontrollmetoderna för att begränsa variationerna.

Utvärdering av mätresultat visar att graden av packningen är avgörande för den spridningen som uppkommer av slumpen. Det är naturligt att ett bra packat material minskar behovet av att upprepa belastningar vid bärighetsmätning för att mäta den elastiska responsen. Däremot är det inte självklart att en bra packning automatiskt ger en bra korrelation mellan två kontrollmetoder. Men ett välpackat testmaterial är en förutsättning för att begränsa variationerna av mätvärden.

Oavsett kontrollmetod ger upprepade belastningar generellt förbättra den elastiska responsen på testmaterialet. Detta påvisade såväl FWD och PLT då deflektionen minskade med upprepade belastningar. Detta gäller dock inte för LWD på grund av att fallvikten för denna är för lätt. Målet är att mäta en vägkonstruktions bärighet för den framtida trafiken, därför är det att föredra att använda FWD som kontrollmetod då denna efterliknar belastning från en tung lastbil. FWD har också i fördel att mätningstiden kort, 1-3 min per mätpunkt jämfört med 20-30 min för PLT – mätning. Att FWD – mätningen sker med automatik är också att föredra för att minimera fel relaterade till mätpersonal.

Tidsbundna deformationer är en viktig aspekt med hänsyn till att belastningstiden skiljer markant mellan FWD och PLT. Belastningstiden är även avgörande för hur deflektionen beter sig. Att definiera en standard belastningstid kanske kan generera mer jämförbara mätvärden såväl för användning av samma fallviktsapparat som för användning av olika fallviktsapparater.

Svårigheten att införa FWD orsakas av det bristfälliga statistiskt belägg för att bekräfta dess tillförlitlighet. Att FWD ständigt utvecklas skapar också svårighet att använda äldre fallviktsdata uppmätta med tidigare utrustningar. Undersökning med olika fallviktsapparater ger samma problematik. Skillnaden i mekanisk uppbygg-

nad i olika utrustningar och beräkningssystem genererar naturligtvis olika mätresultatet. Därför används fortfarande PLT till huvudsakliga kontrollmätningar vid utförande då denna metod är enkel och standardiserad. Standardisering av FWD är således en förutsättning för att utöka användning från allmänna bärighetsmätningar till kontrolluppdrag för packning och bärighet under byggande.

Det är ett enkelt sätt att jämföra en ny kontrollmetod med en äldre tillförlitlig kontrollmetod för att introducera den nya kontrollmetoden. Det förutsätter dock att båda kontrollmetoderna är jämförbara. Istället för att fokusera på att hitta ett korrelations samband med PLT ger det kanske större värde att undersöka hur FWD kan anpassas i olika fall. De extra information som FWD kan framställa skapar möjlighet att utvärdera vägkonstruktionen på en högre nivå. Man kan ställa sig frågan om FWD kommer helt att ersätta PLT eller att fungera som en komplementär kontrollmetod till PLT.

8. SLUTSATSER

FWD är en mätmetod som är lämpad för att bedöma bärlighet på en konstruktion då belastningen kan nå djupt ner. En välutvecklad metod för analys av fallviktsdata saknas dock för att utföra en packningskontroll men förutsättningarna är goda. Genom att utnyttja belastningsförlopp, spänningsberoende parametrar och energibetraktelser skapas möjlighet att utreda kvalitén på packningen. PLT är däremot lämpad för att bedöma packningen utifrån kvoten $Ev2/Ev1$, vilket påvisades i såväl tidigare forskning som i denna. Kvoten $Ev3/Ev2$ indikerar att en elastisk respons har uppnåtts och fungerar som en extra kontroll av packningen. Deformationsmodulerna erhållna från PLT kan dock inte uttryckas fullständigt till bärlighet. Det saknar även förut-sättning hos PLT för att göra energibetraktelser eftersom energi inte registreras vid mättillfället.

Eftersom bärlighet inte motsvarar packning, är det viktigt att klargöra vad som avses testet vid en utvärdering av olika mätmetoder. Dels önskas prövning om den utförda packningen på obundet material är tillfredstäl-lande, dels önskas undersökning om bärlighet på konstruktionen är tillräckligt för framtida bruk. Det är även viktigt att inte tolka deformationsmodulen fullständigt som bärlighet eftersom bärligheten är beroende av hela konstruktionens samverkan och töjningar i vissa kritiska punkter.

Anledning till att PLT fortfarande används i utförandekontroll kan bero på att metoden har funnits länge och att många i branschen har en god tillit till den samt att metoden föreskrivs som krav i svenskt regelverk. LWD kan användas som ett alternativ att utföra packningskontrollen på terrassen. För kontroll på grova material som finns i förstärknings- respektive bärlager, anses dock belastningen från LWD att vara alltför ytlig och man kan därför inte testa interaktionen mellan olika materiallager i hela konstruktionen. FWD erbjuder däremot denna möjlighet.

Svårigheten är att rekommendera standardiserade analysmetoder och gränsvärden som alternativ eller komplement till PLT. Många studier har tidigare genomförts med syfte att finna ett korrelationssamband mellan deformationsmodulerna från FWD och PLT. I detta examensarbete konstaterades ett korrelationssamband med determinantkonstanten cirka 0,5, vilket inte kan anses vara tillräckligt för att styrka ett samband, däremot kan inte heller uteslutas att ett samband existerar. Korrelation anses vara en enkel metod för att undersöka tillämpning av FWD då deformationsmoduler erhålls direkt som mätresultat. I själva verket kan ekvationen innehålla ett eller flera oberoende termer som inte tas hänsyn till i ett enkelt linjärt korrelationssamband. Dessa variabler är bland annat, olika lagers elastiska, plastiska och viskoelastiska egenskaper samt graden av packning. Vid mätning av FWD genereras korta dynamiska förlopp som påverkas av masströghet. Vid längre belastningsförlopp som i PLT kan krypningsegenskaper inverka. Därför kan energibetraktelser möjliggöra en gemensam och "rättvis" jämförelse eftersom energin är konstant.

Det svaga sambandet mellan deformationsmoduler för FWD och PLT kan delvis förklaras av mätförloppet. Men man får heller inte underskatta inverkan av testytans variationer i egenskaper i längdled och på djupet. Detta påverkar naturligtvis utvärderingen av sambandet mellan kontrollmetoderna då en god korrelation grundar sig på ett statistiskt underlag.

En utförlig analys av andra mätparametrar än deflektion har genomförts på fallviktsdata och visar även möj-ligheten att utnyttja mer information än enbart centrumdeflektion. Belastningshistorik kan exempelvis ge en ungefärlig energiförlust vid mätningen samt ger information om vad som inte överensstämmer med en elastisk modell. Man har även kunnat upptäcka svaga punkter i konstruktionen med hjälp av mätdata från de yttre givarna. De extra sensorerna möjliggör därför en djupare analys och identifiering av konstruktionens egenska-per.

Utvärdering med fallviktsdeflektometer (FWD) är alltså en relativt snabb och informativ metod för att kon-trollera bärligheten och packningen på en vägkonstruktion. Att tillämpa metoden på obundna granulära mate-rial innebär en stor effektivisering av packningskontroll jämfört med statisk plattbelastning (PLT). Fallvikts-data har dock uppvisat diskrepanser som inte går att förklara med de allmänt använda metoderna för bärlig-hetsutvärdering. Emellertid kan man med en djupare analys bestämma icke-elastiska parametrar som dyna-misk dämpning, viskoelasticitet, energiförluster på grund av ofullständig packning med mera. Den extra in-formationen från FWD kan utnyttjas i interaktiv design och därmed åstadkomma ett resurssnålt och hållbart byggande.

9. REKOMMENDATIONER

För att använda fallviktsutrustning som kontrollmetod av obundet material, krävs vidare och mer djupgående forskning. Framförallt bör man inte enbart studera på moduljämförelse mellan PLT och FWD då belastningsförloppen fungerar olika. Istället kan energibetraktelse användas vid en jämförelse. Med denna ansats finns också svårigheter då energin inte är lätt att mäta speciellt för PLT då denna metod består av manuellt styrda belastningar. Ett förslag är att utrusta en mätklocka på PLT för att mäta total kraftöverföring. Den kan sedan användas för energiberäkningar. För framtida undersökningar med PLT och FWD föreslås ett flertal rekommendationer. Rekommendationerna gäller för testytan, FWD respektive PLT:

Testyta

- Mätning med mindre variationer på överbyggnad och underbyggnad. Det innebär noggrann kontroll på utläggning och materialval.
- Utför mätningen under perioder som är ostörd av byggtrafik, eftersom tunga fordon kan luckra upp markytan
- Bestäm förutsättningar som går att påverka och variera några huvudparametrar, t.ex. mätning före och efter tillförsel av vatten
- Undvik att välja ytor som är ojämna eftersom plattan kan ha dålig anliggning och därmed ändra lastriktningen
- Om mätningen genomförs under en dag, bör mätningen förberedas genom att inhämta väderprognos samt undvika perioder med stora svängningar i temperatur och nederbörd. Alternativet är att mäta i två extremfall och observera skillnaden.

FWD

- Mer fokus på energibetraktelse, främst mot hysteresis diagram och förändring av kraft mellan olika slag och slagserier
- Använd en större platta än 300 mm i diameter på obundna material för att minska stansningseffekt och sprida ut kraft.
- Undersök belastningsförlopp med total deflektion genom att lägga ihop deflektioner från efterföljande fallviktslag, jämför med belastningar i PLT
- Karaktärisera belastningskurvans egenskaper för att möjliggöra användbarhet av mätdata
- Vid små sättningar vid de yttre sensorer, bör dessa sensorer uteslutas i analysen
- Använd stegvis ökande fallviktslag för att åstadkomma en god konditionering av testmaterialet. Det kan även undvika sönderslagning av stenmaterialet.
- Undersök relationen mellan bulkspänning och deformationsmodul, när relationen är god och $k_2 > 0,3$ kan det innebära en bra packning (Hansson & Lenngren, 2004)

PLT

- Utrusta PLT med mätare som registrerar energiåtgång
- Utveckla PLT med maskinstyrda kraftöverföringar för att åstadkomma jämnare belastning

REFERENSER

Skriftliga källor

Bok

Axelsson K. (2006). *Introduktion till Geotekniken: Jämte byggnadsgeologi, jordmaterialläran och jordmekaniken*. Uppsala universitet, Uppsala, Sverige.

Danish Road Institute (2002). *Verification of flexible pavement response from a field test*. Cornell University, Roskilde, Danmark, ISBN: 87-91177-07-3

E.J. Yodar & M.W. Witczak (1975). *Principles of pavement design: second edition*. Johan Wiley & Sons, Inc., New York, USA, ISBN: O-471-977801-2

Forsblad L. (2000). *Packning Handbok om packning av jord- och bergmaterial*. Svensk byggtjänst, Stockholm, Sverige, ISBN:91-7332-932-0

Grahn R. & Jansson Per-Åke (2002). *Mekanik. Studentlitteratur*; Lund, Danmark, ISBN: 91-44-01909-2

Magnuson Allen H. (1993). *Calculation of pavement layer properties using dynamic analysis of falling-weight deflectometer data*. Engineering research associate, Texas transportation institute, Texas, USA.

Odemark, N. (1949). *Undersökning av elasticitetsegenskaperna hos olika jordarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteori*. Statens Väginstitut, Stockholm, Sverige, meddelande 77

Sällfors G. (2001). *Geoteknik: Jordmateriallära, jordmekanik*. Göteborg, Sverige, ISBN: 8862082

Ullidtz Per (1998). *Modelling flexible pavement response and performance*. Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, ISBN: 87-502-0805-5

Werkmeister S (2003). *Permanent deformation behavior of unbound granular materials in pavement constructions Doktorsavhandling*. Avdelningen för pavement engineering, Dresdens Tekniska Högskola. Dresden, Tyskland, ISBN: 9789513871369

Wägberg Lars-Göran (2003). *Bära eller brista, Handbok i tillståndsbedömning av belagda gator och vägar – ny omarbetad upplaga*. Svenska kommunförbundet, Stockholm, Sverige, ISBN: 91-7289-172-6

Tidskrift

Ahlcrona M. (2001). *Utvärdering av tung fallvikt som alternativ till statisk plattbelastning vid bärighetsmätningar: Lund tekniska högskola*. Lund, Sverige.

Andersson K. & Erik L. (2008). *Funktionsentreprenad vid vägbyggnad – Faktorer som påverkar valet av entreprenadform*. Lund tekniska högskola, Lund, Sverige, ISSN: 1653-1922

Björkdahl M. & Jansson M. (2001). *Bärighet hos obundna material*. Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige, ISSN: 1104-9847

Bonaquist, R.F. & Witczak, M.W. (1997). *A Comprehensive Constitutive Model for Granular Materials in Flexible Pavement Structures - Proceedings Eighth International Conference on Asphalt Pavements, Vol. 1, pp. 783-802*. University of Washington, Seattle, WA, USA

Brown S. F. & Pell P. S. (1967). *An experimental investigation of the stresses, strains, and deflection in a layered pavement structure subjected to dynamic loads Proceedings of the 2nd International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements* Ann Arbor, USA. Pp. 487-504

Christoph A., Dietmar A., Fritz K. & Ivan P. (2008). *Computational validation of static and dynamic plate load testing* Innsbruck, Austria, ISSN: 1861-1125

- Danish Road Institute (1994). *Third FEHRL FWD seminar, Copenhagen, May 17-18, 1994 – Seminar report*. Denmark ministry of transport, Copenhagen, Denmark.
- Dietmar A., Christoph A. & Fritz K. (2004) *The dynamic load plate test with the light falling weight device: Experimental and numerical investigations In: Proceedings 11th International Conference on soil dynamics and earthquake engineering (11th ICSDEE), 7th – 9th January 2004*, University of California, Berkeley, Vol 1, pp. 649- 654. Berkeley, Austria, 2004.
- Granlund J. (1998). *Lagermodellens betydelse vid analytisk dimensionering av vägförstärkning – fallstudie av väg AC 363, delen Björksele – Vindelgransele* Lund Tekniska Högskola, Lund, Sverige.
- Hansson Jan & Lenngren C.A. (2004) *Comparing FWD Initial Tests with HVS Induced Initial and Long-Term Rutting Proceedings 2nd International Conference on Accelerated Pavement Testing 26-29 september, 2004 i Minneapolis* Minnesota, USA
- Mattsson S. & Sipari P.(2007). *Utredning av Aktiv designprojektet vid RV40 – Inriktning mot utveckling av objektiv kontrollmetod med avseende på framtida funktion*. Chalmers teknisk högskola, Göteborg, Sverige,
- Lekarp F. (1999). *Resilient and permanent deformation behavior of unbound aggregates under repeated loading* Division of Highway Engineering, Stockholm, Sverige, ISSN: 1104-683X
- Lenngren C.A. & Mårtensson B. (2003). *The falling weight deflectometer – an underestimated tool for managing forest road design and maintenance. Proc 2nd Forest Engineering Conference, Växjö 12-15 May 2003*. SkogForsk Arbetsrapport 535:129-138.
- Lenngren C.A. (2007). *Shortcut Techniques for Passberäkning of Pavement Moduli*. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sverige
- Lenngren C.A. (2009). *Going beyond elastic response while evaluating falling weight deflectometer data*. Vectura Consulting, Borlänge, Sverige, ISBN: 978-0-415-87199-0
- Lindberg Daniel & Lindfors Robin (2008). *Bärighetskontroll av obundna granulära material – En jämförelse mellan olika bärighetskontroller samt en alternativ utvärderingsmetod av bärighet med Lätt Fallvikt*. Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige.
- Road Hydraulic Engineering Division of Rijkswaterstaat (1997). *FEHRL-FWD seminar in DELFT, 11-12 November 1991*. Delft, The Netherlands.
- SGI (2007). Information 15: *CPT-sondering utrustning – utförande – utvärdering En in-situ metod för bestämning av jordlagerföljd och egenskaper i jord*. Statens Geoteknisk Institut, Linköping, Sverige, ISSN: 0281-7578
- Thoén Olle (1980) Falling Weight deflectometer - a device for bearing capacity measurement: properties and performance. KTH, Stockholm, Sverige
- Tompai Zoltán (2008) *Conversion between static and dynamic load bearing* Department of Highway and Railway Engineering, Budapest, Hungary
- Van Deusen D., Lenngren A. C. & Newcomb D. (1994). *Subgrade FWD-testing at the Minnesota road research project*. ASTM Special Report 1198, Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli 2nd Volume, Minnesota, USA
- Van Gurp C. (1994). *Comparative study and field calibration of falling weight deflectometers Delft University of Technology*. Delft, Holland, ISSN: 0169-9288
- Van Gurp C. (1994). *Field calibration of falling weight deflectometers. 3rd FERHL FWD seminar*. Gentofte, Copenhagen.
- Vägverket (1998). *Deflektionsmätning vid provbelastning med fallviktsapparat, Metodbeskrivning 112:1998*. Vägverket, Borlänge, Sverige, 17sidor, ISSN: 1401-9612

Vägverket (2000). *Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat, Metodbeskrivning 114:2000*. Vägverket, Borlänge, Sverige, 32 sidor, ISSN: 1401-9612

Vägverket (2007). *VVTBT Obundna lager. Publ. 2007:117*. Vägverket, Borlänge, Sverige, ISSN 1401-9612

Vägverket (2008). *VVTK Väg Publ. 2008:79, Vägverket*. Borlänge, Sverige, ISSN: 1401-9612

Vägverket (2003). *Underlagsrapport strategi för bärighet, drift och underhåll. Publ. 2003:99*. Vägverket, Stockholm, Sverige, ISSN: 1401-9612

Zoltán T. (2007). *Conversion between static and dynamic load bearing capacity moduli and introduction of dynamic target values*. Department of highway and railway engineering, Budapest, Hungary

Elektroniska källor

Huvstig Anders (anders.huvstig@vv.se). Hur arbeta med "Aktiv Design" i praktiken.
<http://www22.vv.se/filer/35768/Hur%20arbete%20med%20aktiv%20design%20i%20praktiken%20A%20Huvstig.pdf> Uppdaterad 060515, Nedladdad 091112

Löfqvist Torbjörn (Torbjörn.Löfqvist@mt.luth.se). Rapportskrivning: en introduktion.
<http://www.luth.se/depts/lib/rapport/index.html>. Uppdaterad 951101, Nedladdad 091225

Personliga kommunikationer

Anders Lenngren (Svevia)

Bertil Mårtensson (Vägverket)

Sussane Heyden (LTH)

BILAGA 1. GPS - Inmätning

Nedanstående data är framtaget med hjälp av GPS inmätningar.

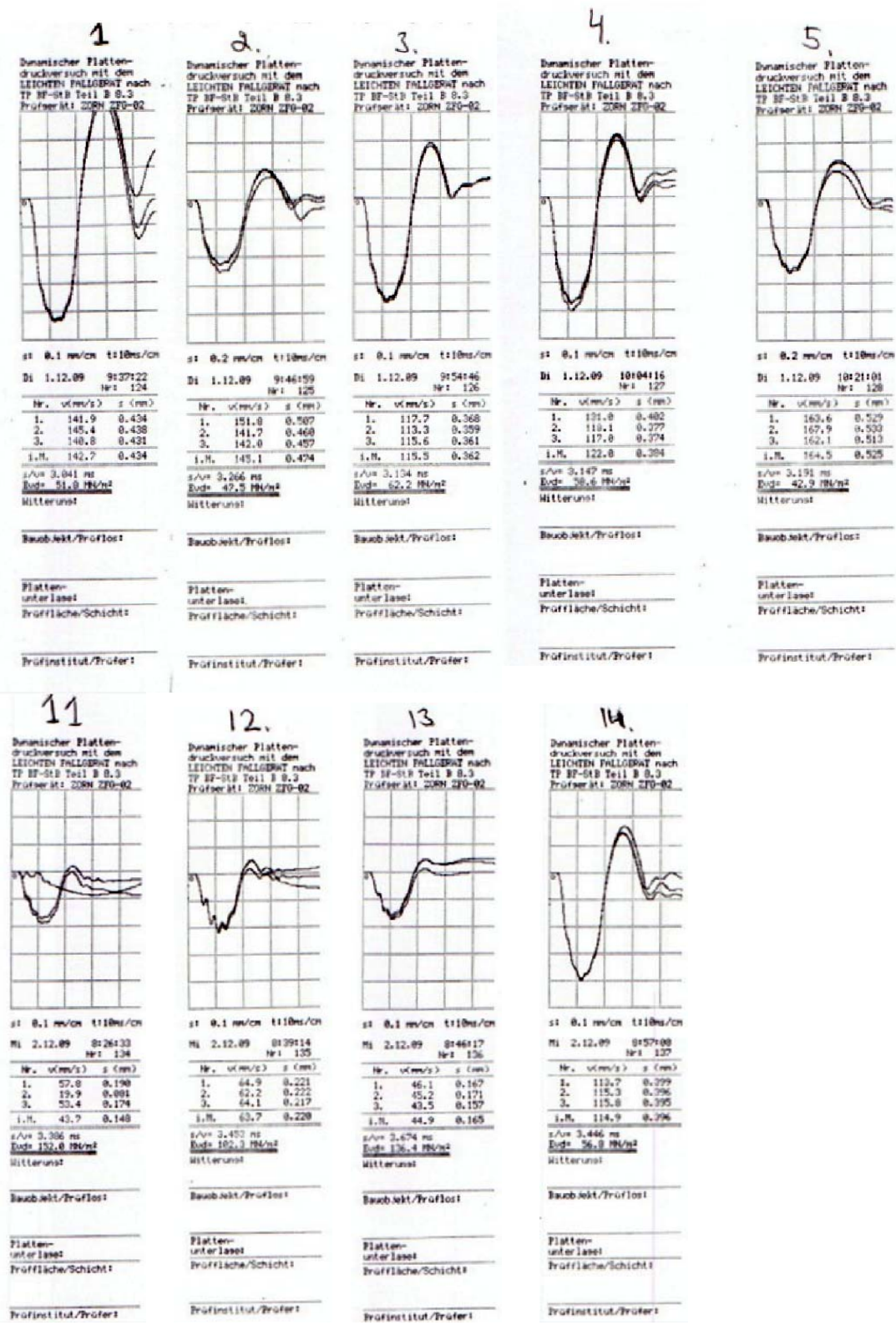
Mätpunkt	sektion	Förstärkningslager Tjocklek (m)	Bärlager Tjocklek (m)	Total Tjocklek (m)
1	1 379	0,548	0,09	0,638
2	1 359	0,562	0,08	0,642
3	1 355	0,555	0,06	0,616
4	1 341	0,556		0,556
5	1 311	0,422		0,422
6	1 298	0,453		0,453
7	1 287	0,589		0,589
8	1 279	0,385		0,385
9	1 369	0,563	0,08	0,643
10	1 401	0,573	0,09	0,663
11	1 402	0,593		0,593
12	1 385	0,546		0,546
13	1 375	0,563		0,563
14	1 360	0,564		0,564
15	1 349	0,563		0,563
16	1 337	0,554		0,554
17	1 327	0,568		0,568
18	1 315	0,577		0,577
19	1 304	0,554		0,554
20	1 280	0,443		0,443

BILAGA 2. Mätdata – Lätt tysk fallvikt

Notera att MP6 till MP8 saknar mätdata för varje sättning på grund av maskinfel, endast medelvärdet är registrerade.

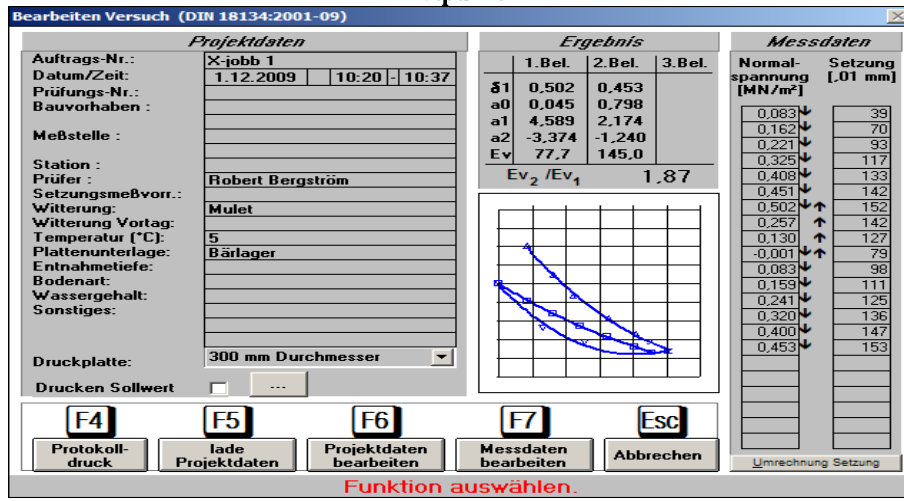
Mätpunkt	$E_{rd, LWD}$ (MPa)	S_{medel} (mm)	S1	S2	S3
1	51,8	0,43	0,43	0,44	0,43
2	47,5	0,47	0,51	0,46	0,46
3	62,2	0,36	0,37	0,36	0,36
4	58,6	0,38	0,50	0,38	0,37
5	42,9	0,53	0,53	0,53	0,51
6	46,4	0,49	Ej reg.	Ej reg.	Ej reg.
7	36,8	0,61	Ej reg.	Ej reg.	Ej reg.
8	50,3	0,45	Ej reg.	Ej reg.	Ej reg.
9	51,8	0,43	Ej reg.	Ej reg.	Ej reg.
10	45,0	0,50	Ej reg.	Ej reg.	Ej reg.
11	152,0	0,15	0,19	0,08	0,17
12	102,3	0,22	0,22	0,22	0,22
13	136,4	0,17	0,17	0,17	0,16
14	56,8	0,40	0,40	0,40	0,40
15	86,5	0,26	0,28	0,25	0,25
16	129,3	0,17	0,17	0,18	0,17
17	59,4	0,38	0,56	0,33	0,26
18	121,0	0,19	0,18	0,19	0,19
19	126,4	0,18	0,19	0,17	0,17
20	163,0	0,14	0,24	0,08	0,10

BILAGA 3. Belastninshistorik – Lätt tysk fallvikt

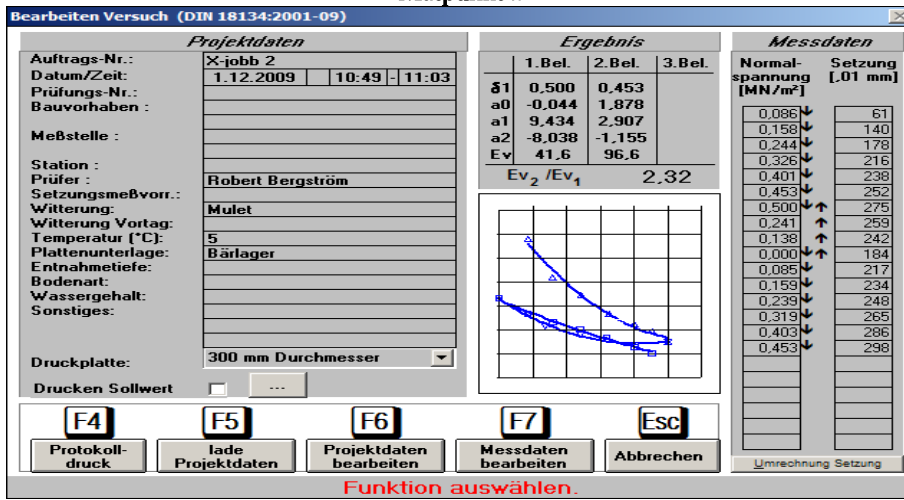


BILAGA 4. Mätdata – Statisk Plattbelastning

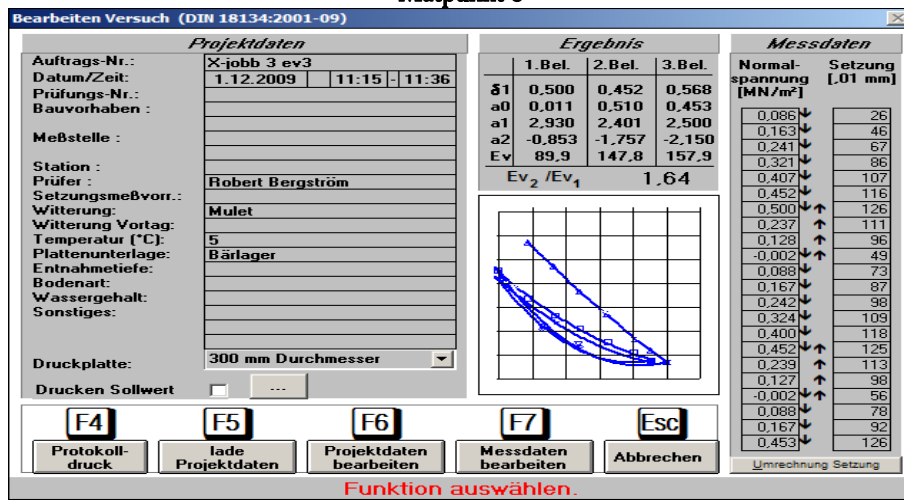
Mätpunkt 1



Mätpunkt 2



Mätpunkt 3



Mätpunkt 4

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 4	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m ²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	1.12.2009 12:01 - 12:13	δ_1	0,500	0,450	0,085	53
Prüfungs-Nr.:		a0	0,193	0,927	0,161	85
Bauvorhaben:		a1	4,412	2,712	0,243	111
Meßstelle:		a2	-2,870	-2,227	0,320	130
Station:		Ev	75,6	140,8	0,404	149
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	1,86		0,452	159
Setzungsmeßvorr.:				0,500	170	
Witterung:	Mulet			0,235	154	
Witterung Vortag:		0,134	141			
Temperatur (°C):	5	-0,003	90			
Plattenunterlage:	Bärlager	0,089	118			
Entnahmetiefe:		0,165	132			
Bodenart:		0,242	145			
Wassergehalt:		0,320	154			
Sonstiges:		0,397	165			
Druckplatte:	300 mm Durchmesser	0,450	171			
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...					

Protokoll-druck lade Projektdaten Projektdaten bearbeiten Messdaten bearbeiten Abbrechen

Funktion auswählen.

Mätpunkt 5

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 5	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m ²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	1.12.2009 12:22 - 12:34	δ_1	0,501	0,451	0,084	26
Prüfungs-Nr.:		a0	-0,181	0,951	0,163	63
Bauvorhaben:		a1	5,566	2,767	0,245	99
Meßstelle:		a2	-3,451	-1,648	0,321	125
Station:		Ev	58,6	115,9	0,400	148
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	1,98		0,450	162
Setzungsmeßvorr.:				0,501	175	
Witterung:	Mulet			0,231	163	
Witterung Vortag:		0,128	146			
Temperatur (°C):	5	-0,004	93			
Plattenunterlage:	Bärlager	0,086	119			
Entnahmetiefe:		0,164	137			
Bodenart:		0,241	152			
Wassergehalt:		0,321	166			
Sonstiges:		0,400	178			
Druckplatte:	300 mm Durchmesser	0,451	188			
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...					

Protokoll-druck lade Projektdaten Projektdaten bearbeiten Messdaten bearbeiten Abbrechen

Funktion auswählen.

Mätpunkt 6

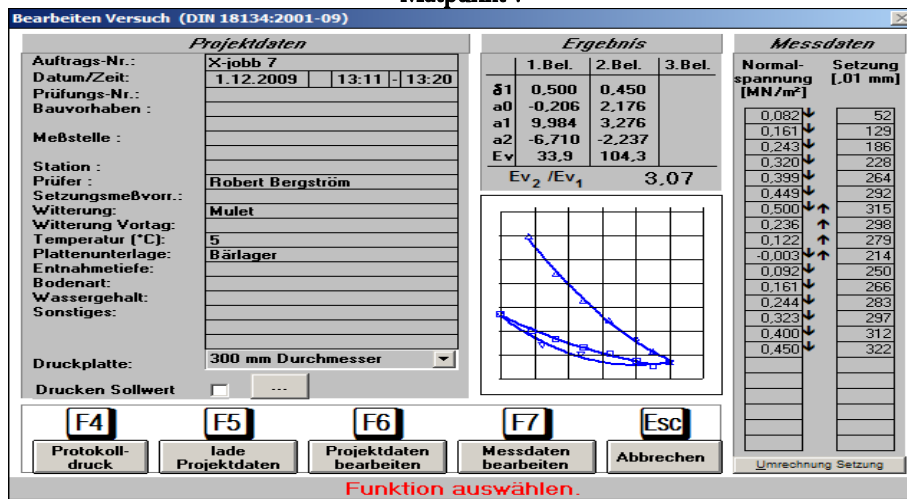
Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 6 ev3	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m ²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	1.12.2009 12:44 - 13:00	δ_1	0,504	0,450	0,088	23
Prüfungs-Nr.:		a0	-0,401	1,270	0,164	49
Bauvorhaben:		a1	6,350	1,921	0,245	79
Meßstelle:		a2	-2,572	-0,204	0,321	158
Station:		Ev	44,5	123,7	0,404	180
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	2,78		0,453	195
Setzungsmeßvorr.:				0,504	208	
Witterung:	Mulet			0,230	187	
Witterung Vortag:		0,126	168			
Temperatur (°C):	5	-0,002	126			
Plattenunterlage:	Bärlager	0,089	144			
Entnahmetiefe:		0,170	161			
Bodenart:		0,241	172			
Wassergehalt:		0,320	185			
Sonstiges:		0,400	199			
Druckplatte:	300 mm Durchmesser	0,450	211			
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...	0,231	194			
		0,124	177			
		-0,004	135			
		0,083	153			
		0,247	182			
		0,450	213			

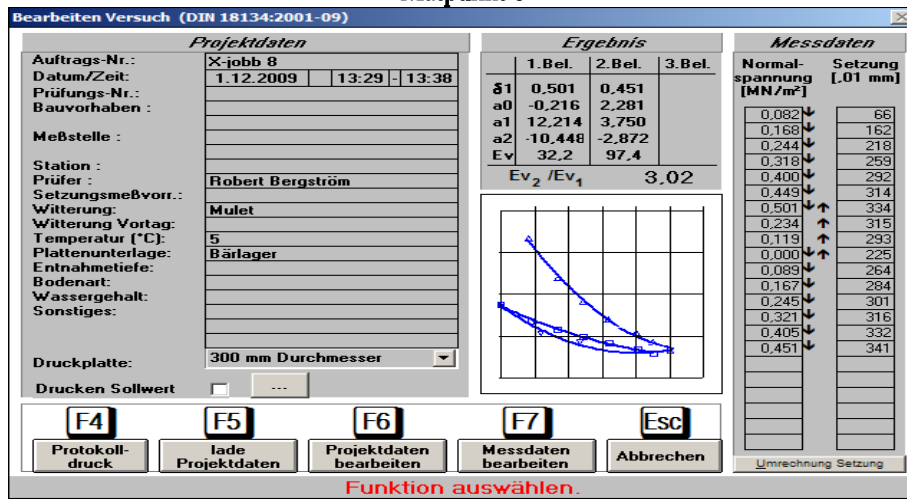
Protokoll-druck lade Projektdaten Projektdaten bearbeiten Messdaten bearbeiten Abbrechen

Funktion auswählen.

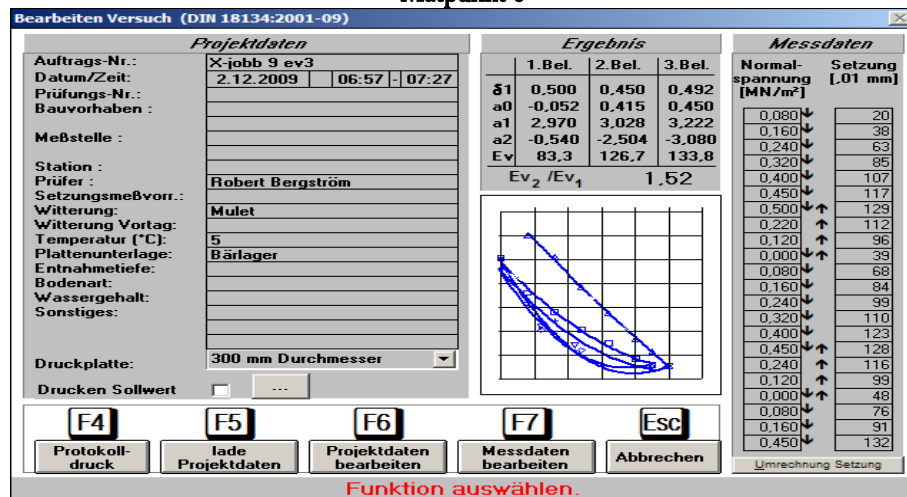
Mätpunkt 7



Mätpunkt 8



Mätpunkt 9



Mätpunkt 10

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 10	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	2.12.2009 07:07 - 07:37	δ_1	0.500	0.450	0.080	36
Prüfungs-Nr.:		a0	-0.172	1.464	0.160	85
Bauvorhaben:		a1	7.001	2.855	0.240	127
Meßstelle:		a2	-4.075	-1.893	0.320	164
Station:		Ev	45.3	117.9	0.400	201
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	2,60		0.450	212
Setzungsmeßvorr.:						
Witterung:	Mulet					
Witterung Vortag:						
Temperatur (°C):	5					
Plattenerlage:	Bärlager					
Entnahmetiefe:						
Bodenart:						
Wassergehalt:						
Sonstiges:						
Druckplatte:	300 mm Durchmesser					
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...					

F4 Protokoll-druck F5 lade Projektdaten F6 Projektdaten bearbeiten F7 Messdaten bearbeiten Esc Abbrechen

Funktion auswählen.

Mätpunkt 11

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 11	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	2.12.2009 08:57 - 09:11	δ_1	0.505	0.451	0.102	48
Prüfungs-Nr.:		a0	-0.295	2.261	0.159	92
Bauvorhaben:		a1	8.276	1.151	0.242	139
Meßstelle:		a2	-5.155	0.277	0.319	183
Station:		Ev	39.7	174.3	0.401	219
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	4,39		0.457	240
Setzungsmeßvorr.:						
Witterung:	klart, mulnande					
Witterung Vortag:						
Temperatur (°C):	-1					
Plattenerlage:	Bärlager					
Entnahmetiefe:						
Bodenart:						
Wassergehalt:						
Sonstiges:						
Druckplatte:	300 mm Durchmesser					
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...					

F4 Protokoll-druck F5 lade Projektdaten F6 Projektdaten bearbeiten F7 Messdaten bearbeiten Esc Abbrechen

Funktion auswählen.

Mätpunkt 12

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 12 ev3	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	2.12.2009 09:22 - 09:38	δ_1	0.499	0.448	1.979	58
Prüfungs-Nr.:		a0	0.126	1.873	0.450	103
Bauvorhaben:		a1	5.844	1.051	1.036	139
Meßstelle:		a2	-2.789	0.448	0.420	172
Station:		Ev	50.5	176.5	180.6	197
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	3,49		0.401	221
Setzungsmeßvorr.:						
Witterung:	klart, mulnande					
Witterung Vortag:						
Temperatur (°C):	-1					
Plattenerlage:	Bärlager					
Entnahmetiefe:						
Bodenart:						
Wassergehalt:						
Sonstiges:						
Druckplatte:	300 mm Durchmesser					
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...					

F4 Protokoll-druck F5 lade Projektdaten F6 Projektdaten bearbeiten F7 Messdaten bearbeiten Esc Abbrechen

Funktion auswählen.

Mätpunkt 13

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten																					
Auftrags-Nr.:	X-jobb 13	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m ²]	Setzung [.01 mm]																				
Datum/Zeit:	2.12.2009 09:50 - 10:05	δ_1	0.500	0.450	0.086	46																				
Prüfungs-Nr.:		a0	0.095	1.404	0.168	85																				
Bauvorhaben:		a1	4.601	1.239	0.242	111																				
Meßstelle:		a2	-1.738	0.101	0.325	140																				
Station:		Ev	60.3	174.5	0.403	164																				
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	2,89		0.452	183																				
Setzungsmeßvorr.:																										
Witterung:	klart, mulnande																									
Witterung Vortag:																										
Temperatur (°C):	-1																									
Plattenerlage:	Bärlager																									
Entnahmetiefe:																										
Bodenart:																										
Wassergehalt:																										
Sonstiges:																										
Druckplatte:	300 mm Durchmesser																									
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/>	<table border="1"> <tr> <td>0.500</td> <td>197</td> </tr> <tr> <td>0.226</td> <td>183</td> </tr> <tr> <td>0.137</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>-0.008</td> <td>139</td> </tr> <tr> <td>0.087</td> <td>152</td> </tr> <tr> <td>0.163</td> <td>161</td> </tr> <tr> <td>0.243</td> <td>171</td> </tr> <tr> <td>0.320</td> <td>181</td> </tr> <tr> <td>0.402</td> <td>191</td> </tr> <tr> <td>0.450</td> <td>199</td> </tr> </table>					0.500	197	0.226	183	0.137	175	-0.008	139	0.087	152	0.163	161	0.243	171	0.320	181	0.402	191	0.450	199
0.500	197																									
0.226	183																									
0.137	175																									
-0.008	139																									
0.087	152																									
0.163	161																									
0.243	171																									
0.320	181																									
0.402	191																									
0.450	199																									
<table border="1"> <tr> <td>F4</td> <td>F5</td> <td>F6</td> <td>F7</td> <td>Esc</td> </tr> <tr> <td>Protokoll-druck</td> <td>Lade Projektdaten</td> <td>Projektdaten bearbeiten</td> <td>Messdaten bearbeiten</td> <td>Abbrechen</td> </tr> </table>		F4	F5	F6	F7	Esc	Protokoll-druck	Lade Projektdaten	Projektdaten bearbeiten	Messdaten bearbeiten	Abbrechen	Umrechnung Setzung														
F4	F5	F6	F7	Esc																						
Protokoll-druck	Lade Projektdaten	Projektdaten bearbeiten	Messdaten bearbeiten	Abbrechen																						

Funktion auswählen.

Mätpunkt 14

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten																					
Auftrags-Nr.:	X-jobb 14	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m ²]	Setzung [.01 mm]																				
Datum/Zeit:	2.12.2009 10:14 - 10:25	δ_1	0.503	0.451	0.084	79																				
Prüfungs-Nr.:		a0	0.016	2.707	0.162	143																				
Bauvorhaben:		a1	9.658	1.703	0.239	198																				
Meßstelle:		a2	-5.691	-0.122	0.322	258																				
Station:		Ev	33.1	137.1	0.400	295																				
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	4,14		0.450	319																				
Setzungsmeßvorr.:																										
Witterung:	klart, mulnande																									
Witterung Vortag:																										
Temperatur (°C):	-1																									
Plattenerlage:	Bärlager																									
Entnahmetiefe:																										
Bodenart:																										
Wassergehalt:																										
Sonstiges:																										
Druckplatte:	300 mm Durchmesser																									
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/>	<table border="1"> <tr> <td>0.503</td> <td>345</td> </tr> <tr> <td>0.230</td> <td>331</td> </tr> <tr> <td>0.121</td> <td>314</td> </tr> <tr> <td>-0.001</td> <td>269</td> </tr> <tr> <td>0.090</td> <td>288</td> </tr> <tr> <td>0.161</td> <td>299</td> </tr> <tr> <td>0.243</td> <td>311</td> </tr> <tr> <td>0.319</td> <td>322</td> </tr> <tr> <td>0.404</td> <td>336</td> </tr> <tr> <td>0.451</td> <td>347</td> </tr> </table>					0.503	345	0.230	331	0.121	314	-0.001	269	0.090	288	0.161	299	0.243	311	0.319	322	0.404	336	0.451	347
0.503	345																									
0.230	331																									
0.121	314																									
-0.001	269																									
0.090	288																									
0.161	299																									
0.243	311																									
0.319	322																									
0.404	336																									
0.451	347																									
<table border="1"> <tr> <td>F4</td> <td>F5</td> <td>F6</td> <td>F7</td> <td>Esc</td> </tr> <tr> <td>Protokoll-druck</td> <td>Lade Projektdaten</td> <td>Projektdaten bearbeiten</td> <td>Messdaten bearbeiten</td> <td>Abbrechen</td> </tr> </table>		F4	F5	F6	F7	Esc	Protokoll-druck	Lade Projektdaten	Projektdaten bearbeiten	Messdaten bearbeiten	Abbrechen	Umrechnung Setzung														
F4	F5	F6	F7	Esc																						
Protokoll-druck	Lade Projektdaten	Projektdaten bearbeiten	Messdaten bearbeiten	Abbrechen																						

Funktion auswählen.

Mätpunkt 15

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten																																	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 15 ev3	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m ²]	Setzung [.01 mm]																																
Datum/Zeit:	2.12.2009 10:42 - 10:57	δ_1	0.506	0.454	2.176	70																																
Prüfungs-Nr.:		a0	0.132	2.056	0.453	134																																
Bauvorhaben:		a1	7.336	1.084	1.009	164																																
Meßstelle:		a2	-5.103	0.391	0.332	194																																
Station:		Ev	47.3	175.5	191.2	223																																
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	3,71		0.403	237																																
Setzungsmeßvorr.:																																						
Witterung:	klart, mulnande																																					
Witterung Vortag:																																						
Temperatur (°C):	-1																																					
Plattenerlage:	Bärlager																																					
Entnahmetiefe:																																						
Bodenart:																																						
Wassergehalt:																																						
Sonstiges:																																						
Druckplatte:	300 mm Durchmesser																																					
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/>	<table border="1"> <tr> <td>0.506</td> <td>258</td> </tr> <tr> <td>0.230</td> <td>246</td> </tr> <tr> <td>0.119</td> <td>235</td> </tr> <tr> <td>0.000</td> <td>206</td> </tr> <tr> <td>0.085</td> <td>214</td> </tr> <tr> <td>0.165</td> <td>225</td> </tr> <tr> <td>0.244</td> <td>235</td> </tr> <tr> <td>0.321</td> <td>244</td> </tr> <tr> <td>0.400</td> <td>255</td> </tr> <tr> <td>0.454</td> <td>263</td> </tr> <tr> <td>0.230</td> <td>256</td> </tr> <tr> <td>0.140</td> <td>247</td> </tr> <tr> <td>0.000</td> <td>218</td> </tr> <tr> <td>0.082</td> <td>225</td> </tr> <tr> <td>0.167</td> <td>236</td> </tr> <tr> <td>0.453</td> <td>270</td> </tr> </table>					0.506	258	0.230	246	0.119	235	0.000	206	0.085	214	0.165	225	0.244	235	0.321	244	0.400	255	0.454	263	0.230	256	0.140	247	0.000	218	0.082	225	0.167	236	0.453	270
0.506	258																																					
0.230	246																																					
0.119	235																																					
0.000	206																																					
0.085	214																																					
0.165	225																																					
0.244	235																																					
0.321	244																																					
0.400	255																																					
0.454	263																																					
0.230	256																																					
0.140	247																																					
0.000	218																																					
0.082	225																																					
0.167	236																																					
0.453	270																																					
<table border="1"> <tr> <td>F4</td> <td>F5</td> <td>F6</td> <td>F7</td> <td>Esc</td> </tr> <tr> <td>Protokoll-druck</td> <td>Lade Projektdaten</td> <td>Projektdaten bearbeiten</td> <td>Messdaten bearbeiten</td> <td>Abbrechen</td> </tr> </table>		F4	F5	F6	F7	Esc	Protokoll-druck	Lade Projektdaten	Projektdaten bearbeiten	Messdaten bearbeiten	Abbrechen	Umrechnung Setzung																										
F4	F5	F6	F7	Esc																																		
Protokoll-druck	Lade Projektdaten	Projektdaten bearbeiten	Messdaten bearbeiten	Abbrechen																																		

Funktion auswählen.

Mätpunkt 16

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 16	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m ²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	2.12.2009 11:06 - 11:17	$\delta 1$	0,502	0,451	0,088	74
Prüfungs-Nr.:		a0	-0,009	2,154	0,163	130
Bauvorhaben:		a1	9,305	1,787	0,243	187
Meßstelle:		a2	-7,474	-0,578	0,323	220
Station:		Ev	40,5	150,3	0,403	249
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	3,71		0,451	265
Setzungsmeßvorr.:						
Witterung:	klart, mulnande					
Witterung Vortag:						
Temperatur (°C):	-1					
Plattenunterlage:	Bärlager					
Entnahmetiefe:						
Bodenart:						
Wassergehalt:						
Sonstiges:						
Druckplatte:	300 mm Durchmesser					
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...					

Protokoll-druck lade Projektdaten Projektdaten bearbeiten Messdaten bearbeiten Abbrechen

Funktion auswählen.

Mätpunkt 17

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 17	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m ²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	2.12.2009 11:28 - 11:38	$\delta 1$	0,511	0,450	0,084	51
Prüfungs-Nr.:		a0	-0,039	1,739	0,161	100
Bauvorhaben:		a1	7,136	1,090	0,246	141
Meßstelle:		a2	-5,176	0,377	0,320	170
Station:		Ev	50,1	175,4	0,400	196
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	3,50		0,451	216
Setzungsmeßvorr.:						
Witterung:	smü regn					
Witterung Vortag:						
Temperatur (°C):	1					
Plattenunterlage:	Bärlager					
Entnahmetiefe:						
Bodenart:	1					
Wassergehalt:						
Sonstiges:						
Druckplatte:	300 mm Durchmesser					
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...					

Protokoll-druck lade Projektdaten Projektdaten bearbeiten Messdaten bearbeiten Abbrechen

Funktion auswählen.

Mätpunkt 18

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 18 ev3	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m ²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	2.12.2009 11:48 - 12:05	$\delta 1$	0,504	0,450	1,517	55
Prüfungs-Nr.:		a0	0,005	1,505	0,454	113
Bauvorhaben:		a1	7,600	2,188	2,715	154
Meßstelle:		a2	-5,933	-0,927	-2,179	204
Station:		Ev	48,8	130,8	139,2	212
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1	2,68		0,417	212
Setzungsmeßvorr.:						
Witterung:	mulet					
Witterung Vortag:						
Temperatur (°C):	1					
Plattenunterlage:	Bärlager					
Entnahmetiefe:						
Bodenart:	1					
Wassergehalt:						
Sonstiges:						
Druckplatte:	300 mm Durchmesser					
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...					

Protokoll-druck lade Projektdaten Projektdaten bearbeiten Messdaten bearbeiten Abbrechen

Funktion auswählen.

Mätpunkt 19

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 19	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	2.12.2009 12:12 - 12:24	$\delta 1$	0,508	0,454	0,086	53
Prüfungs-Nr.:		a0	0,039	1,465	0,164	97
Bauvorhaben:		a1	6,254	1,926	0,243	132
Meßstelle:		a2	-4,247	-0,780	0,324	161
Station:		Ev	54,9	147,1	0,401	186
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1		2,68	0,450	197
Setzungsmeßvorr.:						
Witterung:	mulet					
Witterung Vortag:						
Temperatur (°C):	1					
Plattenerlage:	Bärlager					
Entnahmetiefe:						
Bodenart:	1					
Wassergehalt:						
Sonstiges:						
Druckplatte:	300 mm Durchmesser					
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...					

Protokoll-druck lade Projektdaten Projektdaten bearbeiten Messdaten bearbeiten Abbrechen

Funktion auswählen.

Mätpunkt 20

Bearbeiten Versuch (DIN 18134:2001-09)

Projektdaten		Ergebnis			Messdaten	
Auftrags-Nr.:	X-jobb 20	1. Bel.	2. Bel.	3. Bel.	Normalspannung [MN/m²]	Setzung [.01 mm]
Datum/Zeit:	2.12.2009 12:33 - 12:43	$\delta 1$	0,501	0,453	0,082	80
Prüfungs-Nr.:		a0	0,235	2,193	0,160	139
Bauvorhaben:		a1	7,630	1,721	0,241	180
Meßstelle:		a2	-4,580	0,094	0,325	223
Station:		Ev	42,2	127,3	0,398	252
Prüfer:	Robert Bergström	Ev_2 / Ev_1		3,02	0,450	273
Setzungsmeßvorr.:						
Witterung:	mulet					
Witterung Vortag:						
Temperatur (°C):	1					
Plattenerlage:	Bärlager					
Entnahmetiefe:						
Bodenart:	1					
Wassergehalt:						
Sonstiges:						
Druckplatte:	300 mm Durchmesser					
Drucken Sollwert	<input type="checkbox"/> ...					

Protokoll-druck lade Projektdaten Projektdaten bearbeiten Messdaten bearbeiten Abbrechen

Funktion auswählen.

BILAGA 5. Mätdata – Tung fallvikt

Notera att D0 – D6 innebär avstånd 0, 200, 300, 450, 600, 900, 1200mm ifrån plattans centrum. Ytmoduler är beräknade utan normalisering.

Place	M.P.	Distance <i>m</i>	Imp <i>Num</i>	Load <i>kN</i>	D0 <i>µm</i>	D1 <i>µm</i>	D2 <i>µm</i>	D3 <i>µm</i>	D4 <i>µm</i>	D5 <i>µm</i>	D6 <i>µm</i>	Air <i>°C</i>	Pave <i>°C</i>	Ytmodul <i>MPa</i>	Time
1m före	MP1	3	1	21.9	748	421	218	108	64	27	14	4.9	5.6	95	11:39:41
		3	2	22.7	430	258	153	90	57	27	14	4.9	5.6	171	11:40:01
		3	3	41.6	820	522	315	176	107	45	23	4.9	5.6	165	11:40:08
		3	4	53.1	907	583	364	212	134	59	29	4.9	5.6	190	11:40:21
		3	5	72.6	1172	767	494	291	184	80	39	4.9	5.6	201	11:40:39
		3	6	22.5	400	242	150	89	57	27	14	4.9	5.6	183	11:40:56
		3	7	41.7	686	435	276	166	107	49	25	4.9	5.6	198	11:41:05
		3	8	52.7	836	536	345	208	135	61	31	4.9	5.6	205	11:41:18
		3	9	72.4	1099	718	469	283	183	83	42	4.9	5.6	214	11:41:37
På	MP1	4	1	21.8	624	350	203	108	65	21	6	5.0	6.4	113	11:43:29
		4	2	22.5	422	247	156	94	61	28	14	5.0	6.4	174	11:43:37
		4	3	41.3	794	497	319	182	115	43	16	5.0	6.4	169	11:43:45
		4	4	52.1	895	562	371	220	143	59	26	5.0	6.4	189	11:43:57
		4	5	71.4	1163	741	499	297	192	77	31	5.0	6.4	199	11:44:15
		4	6	22.2	408	238	154	94	61	28	14	5.0	6.4	177	11:44:26
		4	7	41.3	698	425	284	172	114	52	26	5.0	6.4	192	11:44:36
		4	8	52.2	850	526	355	217	143	65	33	5.0	6.4	199	11:44:48
		4	9	72.0	1111	702	478	291	192	84	40	5.0	6.4	210	11:45:05
1m efter	MP1	5	1	21.7	632	374	199	95	42	10	8	4.9	6.6	112	11:46:28
		5	2	22.3	433	268	164	96	60	27	13	4.9	6.6	167	11:46:38
		5	3	41.2	838	541	339	190	109	38	19	4.9	6.6	160	11:46:45
		5	4	52.2	951	627	405	239	146	58	28	4.9	6.6	178	11:46:59
		5	5	71.5	1250	834	552	328	201	77	37	4.9	6.6	186	11:47:18
		5	6	22.1	420	262	166	99	63	29	14	4.9	6.6	171	11:47:29
		5	7	41.2	741	482	317	191	123	55	26	4.9	6.6	181	11:47:41
		5	8	52.0	902	593	395	240	155	68	34	4.9	6.6	187	11:47:52
		5	9	71.8	1198	799	539	329	211	90	44	4.9	6.6	195	11:48:08
1m före	MP2	22	1	21.6	686	382	200	93	48	21	12	5.5	6.1	102	11:58:29
		22	2	22.5	431	256	149	83	51	24	13	5.5	6.1	169	11:58:39
		22	3	41.3	831	518	310	163	93	38	21	5.5	6.1	161	11:58:46
		22	4	52.0	926	588	361	199	118	52	29	5.5	6.1	182	11:58:58
		22	5	71.6	1206	782	492	271	161	67	37	5.5	6.1	193	11:59:13
		22	6	22.1	408	249	150	85	52	24	13	5.5	6.1	176	11:59:26
		22	7	41.4	710	450	279	157	97	44	25	5.5	6.1	189	11:59:37
		22	8	52.4	866	557	350	198	122	55	31	5.5	6.1	197	11:59:50
		22	9	71.9	1139	744	472	267	163	72	40	5.5	6.1	205	12:00:07
På	MP2	24	1	22.3	484	272	167	91	53	23	13	5.7	6.3	150	12:03:31
		24	2	22.4	454	260	165	92	55	25	13	5.7	6.3	160	12:03:43
		24	3	41.1	967	579	360	182	95	26	12	5.7	6.3	138	12:03:50
		24	4	52.0	1070	654	417	222	124	43	20	5.7	6.3	158	12:04:06
		24	5	71.2	1404	878	573	306	168	54	23	5.7	6.3	165	12:04:22
		24	6	22.0	440	256	165	93	56	25	13	5.7	6.3	163	12:05:17
		24	7	41.2	779	474	312	173	103	44	24	5.7	6.3	172	12:05:29
		24	8	51.8	955	589	393	218	130	55	29	5.7	6.3	176	12:05:43
		24	9	71.6	1283	811	543	300	173	68	34	5.7	6.3	181	12:06:00
1m efter	MP2	25	1	21.9	512	280	179	102	62	28	14	5.4	6.3	139	12:08:17
		25	2	22.2	488	272	177	102	63	29	15	5.4	6.3	147	12:08:28
		25	3	40.8	870	516	346	198	120	48	23	5.4	6.3	152	12:08:50
		25	4	51.6	1072	654	444	253	152	56	24	5.4	6.3	156	12:09:10
		25	5	71.0	1444	900	620	353	208	70	26	5.4	6.3	160	12:09:29
		25	6	21.7	477	264	174	101	63	28	14	5.4	6.3	148	12:09:42
		25	7	40.6	829	491	331	192	119	51	25	5.4	6.3	159	12:10:14
		25	8	51.9	1020	616	419	243	151	63	31	5.4	6.3	165	12:10:33

Place	M.P.	Distance <i>m</i>	Imp <i>Num</i>	Load <i>kN</i>	D0 <i>µm</i>	D1 <i>µm</i>	D2 <i>µm</i>	D3 <i>µm</i>	D4 <i>µm</i>	D5 <i>µm</i>	D6 <i>µm</i>	Air <i>°C</i>	Pave <i>°C</i>	Ytmmodul <i>MPa</i>	Time
1m före	MP3	27	1	21.6	682	369	198	96	54	22	12	5.3	6.0	103	12:15:19
		27	2	22.2	443	260	161	92	58	26	13	5.3	6.0	163	12:15:33
		27	3	40.9	860	540	338	184	109	44	21	5.3	6.0	154	12:15:40
		27	4	52.1	990	637	413	234	143	61	29	5.3	6.0	171	12:15:54
		27	5	71.2	1322	865	571	326	197	81	37	5.3	6.0	175	12:16:12
		27	6	22.0	430	260	167	97	60	27	13	5.3	6.0	166	12:16:22
		27	7	41.0	771	490	321	187	116	51	25	5.3	6.0	173	12:16:40
		27	8	51.8	944	610	404	237	149	65	32	5.3	6.0	178	12:16:54
		27	9	71.4	1264	829	555	324	201	86	41	5.3	6.0	183	12:17:09
På	MP3	28	1	22.5	473	301	186	104	63	26	12	5.3	6.4	154	12:20:27
		28	2	22.6	455	292	184	106	66	29	13	5.3	6.4	161	12:20:42
		28	3	41.1	916	619	396	211	115	34	16	5.3	6.4	146	12:20:49
		28	4	52.3	1074	735	481	269	157	54	24	5.3	6.4	158	12:21:09
		28	5	71.7	1443	1004	671	379	219	70	29	5.3	6.4	161	12:21:28
		28	6	22.2	456	292	186	108	67	29	13	5.3	6.4	158	12:22:57
		28	7	41.3	816	551	363	209	130	54	24	5.3	6.4	164	12:23:15
		28	8	52.2	1011	693	464	270	168	68	30	5.3	6.4	168	12:23:28
		28	9	71.6	1367	955	648	378	231	87	37	5.3	6.4	170	12:23:44
1m efter	MP3	29	1	22.4	507	293	170	98	61	27	13	5.2	6.1	143	12:25:51
		29	2	22.4	475	281	166	98	62	27	14	5.2	6.1	153	12:26:13
		29	3	40.9	921	581	354	197	116	40	10	5.2	6.1	144	12:26:20
		29	4	52.2	995	635	404	239	150	61	24	5.2	6.1	170	12:26:45
		29	5	71.5	1289	835	546	326	206	82	28	5.2	6.1	180	12:27:29
		29	6	22.1	458	272	166	97	62	27	13	5.2	6.1	157	12:27:41
		29	7	41.2	794	501	317	188	119	51	23	5.2	6.1	168	12:27:51
		29	8	52.0	963	618	399	238	151	64	27	5.2	6.1	175	12:28:11
		29	9	71.6	1260	825	544	327	207	84	32	5.2	6.1	185	12:28:30
1m före	MP4	40	1	20.9	708	408	212	96	52	18	9	4.8	5.6	96	12:31:30
		40	2	22.1	404	246	155	90	55	23	11	4.8	5.6	178	12:31:44
		40	3	40.8	810	525	330	175	101	36	16	4.8	5.6	164	12:31:54
		40	4	52.1	920	594	388	216	128	49	22	4.8	5.6	184	12:32:07
		40	5	71.8	1214	794	530	296	174	62	26	4.8	5.6	192	12:32:22
		40	6	22.1	387	236	154	90	56	23	11	4.8	5.6	186	12:32:39
		40	7	41.0	706	443	294	171	104	43	21	4.8	5.6	189	12:32:52
		40	8	51.7	866	551	370	215	129	53	26	4.8	5.6	194	12:33:07
		40	9	71.5	1150	745	506	292	178	67	31	4.8	5.6	202	12:33:24
På	MP4	41	1	22.8	423	286	178	106	59	22	14	4.6	6.0	175	12:36:14
		41	2	22.8	413	281	177	101	59	23	17	4.6	6.0	179	12:36:29
		41	3	41.6	766	550	351	207	108	29	15	4.6	6.0	176	12:36:39
		41	4	52.5	899	651	419	239	135	41	23	4.6	6.0	190	12:36:51
		41	5	71.7	1150	838	545	305	180	63	36	4.6	6.0	202	12:38:15
		41	6	22.3	424	285	177	96	57	22	21	4.6	6.0	171	12:38:29
		41	7	41.3	731	515	327	173	107	40	30	4.6	6.0	184	12:38:38
		41	8	52.1	878	628	406	218	134	50	30	4.6	6.0	193	12:38:49
		41	9	71.5	1146	828	540	299	180	65	33	4.6	6.0	203	12:40:17
1m efter	MP4	42	1	22.6	442	296	168	93	59	25	13	4.6	5.9	166	12:42:47
		42	2	22.6	421	285	165	93	59	25	13	4.6	5.9	174	12:43:20
		42	3	41.2	848	594	346	184	106	29	15	4.6	5.9	158	12:43:27
		42	4	52.3	960	684	407	226	137	44	22	4.6	5.9	177	12:47:04
		42	5	71.9	1253	901	548	305	184	55	27	4.6	5.9	186	12:47:23
		42	6	22.3	427	288	164	92	59	25	13	4.6	5.9	170	12:47:43
		42	7	41.7	746	523	309	175	110	45	22	4.6	5.9	181	12:47:56
		42	8	52.6	906	643	387	221	139	55	28	4.6	5.9	188	12:48:09
		42	9	71.9	1192	859	527	301	186	68	34	4.6	5.9	196	12:48:24

Place	M.P.	Distance <i>m</i>	Imp <i>Num</i>	Load <i>kN</i>	D0 <i>µm</i>	D1 <i>µm</i>	D2 <i>µm</i>	D3 <i>µm</i>	D4 <i>µm</i>	D5 <i>µm</i>	D6 <i>µm</i>	Air <i>°C</i>	Pave <i>°C</i>	Ytmodul <i>MPa</i>	Time
1m före	MP5	71	1	21.8	898	571	276	107	51	15	9	4.3	5.9	79	12:57:19
		71	2	22.7	570	381	216	112	62	23	12	4.3	5.9	129	12:57:32
		71	3	41.3	1109	767	447	214	108	31	15	4.3	5.9	121	12:57:44
		71	4	52.2	1257	877	530	269	143	44	21	4.3	5.9	135	12:57:59
		71	5	71.3	1639	1151	708	362	190	55	25	4.3	5.9	141	12:58:21
		71	6	22.5	562	369	212	111	63	23	12	4.3	5.9	130	12:58:33
		71	7	41.4	988	677	407	215	119	41	19	4.3	5.9	136	12:58:44
		71	8	52.3	1198	830	510	272	150	51	24	4.3	5.9	142	12:58:57
		71	9	71.6	1570	1098	685	363	197	62	28	4.3	5.9	148	12:59:15
På	MP5	72	1	22.6	562	393	237	134	79	28	13	4.0	5.8	130	13:03:24
		72	2	22.7	540	378	232	134	80	30	13	4.0	5.8	136	13:03:33
		72	3	41.3	982	707	435	243	137	42	18	4.0	5.8	136	13:03:53
		72	4	51.9	1201	875	542	300	165	44	16	4.0	5.8	140	13:04:08
		72	5	71.2	1555	1138	699	389	214	57	24	4.0	5.8	149	13:04:44
		72	6	22.2	545	378	225	133	81	29	13	4.0	5.8	132	13:04:58
		72	7	40.9	961	688	418	242	140	46	22	4.0	5.8	138	13:05:16
		72	8	51.8	1161	840	516	297	170	54	26	4.0	5.8	145	13:05:29
		72	9	71.4	1513	1105	686	389	216	62	27	4.0	5.8	153	13:05:50
1m efter	MP5	73	1	22.2	592	416	240	124	67	23	12	3.8	5.7	122	13:08:03
		73	2	22.3	562	396	232	124	69	26	14	3.8	5.7	129	13:08:44
		73	3	41.4	1044	771	466	241	125	33	14	3.8	5.7	129	13:09:24
		73	4	51.8	1232	928	573	306	156	41	18	3.8	5.7	137	13:10:52
		73	5	71.8	1596	1237	769	411	205	45	18	3.8	5.7	146	13:11:30
		73	6	22.0	576	400	238	130	71	26	14	3.8	5.7	124	13:11:43
		73	7	41.0	1007	739	452	245	128	40	21	3.8	5.7	132	13:12:11
		73	8	51.9	1209	907	564	307	160	47	23	3.8	5.7	139	13:12:57
		73	9	71.4	1560	1195	755	413	210	55	24	3.8	5.7	149	13:14:22
1m före	MP6	78	1	22.5	525	376	230	129	70	27	12	3.6	5.9	139	13:18:38
		78	2	22.7	498	358	227	129	73	28	13	3.6	5.9	148	13:19:27
		78	3	41.7	954	696	462	259	137	44	15	3.6	5.9	142	13:20:26
		78	4	52.3	1180	873	590	333	173	51	16	3.6	5.9	144	13:20:48
		78	5	71.6	1502	1101	759	423	224	65	17	3.6	5.9	155	13:22:13
		78	6	22.4	519	351	225	126	71	26	12	3.6	5.9	140	13:22:26
		78	7	41.5	934	660	443	249	137	44	16	3.6	5.9	144	13:22:37
		78	8	52.2	1133	810	558	316	174	55	18	3.6	5.9	150	13:23:05
		78	9	71.7	1478	1080	752	423	229	67	18	3.6	5.9	157	13:23:42
På	MP6	79	1	22.7	503	314	188	94	50	16	7	3.4	5.8	147	13:26:56
		79	2	23.0	457	290	179	95	53	19	9	3.4	5.8	163	13:28:02
		79	3	41.9	849	563	348	174	92	27	11	3.4	5.8	160	13:28:30
		79	4	52.8	1032	696	435	215	112	30	10	3.4	5.8	166	13:28:49
		79	5	72.0	1326	902	573	285	147	36	11	3.4	5.8	176	13:29:23
		79	6	22.6	475	296	179	92	51	16	8	3.4	5.8	155	13:29:36
		79	7	41.6	824	543	337	172	92	27	13	3.4	5.8	164	13:29:45
		79	8	52.2	991	663	420	215	115	32	15	3.4	5.8	171	13:29:59
		79	9	71.8	1281	872	559	283	148	39	15	3.4	5.8	182	13:30:15
1m efter	MP6	80	1	22.2	518	303	177	82	42	13	6	3.7	5.9	139	13:32:57
		80	2	22.2	485	286	171	84	47	15	6	3.7	5.9	149	13:33:08
		80	3	41.2	875	546	332	155	77	19	10	3.7	5.9	153	13:33:29
		80	4	52.1	1064	676	417	191	90	20	12	3.7	5.9	159	13:33:43
		80	5	71.6	1337	862	537	249	120	26	14	3.7	5.9	174	13:34:21
		80	6	22.1	484	287	171	83	46	15	8	3.7	5.9	148	13:34:37
		80	7	41.2	840	522	320	155	83	25	11	3.7	5.9	159	13:34:49
		80	8	51.9	1009	635	395	192	100	29	13	3.7	5.9	167	13:35:01
		80	9	71.8	1300	838	526	252	128	33	16	3.7	5.9	179	13:35:18

Place	M.P.	Distance <i>m</i>	Imp <i>Num</i>	Load <i>kN</i>	D0 <i>µm</i>	D1 <i>µm</i>	D2 <i>µm</i>	D3 <i>µm</i>	D4 <i>µm</i>	D5 <i>µm</i>	D6 <i>µm</i>	Air <i>°C</i>	Pave <i>°C</i>	Ytmodul <i>MPa</i>	Time
1m före	MP7	89	1	20.9	1360	679	348	136	58	14	8	3.6	5.8	50	13:39:46
		89	2	22.2	608	340	212	109	59	20	10	3.6	5.8	119	13:39:52
		89	3	40.2	1195	680	435	216	108	30	15	3.6	5.8	109	13:40:00
		89	4	51.0	1214	741	491	254	134	41	21	3.6	5.8	137	13:40:18
		89	5	70.4	1526	958	643	331	174	51	26	3.6	5.8	150	13:40:48
		89	6	22.5	518	304	199	107	57	21	11	3.6	5.8	141	13:40:58
		89	7	41.2	892	564	375	197	106	36	18	3.6	5.8	150	13:41:07
		89	8	51.8	1065	688	462	243	132	44	22	3.6	5.8	158	13:41:28
		89	9	71.3	1382	909	614	320	173	56	28	3.6	5.8	167	13:42:01
På	MP7	90	1	22.2	603	204	167	86	45	16	9	4.0	5.7	120	13:45:11
		90	2	22.4	531	222	169	89	48	19	10	4.0	5.7	137	13:45:16
		90	3	41.1	890	461	318	170	88	26	12	4.0	5.7	150	13:45:39
		90	4	51.7	1015	604	398	213	115	33	16	4.0	5.7	165	13:46:04
		90	5	70.9	1215	809	529	282	150	34	15	4.0	5.7	189	13:46:39
		90	6	22.1	471	265	163	85	48	20	11	4.0	5.7	152	13:46:49
		90	7	41.2	798	502	321	165	90	32	16	4.0	5.7	167	13:47:02
		90	8	51.8	940	622	403	211	116	39	20	4.0	5.7	179	13:47:14
		90	9	71.0	1160	816	536	286	157	43	21	4.0	5.7	199	13:47:34
1m efter	MP7	91	1	22.4	663	311	153	88	40	15	9	4.1	6.1	110	13:50:13
		91	2	22.6	546	285	149	88	47	19	10	4.1	6.1	134	13:50:23
		91	3	41.4	958	548	309	177	86	24	15	4.1	6.1	140	13:50:42
		91	4	52.2	1093	650	382	221	116	34	20	4.1	6.1	155	13:51:10
		91	5	71.7	1410	863	520	310	157	42	25	4.1	6.1	165	13:51:44
		91	6	22.4	493	273	151	90	53	22	11	4.1	6.1	147	13:51:54
		91	7	41.3	857	507	299	173	99	36	18	4.1	6.1	157	13:52:06
		91	8	52.1	1030	627	379	220	125	43	22	4.1	6.1	164	13:52:22
		91	9	72.0	1343	841	518	304	165	50	27	4.1	6.1	174	13:52:42
MP8 flyttat ett par dm på grund av dåliga värden															
1m före	MP8	98	1	20.7	1255	791	371	152	60	14	6	3.0	5.6	54	14:15:23
		98	2	22.1	488	406	229	123	67	23	10	3.0	5.6	147	14:15:29
		98	3	40.3	991	834	489	248	118	27	11	3.0	5.6	132	14:16:02
		98	4	51.3	1007	903	550	287	144	36	14	3.0	5.6	166	14:16:17
		98	5	70.9	1137	1086	675	351	179	45	17	3.0	5.6	203	14:16:53
		98	6	22.1	399	368	221	120	68	24	11	3.0	5.6	180	14:17:03
		98	7	40.9	698	660	406	220	119	38	15	3.0	5.6	190	14:17:15
		98	8	51.6	844	803	502	273	146	45	17	3.0	5.6	199	14:17:36
		98	9	71.4	1177	1033	652	346	182	51	19	3.0	5.6	197	14:18:15
På	MP8	99	1	21.5	426	384	218	108	59	21	9	3.5	5.8	164	14:28:38
		99	2	22.3	374	300	193	107	61	23	10	3.5	5.8	194	14:28:52
		99	3	41.3	654	484	360	197	109	37	14	3.5	5.8	205	14:29:21
		99	4	51.8	797	553	443	242	134	43	14	3.5	5.8	211	14:29:50
		99	5	71.4	1050	824	580	317	172	51	11	3.5	5.8	221	14:30:26
		99	6	22.0	408	292	191	106	59	22	10	3.5	5.8	175	14:30:50
		99	7	41.0	687	509	348	193	106	36	15	3.5	5.8	194	14:31:01
		99	8	52.0	819	619	430	240	133	45	18	3.5	5.8	206	14:31:18
		99	9	71.6	1042	807	566	315	173	54	16	3.5	5.8	223	14:31:35
1m efter	MP8	100	1	22.1	531	369	203	109	66	23	10	4.1	5.8	135	14:36:14
		100	2	22.3	490	349	194	108	68	26	11	4.1	5.8	148	14:36:24
		100	3	41.2	816	629	364	197	119	35	14	4.1	5.8	164	14:36:55
		100	4	51.6	960	768	449	244	145	38	15	4.1	5.8	175	14:37:12
		100	5	71.3	1221	961	570	311	186	48	19	4.1	5.8	190	14:37:50
		100	6	22.2	509	328	186	105	67	25	11	4.1	5.8	141	14:38:03
		100	7	41.1	835	585	343	190	120	41	17	4.1	5.8	160	14:38:17
		100	8	51.8	988	708	422	235	145	48	21	4.1	5.8	170	14:38:32
		100	9	71.3	1239	920	554	306	186	54	22	4.1	5.8	187	14:38:51

Place	M.P.	Distance <i>m</i>	Imp <i>Num</i>	Load <i>kN</i>	D0 <i>µm</i>	D1 <i>µm</i>	D2 <i>µm</i>	D3 <i>µm</i>	D4 <i>µm</i>	D5 <i>µm</i>	D6 <i>µm</i>	Air <i>°C</i>	Pave <i>°C</i>	Ytmodul <i>MPa</i>	Time
1m före	MP9	160	1	22.1	649	399	186	93	59	25	12	4.2	5.6	111	14:49:24
		160	2	22.5	465	293	174	104	68	31	16	4.2	5.6	157	14:49:31
		160	3	41.5	858	565	329	187	119	48	23	4.2	5.6	157	14:49:48
		160	4	52.6	978	649	397	235	153	65	32	4.2	5.6	174	14:50:02
		160	5	71.8	1265	846	526	311	200	83	40	4.2	5.6	184	14:50:19
		160	6	22.4	453	288	178	108	71	32	15	4.2	5.6	160	14:50:29
		160	7	41.3	772	507	319	194	129	56	28	4.2	5.6	174	14:50:40
		160	8	52.5	933	619	393	240	159	69	35	4.2	5.6	183	14:50:58
		160	9	72.2	1214	815	518	314	206	88	44	4.2	5.6	193	14:51:14
På	MP9	161	1	21.9	655	386	187	91	56	19	5	4.1	5.5	109	14:58:33
		161	2	22.4	465	290	171	100	63	27	13	4.1	5.5	156	14:58:38
		161	3	41.1	875	568	341	192	118	43	12	4.1	5.5	153	14:58:46
		161	4	52.1	1004	662	416	244	152	59	20	4.1	5.5	169	14:59:06
		161	5	71.9	1312	874	561	331	203	74	20	4.1	5.5	178	14:59:23
		161	6	22.2	449	283	173	102	63	28	14	4.1	5.5	161	14:59:32
		161	7	41.3	788	516	327	196	122	50	22	4.1	5.5	170	14:59:46
		161	8	52.2	957	634	408	247	154	63	27	4.1	5.5	177	14:59:59
		161	9	71.9	1258	839	549	332	206	81	30	4.1	5.5	185	15:00:18
1m efter	MP9	162	1	22.3	478	281	167	97	62	25	12	4.3	5.4	152	15:05:40
		162	2	22.2	460	272	167	98	64	27	13	4.3	5.4	157	15:05:51
		162	3	40.9	887	556	343	193	114	32	12	4.3	5.4	150	15:05:58
		162	4	52.1	1024	655	419	245	150	50	20	4.3	5.4	165	15:06:43
		162	5	71.6	1331	866	568	334	202	63	23	4.3	5.4	175	15:06:59
		162	6	22.0	457	276	172	102	65	28	13	4.3	5.4	157	15:07:09
		162	7	41.1	801	505	328	196	125	51	22	4.3	5.4	166	15:07:16
		162	8	52.1	974	625	412	247	158	62	27	4.3	5.4	174	15:07:33
		162	9	71.7	1277	830	556	335	210	77	31	4.3	5.4	182	15:08:00
1m före	MP 10	134	1	21.9	616	325	151	83	46	19	10	3.8	5.2	115	15:13:36
		134	2	22.6	445	247	141	77	44	19	9	3.8	5.2	165	15:13:42
		134	3	40.8	856	501	289	162	91	35	14	3.8	5.2	155	15:13:49
		134	4	52.0	1006	604	367	207	120	46	19	3.8	5.2	168	15:13:59
		134	5	70.9	1327	828	517	295	174	64	24	3.8	5.2	174	15:15:19
		134	6	22.0	432	241	141	76	43	17	9	3.8	5.2	166	15:15:30
		134	7	41.0	785	470	287	158	92	35	15	3.8	5.2	169	15:15:38
		134	8	51.6	971	598	371	207	122	46	19	3.8	5.2	173	15:15:48
		134	9	71.1	1306	827	524	297	176	65	25	3.8	5.2	177	15:16:39
På	MP 10	135	1	22.4	401	224	121	71	45	20	10	4.5	5.6	182	15:18:35
		135	2	22.4	387	219	123	73	47	21	11	4.5	5.6	188	15:19:02
		135	3	41.6	711	424	248	149	94	35	15	4.5	5.6	190	15:19:31
		135	4	52.2	900	548	329	197	122	41	16	4.5	5.6	189	15:19:41
		135	5	71.0	1237	777	479	287	175	47	13	4.5	5.6	186	15:19:55
		135	6	22.2	386	212	123	76	49	21	10	4.5	5.6	187	15:21:41
		135	7	41.3	689	405	242	150	95	39	17	4.5	5.6	195	15:21:48
		135	8	52.2	858	518	317	198	126	51	22	4.5	5.6	198	15:21:58
		135	9	71.6	1171	732	460	285	178	64	25	4.5	5.6	198	15:22:11
1m efter	MP 10	136	1	22.6	429	210	122	62	38	17	10	4.2	5.3	171	15:25:05
		136	2	22.6	403	201	120	63	39	18	11	4.2	5.3	182	15:25:18
		136	3	41.5	733	385	241	127	78	33	19	4.2	5.3	184	15:25:37
		136	4	51.9	924	495	319	167	100	36	19	4.2	5.3	182	15:25:47
		136	5	70.9	1267	700	463	241	138	39	19	4.2	5.3	182	15:26:00
		136	6	22.4	390	182	114	61	39	19	10	4.2	5.3	186	15:26:14
		136	7	41.2	695	358	230	124	79	35	19	4.2	5.3	193	15:26:22
		136	8	52.1	864	456	302	164	104	44	24	4.2	5.3	196	15:26:32
		136	9	71.1	1176	641	434	236	145	56	29	4.2	5.3	196	15:26:45

Place	M.P.	Distance <i>m</i>	Imp <i>Num</i>	Load <i>kN</i>	D0 <i>µm</i>	D1 <i>µm</i>	D2 <i>µm</i>	D3 <i>µm</i>	D4 <i>µm</i>	D5 <i>µm</i>	D6 <i>µm</i>	Air <i>°C</i>	Pave <i>°C</i>	Ytmodul <i>MPa</i>	Time
1m före	MP 11	0	1	23.1	443	312	232	147	94	43	-21	0.6	1.9	169	09:13:38
		0	2	24.3	339	241	180	119	79	39	-21	0.6	1.9	233	09:13:50
		0	3	43.4	711	501	371	237	156	73	-37	0.6	1.9	198	09:13:58
		0	4	54.9	799	568	424	277	186	90	-47	0.6	1.9	223	09:14:15
		0	5	74.5	1043	745	559	367	247	120	-63	0.6	1.9	232	09:14:36
		0	6	24.1	295	217	165	112	76	39	-21	0.6	1.9	265	09:15:00
		0	7	44.0	559	410	312	210	143	72	-39	0.6	1.9	255	09:15:07
		0	8	54.9	694	511	390	263	181	91	-49	0.6	1.9	257	09:15:38
		0	9	74.9	945	691	528	355	242	123	-66	0.6	1.9	257	09:18:51
På	MP 11	1	1	22.8	456	298	215	133	83	32	14	0.2	1.7	162	09:42:35
		1	2	23.3	337	225	165	107	71	34	19	0.2	1.7	224	09:43:03
		1	3	42.8	675	448	331	211	138	59	28	0.2	1.7	206	09:43:10
		1	4	54.3	772	521	389	252	169	78	40	0.2	1.7	228	09:43:26
		1	5	73.9	1003	681	510	333	224	104	53	0.2	1.7	239	09:43:44
		1	6	23.4	309	212	160	106	71	35	19	0.2	1.7	246	09:43:58
		1	7	43.2	571	397	299	197	134	65	35	0.2	1.7	246	09:44:05
		1	8	54.3	701	491	370	245	167	83	45	0.2	1.7	252	09:44:19
		1	9	74.1	935	651	492	326	223	109	59	0.2	1.7	257	09:44:37
1m efter	MP 11	2	1	22.3	474	313	214	128	76	30	14	0.0	2.0	153	09:47:57
		2	2	23.1	343	233	163	103	66	32	18	0.0	2.0	218	09:48:08
		2	3	42.2	679	463	321	199	127	56	28	0.0	2.0	202	09:48:15
		2	4	53.8	763	529	374	238	155	72	37	0.0	2.0	229	09:48:27
		2	5	73.2	985	691	491	315	207	97	51	0.0	2.0	241	09:48:40
		2	6	22.9	302	216	156	101	65	32	18	0.0	2.0	246	09:48:53
		2	7	42.6	559	402	291	188	124	60	33	0.0	2.0	248	09:49:01
		2	8	53.7	687	495	357	232	153	75	41	0.0	2.0	254	09:49:10
		2	9	73.8	918	660	476	310	205	101	55	0.0	2.0	261	09:49:23
1m före	MP 12	20	1	23.0	462	334	253	167	108	47	22	0.1	2.1	162	09:51:36
		20	2	23.6	350	254	193	132	89	43	22	0.1	2.1	219	09:51:45
		20	3	42.7	717	515	389	261	171	78	37	0.1	2.1	193	09:51:53
		20	4	54.0	822	590	449	304	205	98	48	0.1	2.1	213	09:52:08
		20	5	73.5	1081	773	590	400	269	128	63	0.1	2.1	221	09:52:21
		20	6	23.6	314	232	179	125	86	44	22	0.1	2.1	244	09:52:34
		20	7	42.9	588	431	334	232	159	79	40	0.1	2.1	237	09:52:42
		20	8	53.9	734	538	417	290	199	99	50	0.1	2.1	239	09:52:55
		20	9	74.1	996	728	563	390	266	132	67	0.1	2.1	241	09:53:13
På	MP 12	21	1	22.9	487	335	249	157	95	35	-17	0.1	1.7	153	09:55:09
		21	2	23.4	364	255	194	129	87	41	-21	0.1	1.7	209	09:55:19
		21	3	42.3	736	510	384	251	160	67	-33	0.1	1.7	187	09:55:26
		21	4	53.7	848	594	453	302	200	90	-46	0.1	1.7	206	09:56:18
		21	5	73.7	1111	784	598	399	266	120	-61	0.1	1.7	215	09:56:35
		21	6	23.5	323	235	184	128	88	44	-23	0.1	1.7	236	09:56:52
		21	7	42.9	609	443	344	238	163	80	-41	0.1	1.7	229	09:56:59
		21	8	54.1	761	552	430	298	206	100	-51	0.1	1.7	231	09:57:12
		21	9	73.8	1027	744	577	396	272	131	-66	0.1	1.7	233	09:57:25
1m efter	MP 12	22	1	22.6	582	396	281	171	104	38	17	0.0	2.1	126	10:00:25
		22	2	23.3	411	281	205	133	89	42	22	0.0	2.1	184	10:00:35
		22	3	42.2	807	557	407	260	168	71	33	0.0	2.1	170	10:00:43
		22	4	53.4	904	633	469	307	205	94	46	0.0	2.1	192	10:00:55
		22	5	73.3	1164	823	614	406	271	124	61	0.0	2.1	204	10:01:08
		22	6	23.0	351	253	190	128	87	43	23	0.0	2.1	212	10:01:21
		22	7	42.7	656	476	358	241	164	80	42	0.0	2.1	211	10:01:28
		22	8	53.6	804	586	443	298	204	100	53	0.0	2.1	216	10:01:37
		22	9	73.4	1069	778	590	397	270	132	69	0.0	2.1	223	10:01:50

Place	M.P.	Distance <i>m</i>	Imp <i>Num</i>	Load <i>kN</i>	D0 <i>µm</i>	D1 <i>µm</i>	D2 <i>µm</i>	D3 <i>µm</i>	D4 <i>µm</i>	D5 <i>µm</i>	D6 <i>µm</i>	Air <i>°C</i>	Pave <i>°C</i>	Ytmodul <i>MPa</i>	Time
1m före	MP 13	32	1	22.8	635	415	284	164	95	36	16	0.1	2.0	116	10:04:22
		32	2	23.1	433	285	198	121	75	33	16	0.1	2.0	173	10:04:33
		32	3	42.2	860	579	406	247	151	61	27	0.1	2.0	160	10:04:40
		32	4	53.3	959	655	464	289	181	78	36	0.1	2.0	180	10:04:54
		32	5	73.0	1244	856	613	386	244	107	50	0.1	2.0	190	10:05:07
		32	6	23.1	380	261	186	117	73	34	16	0.1	2.0	197	10:05:19
		32	7	42.5	701	488	350	222	143	63	30	0.1	2.0	197	10:05:27
		32	8	53.4	863	603	435	277	178	80	38	0.1	2.0	201	10:05:36
		32	9	73.2	1151	805	582	373	241	109	52	0.1	2.0	206	10:05:49
På	MP 13	33	1	22.7	526	338	238	138	81	27	9	0.0	2.1	140	10:07:30
		33	2	23.1	388	253	181	109	67	28	13	0.0	2.1	194	10:07:40
		33	3	42.2	770	510	369	222	136	50	17	0.0	2.1	178	10:07:48
		33	4	53.4	873	588	430	263	165	65	26	0.0	2.1	199	10:07:57
		33	5	72.9	1136	776	571	354	224	90	34	0.0	2.1	208	10:08:10
		33	6	23.1	349	239	174	108	67	29	14	0.0	2.1	214	10:08:24
		33	7	42.3	639	441	325	202	128	54	25	0.0	2.1	215	10:08:31
		33	8	53.5	790	548	407	255	162	69	32	0.0	2.1	220	10:08:41
		33	9	73.4	1059	736	547	345	221	94	41	0.0	2.1	225	10:08:54
1m efter	MP 13	34	1	22.6	440	310	230	135	73	17	8	0.0	2.3	167	10:15:22
		34	2	23.0	311	219	165	102	62	24	12	0.0	2.3	240	10:15:38
		34	3	42.1	640	451	341	209	123	36	16	0.0	2.3	213	10:15:46
		34	4	53.4	717	511	390	246	152	54	26	0.0	2.3	242	10:15:55
		34	5	73.2	938	671	513	326	204	74	35	0.0	2.3	253	10:16:08
		34	6	23.0	275	198	154	101	63	27	13	0.0	2.3	271	10:16:26
		34	7	42.1	511	372	287	187	120	49	23	0.0	2.3	268	10:16:33
		34	8	53.4	638	466	361	235	152	63	30	0.0	2.3	272	10:16:42
		34	9	73.3	863	631	489	319	206	84	41	0.0	2.3	276	10:16:55
Grova stenar synlig på markytan i MP 14															
1m före	MP 14	53	1	20.0	1066	582	260	81	44	18	9	0.7	2.8	61	10:51:44
		53	2	22.1	626	368	191	79	48	22	10	0.7	2.8	115	10:51:58
		53	3	39.9	1338	792	412	163	88	30	13	0.7	2.8	97	10:52:09
		53	4	51.1	1412	901	485	202	114	43	20	0.7	2.8	118	10:52:21
		53	5	69.5	1842	1193	660	287	155	56	24	0.7	2.8	122	10:52:42
		53	6	22.1	498	336	192	80	48	21	10	0.7	2.8	144	10:52:58
		53	7	40.7	932	634	366	160	95	38	18	0.7	2.8	142	10:53:07
		53	8	51.4	1155	789	460	205	122	49	23	0.7	2.8	145	10:53:18
		53	9	70.3	1554	1061	623	280	163	64	29	0.7	2.8	147	10:53:34
På	MP 14	54	1	21.2	624	385	211	107	68	24	10	0.5	2.5	110	11:11:02
		54	2	22.1	446	283	163	91	59	24	12	0.5	2.5	161	11:11:24
		54	3	40.6	853	552	313	167	105	37	14	0.5	2.5	155	11:11:42
		54	4	51.9	999	647	372	245	130	48	21	0.5	2.5	169	11:11:53
		54	5	70.4	1327	849	491	271	169	64	25	0.5	2.5	172	11:12:08
		54	6	22.2	434	276	159	91	58	23	11	0.5	2.5	166	11:12:20
		54	7	41.0	766	493	288	175	105	40	19	0.5	2.5	174	11:12:29
		54	8	52.0	925	600	359	218	131	52	25	0.5	2.5	182	11:12:58
		54	9	71.4	1227	802	479	288	172	68	31	0.5	2.5	189	11:13:20
1m efter	MP 14	55	1	21.9	526	267	176	106	56	20	9	0.6	2.5	135	11:15:00
		55	2	22.4	456	255	168	106	58	23	10	0.6	2.5	159	11:15:08
		55	3	41.1	844	484	328	262	111	40	17	0.6	2.5	158	11:15:28
		55	4	51.6	1049	599	414	287	137	46	19	0.6	2.5	160	11:15:47
		55	5	71.1	1318	778	551	360	188	63	25	0.6	2.5	175	11:16:20
		55	6	22.1	413	262	172	116	57	23	11	0.6	2.5	173	11:16:32
		55	7	41.0	765	486	325	202	110	43	19	0.6	2.5	174	11:16:42
		55	8	52.0	933	612	403	252	139	54	24	0.6	2.5	181	11:17:10
		55	9	71.4	1231	806	537	337	186	68	30	0.6	2.5	188	11:17:50

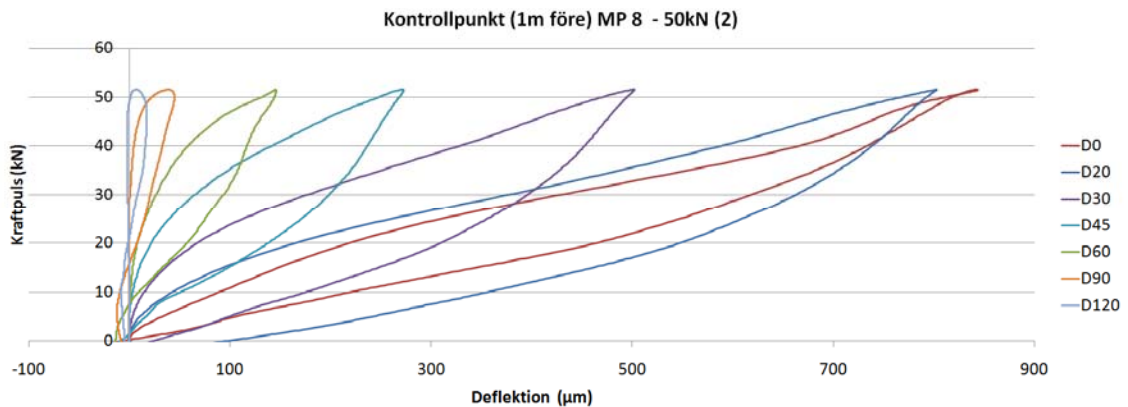
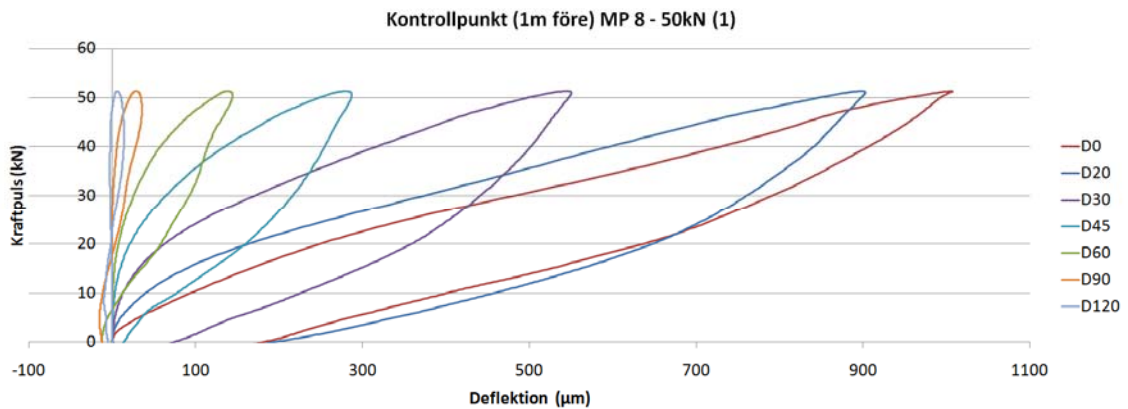
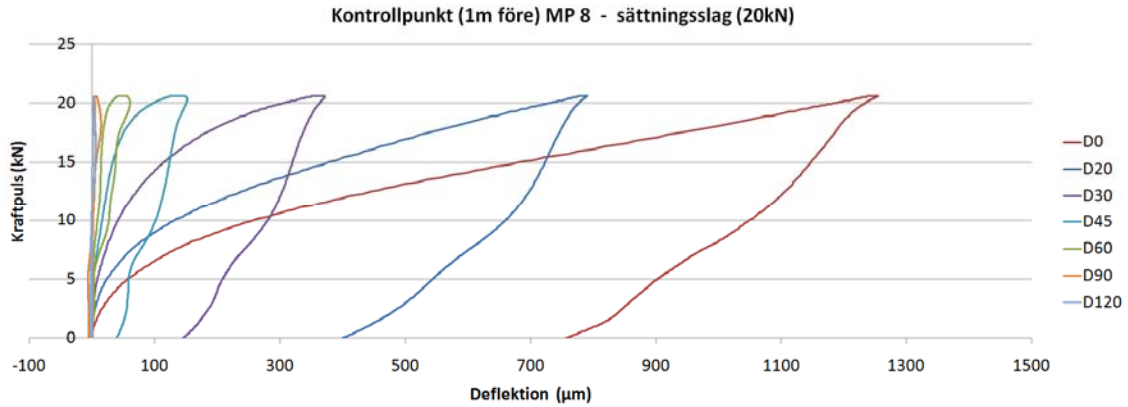
Place	M.P.	Distance <i>m</i>	Imp <i>Num</i>	Load <i>kN</i>	D0 <i>µm</i>	D1 <i>µm</i>	D2 <i>µm</i>	D3 <i>µm</i>	D4 <i>µm</i>	D5 <i>µm</i>	D6 <i>µm</i>	Air <i>°C</i>	Pave <i>°C</i>	Ytmodul <i>MPa</i>	Time
1m före	MP 15	61	1	22.9	554	358	247	139	79	29	13	0.8	2.7	134	11:20:35
		61	2	23.4	376	252	179	110	68	31	15	0.8	2.7	202	11:21:16
		61	3	42.1	774	516	370	222	134	51	21	0.8	2.7	177	11:21:23
		61	4	53.1	866	588	427	266	166	68	30	0.8	2.7	199	11:21:33
		61	5	72.5	1143	782	572	360	227	92	38	0.8	2.7	206	11:21:46
		61	6	23.2	338	237	173	109	70	31	16	0.8	2.7	223	11:22:01
		61	7	42.6	627	439	324	206	132	57	27	0.8	2.7	221	11:22:08
		61	8	53.4	778	548	405	260	168	73	34	0.8	2.7	223	11:22:18
		61	9	72.6	1045	735	546	351	227	98	43	0.8	2.7	225	11:22:31
På	MP 15	62	1	22.7	528	386	271	156	88	25	8	0.7	2.7	140	11:24:00
		62	2	23.0	378	274	195	118	72	29	12	0.7	2.7	198	11:24:15
		62	3	42.0	757	553	392	233	139	45	14	0.7	2.7	180	11:24:23
		62	4	52.9	860	627	451	273	168	61	22	0.7	2.7	200	11:24:32
		62	5	72.4	1128	822	592	360	224	79	27	0.7	2.7	208	11:24:45
		62	6	23.0	353	262	190	117	73	30	13	0.7	2.7	211	11:24:59
		62	7	42.3	643	477	346	214	134	53	23	0.7	2.7	214	11:25:07
		62	8	53.2	791	587	429	266	168	67	29	0.7	2.7	218	11:25:16
		62	9	72.7	1055	778	568	352	222	86	34	0.7	2.7	224	11:25:29
1m efter	MP 15	64	1	22.7	540	350	241	137	77	25	8	0.8	2.4	137	11:27:10
		64	2	23.4	370	248	175	106	64	26	11	0.8	2.4	205	11:27:22
		64	3	42.3	717	485	345	206	122	43	13	0.8	2.4	192	11:27:29
		64	4	53.2	802	549	394	241	147	56	20	0.8	2.4	216	11:27:39
		64	5	72.8	1046	720	519	320	196	74	26	0.8	2.4	226	11:27:52
		64	6	23.3	330	234	169	105	65	26	12	0.8	2.4	229	11:28:08
		64	7	42.4	591	418	304	190	117	47	20	0.8	2.4	233	11:28:15
		64	8	53.4	724	514	375	235	146	59	25	0.8	2.4	239	11:28:25
		64	9	72.9	963	683	498	312	194	77	31	0.8	2.4	246	11:28:44
1m före	MP 16	76	1	22.4	580	385	265	151	84	27	11	1.0	2.5	126	11:31:05
		76	2	23.2	389	265	188	115	70	27	12	1.0	2.5	194	11:31:22
		76	3	42.0	776	533	379	228	135	47	17	1.0	2.5	176	11:31:29
		76	4	53.1	858	601	433	266	162	60	24	1.0	2.5	201	11:31:42
		76	5	72.7	1107	780	564	350	214	78	30	1.0	2.5	213	11:32:04
		76	6	23.1	347	250	183	114	69	27	12	1.0	2.5	216	11:32:27
		76	7	42.5	630	456	334	209	128	49	20	1.0	2.5	219	11:32:36
		76	8	53.3	772	562	411	259	160	62	26	1.0	2.5	224	11:32:49
		76	9	72.7	1018	738	541	341	211	81	33	1.0	2.5	232	11:33:11
På	MP 16	78	1	22.6	456	313	228	133	79	26	8	0.8	2.3	161	11:35:36
		78	2	23.0	352	247	181	110	69	29	14	0.8	2.3	212	11:36:11
		78	3	41.9	659	468	344	207	129	47	17	0.8	2.3	206	11:36:18
		78	4	53.0	766	551	405	245	154	60	23	0.8	2.3	225	11:36:35
		78	5	72.5	999	724	533	324	205	79	30	0.8	2.3	236	11:36:48
		78	6	22.9	337	244	179	109	69	29	14	0.8	2.3	221	11:37:08
		78	7	42.2	594	430	319	193	123	51	24	0.8	2.3	231	11:37:18
		78	8	53.1	722	526	390	238	152	64	29	0.8	2.3	239	11:37:30
		78	9	72.7	947	692	513	314	202	83	36	0.8	2.3	249	11:38:06
1m efter	MP 16	79	1	23.0	404	270	186	108	64	25	12	1.0	2.3	185	11:43:45
		79	2	23.2	371	254	179	107	64	26	12	1.0	2.3	203	11:44:13
		79	3	41.7	770	523	366	212	123	41	13	1.0	2.3	176	11:44:30
		79	4	52.8	869	599	425	252	150	55	20	1.0	2.3	197	11:44:45
		79	5	72.5	1129	782	559	335	202	72	26	1.0	2.3	209	11:45:03
		79	6	22.9	340	245	177	108	65	26	12	1.0	2.3	219	11:45:25
		79	7	42.0	625	449	326	198	120	46	21	1.0	2.3	218	11:45:37
		79	8	52.9	770	555	404	246	150	59	26	1.0	2.3	223	11:45:50
		79	9	72.7	1023	734	534	326	200	77	32	1.0	2.3	231	11:46:07

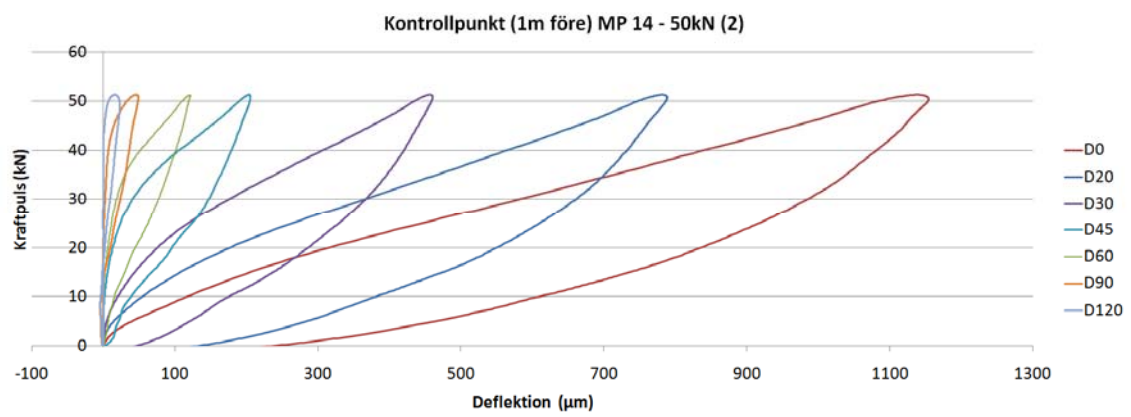
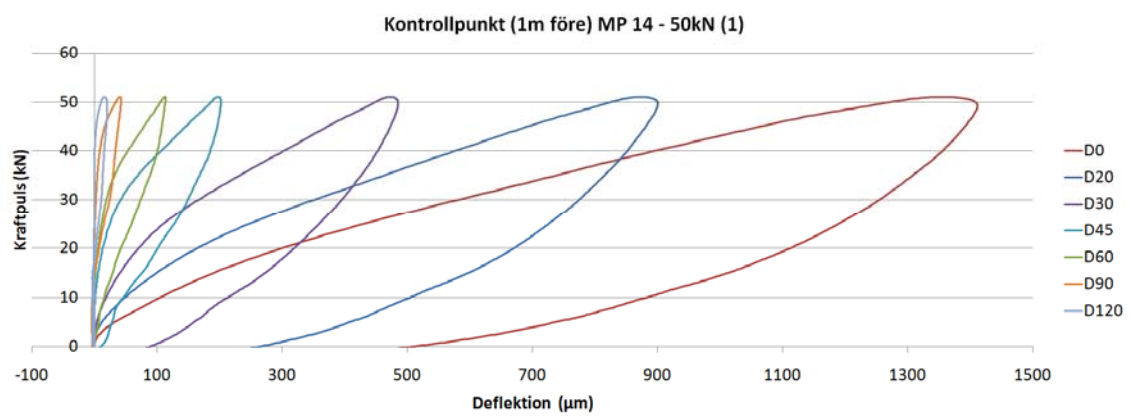
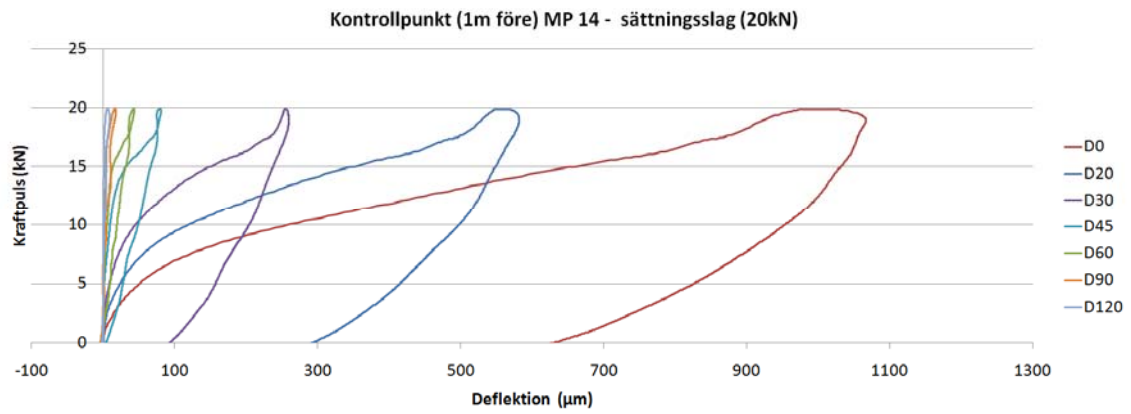
Place	M.P.	Distance <i>m</i>	Imp <i>Num</i>	Load <i>kN</i>	D0 <i>µm</i>	D1 <i>µm</i>	D2 <i>µm</i>	D3 <i>µm</i>	D4 <i>µm</i>	D5 <i>µm</i>	D6 <i>µm</i>	Air <i>°C</i>	Pave <i>°C</i>	Ytmodul <i>MPa</i>	Time
1m före	MP 17	89	1	22.5	520	364	236	127	67	21	9	1.2	2.6	140	11:49:04
		89	2	23.0	355	252	170	99	59	22	10	1.2	2.6	210	11:49:18
		89	3	41.6	740	519	346	196	111	36	15	1.2	2.6	182	11:49:25
		89	4	52.7	834	591	402	234	137	48	19	1.2	2.6	205	11:49:35
		89	5	72.5	1098	786	537	314	185	64	26	1.2	2.6	214	11:49:48
		89	6	22.9	320	241	168	102	61	22	10	1.2	2.6	233	11:50:08
		89	7	42.1	597	446	313	188	112	40	18	1.2	2.6	229	11:50:15
		89	8	52.9	739	553	388	233	140	51	23	1.2	2.6	233	11:50:24
		89	9	72.8	1001	744	521	312	187	68	29	1.2	2.6	236	11:50:50
På	MP 17	90	1	23.1	331	231	171	105	65	24	10	1.2	2.6	227	11:53:21
		90	2	23.1	313	222	166	104	65	25	11	1.2	2.6	240	11:53:37
		90	3	42.0	650	456	337	206	123	38	9	1.2	2.6	210	11:53:44
		90	4	53.0	761	535	398	246	150	51	16	1.2	2.6	226	11:53:54
		90	5	72.4	1008	711	528	326	199	65	18	1.2	2.6	233	11:54:07
		90	6	23.1	310	225	168	106	65	25	11	1.2	2.6	242	11:54:42
		90	7	42.5	569	411	308	193	119	45	18	1.2	2.6	243	11:54:49
		90	8	53.2	701	508	382	239	148	56	22	1.2	2.6	247	11:54:59
		90	9	72.9	941	683	510	319	197	72	27	1.2	2.6	251	11:55:21
1m efter	MP 17	91	1	22.9	423	278	188	107	62	23	9	1.1	2.1	176	11:58:06
		91	2	23.2	394	266	182	106	63	25	11	1.1	2.1	192	11:58:24
		91	3	41.8	782	536	367	211	121	38	8	1.1	2.1	174	11:58:31
		91	4	52.8	884	614	426	251	148	51	15	1.1	2.1	194	11:59:01
		91	5	72.3	1081	767	541	325	195	72	25	1.1	2.1	217	12:00:10
		91	6	22.8	370	262	179	105	61	24	11	1.1	2.1	200	12:00:20
		91	7	41.9	662	470	330	195	115	44	18	1.1	2.1	206	12:00:27
		91	8	52.8	803	573	405	242	144	55	22	1.1	2.1	213	12:00:37
		91	9	72.4	1047	751	531	321	193	72	27	1.1	2.1	225	12:00:53
1m före	MP 18	101	1	22.1	630	396	240	119	66	23	10	1.0	2.4	114	12:03:55
		101	2	22.7	414	268	168	91	54	23	10	1.0	2.4	178	12:04:18
		101	3	41.5	785	527	338	181	106	38	14	1.0	2.4	171	12:04:26
		101	4	52.6	878	602	391	215	130	49	19	1.0	2.4	194	12:04:57
		101	5	71.9	1128	784	515	286	173	64	23	1.0	2.4	207	12:05:18
		101	6	22.5	377	256	163	89	54	22	10	1.0	2.4	194	12:05:30
		101	7	41.7	663	459	301	166	101	40	16	1.0	2.4	204	12:05:40
		101	8	52.6	807	564	372	209	128	51	21	1.0	2.4	212	12:05:55
		101	9	72.2	1058	745	496	280	172	67	26	1.0	2.4	221	12:06:27
På	MP 18	102	1	23.2	414	271	175	101	59	22	9	1.3	2.9	182	12:09:31
		102	2	23.4	385	259	170	100	59	22	9	1.3	2.9	197	12:09:51
		102	3	42.3	678	473	320	188	112	40	15	1.3	2.9	203	12:10:44
		102	4	53.0	828	586	399	236	142	49	16	1.3	2.9	208	12:11:11
		102	5	72.5	1050	759	522	313	189	67	23	1.3	2.9	224	12:11:55
		102	6	22.9	367	254	171	99	59	22	10	1.3	2.9	203	12:12:16
		102	7	42.1	650	461	316	185	111	40	17	1.3	2.9	210	12:12:27
		102	8	52.9	786	565	389	232	140	51	21	1.3	2.9	219	12:12:43
		102	9	72.6	1026	745	518	311	189	69	25	1.3	2.9	230	12:13:03
1m efter	MP 18	103	1	23.2	412	267	167	93	53	18	8	1.4	2.2	183	12:15:35
		103	2	23.3	378	252	161	92	54	20	9	1.4	2.2	200	12:15:48
		103	3	42.4	669	462	304	178	105	36	15	1.4	2.2	206	12:16:07
		103	4	53.1	818	570	381	224	131	43	18	1.4	2.2	211	12:16:17
		103	5	72.3	1082	763	516	307	178	54	20	1.4	2.2	217	12:16:35
		103	6	23.0	353	242	157	91	55	21	9	1.4	2.2	212	12:16:52
		103	7	42.2	630	441	295	175	105	39	17	1.4	2.2	218	12:16:59
		103	8	53.3	770	545	369	221	133	49	20	1.4	2.2	224	12:17:09
		103	9	72.6	1015	723	495	300	180	64	26	1.4	2.2	232	12:17:26

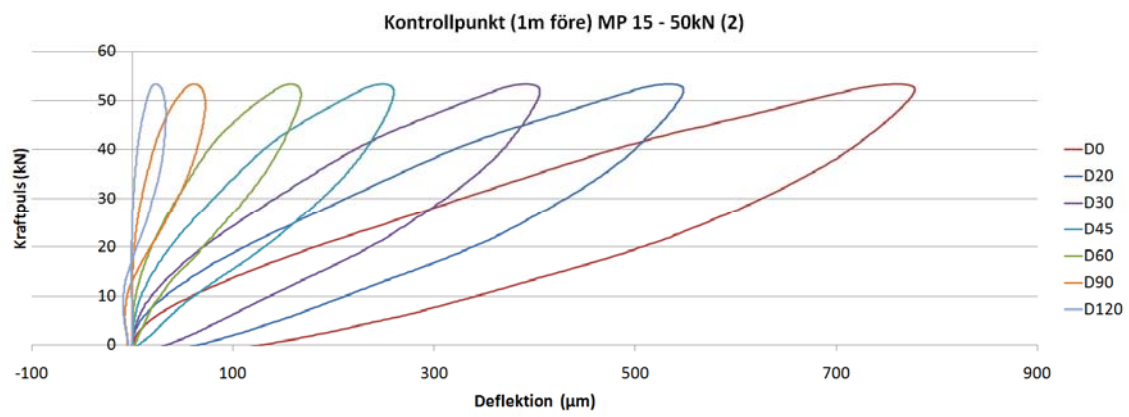
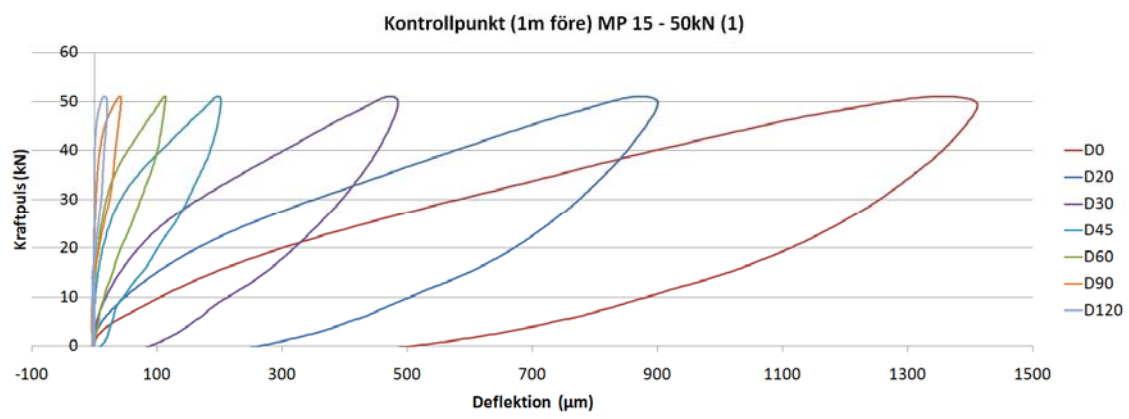
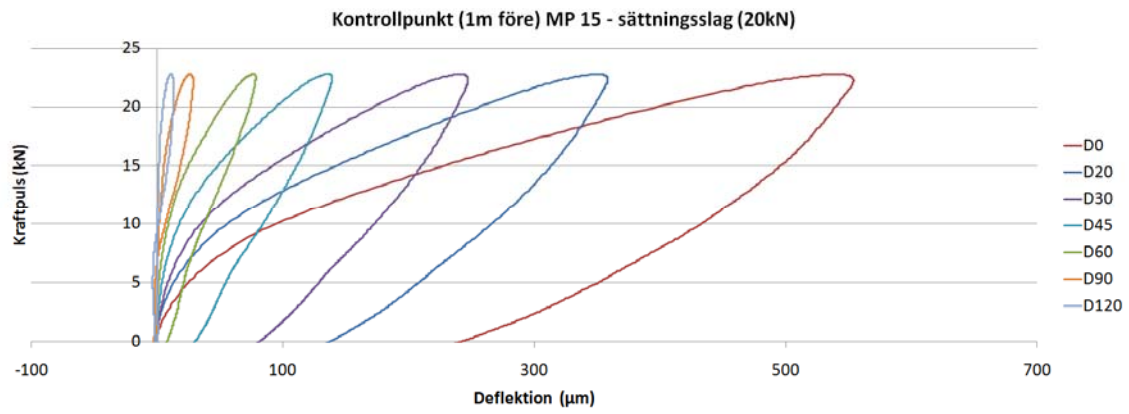
Place	M.P.	Distance <i>m</i>	Imp <i>Num</i>	Load <i>kN</i>	D0 <i>µm</i>	D1 <i>µm</i>	D2 <i>µm</i>	D3 <i>µm</i>	D4 <i>µm</i>	D5 <i>µm</i>	D6 <i>µm</i>	Air <i>°C</i>	Pave <i>°C</i>	Ytmodul <i>MPa</i>	Time
1m före	MP 19	108	1	22.3	628	412	275	156	93	39	19	1.4	2.4	115	12:20:10
		108	2	22.8	417	286	199	124	80	40	22	1.4	2.4	178	12:20:21
		108	3	41.5	846	596	419	256	163	73	35	1.4	2.4	159	12:20:28
		108	4	52.6	957	690	493	309	202	94	46	1.4	2.4	178	12:20:38
		108	5	71.5	1249	914	663	421	275	127	60	1.4	2.4	186	12:20:51
		108	6	22.7	379	272	194	122	79	39	21	1.4	2.4	194	12:21:01
		108	7	41.7	703	514	371	237	156	76	40	1.4	2.4	192	12:21:08
		108	8	52.4	870	640	467	300	199	97	50	1.4	2.4	196	12:21:18
		108	9	72.0	1166	868	638	412	273	132	65	1.4	2.4	201	12:21:31
På	MP 19	109	1	22.5	490	330	230	131	69	17	7	1.3	2.5	149	12:24:34
		109	2	23.0	356	247	178	107	63	24	12	1.3	2.5	210	12:25:24
		109	3	41.9	689	487	350	210	119	34	15	1.3	2.5	198	12:25:32
		109	4	52.8	772	561	406	249	148	49	22	1.3	2.5	222	12:25:41
		109	5	72.4	993	734	535	331	196	64	29	1.3	2.5	237	12:26:00
		109	6	23.0	325	239	172	105	62	25	12	1.3	2.5	230	12:26:16
		109	7	42.0	579	430	313	194	116	45	22	1.3	2.5	235	12:26:23
		109	8	53.0	705	528	387	241	147	57	28	1.3	2.5	244	12:26:33
		109	9	72.4	921	693	511	320	195	73	34	1.3	2.5	255	12:26:52
1m efter	MP 19	110	1	22.5	386	252	162	91	53	18	8	1.5	2.3	190	12:35:57
		110	2	23.0	325	219	144	84	50	19	9	1.5	2.3	230	12:36:18
		110	3	41.9	657	447	293	168	96	29	10	1.5	2.3	207	12:36:25
		110	4	52.7	732	508	335	197	117	39	16	1.5	2.3	234	12:36:35
		110	5	72.1	939	663	441	261	156	51	19	1.5	2.3	249	12:36:48
		110	6	23.0	310	217	144	84	50	19	9	1.5	2.3	241	12:37:05
		110	7	42.3	547	390	262	154	91	34	16	1.5	2.3	251	12:37:12
		110	8	53.1	663	476	323	192	114	43	20	1.5	2.3	260	12:37:22
		110	9	72.7	871	629	427	255	154	56	24	1.5	2.3	271	12:37:36
1m före	MP 20	125	1	22.9	524	349	221	118	67	21	7	1.4	2.5	142	12:40:22
		125	2	23.1	485	330	215	119	68	22	8	1.4	2.5	154	12:40:42
		125	3	41.7	941	648	417	218	120	32	9	1.4	2.5	144	12:41:14
		125	4	52.4	1044	726	473	256	144	42	12	1.4	2.5	163	12:41:30
		125	5	71.8	1325	931	609	331	185	51	14	1.4	2.5	176	12:41:56
		125	6	22.8	459	325	214	118	68	23	9	1.4	2.5	161	12:42:31
		125	7	41.9	797	565	375	207	117	36	13	1.4	2.5	171	12:42:43
		125	8	52.9	960	685	456	253	144	45	16	1.4	2.5	179	12:42:56
		125	9	71.9	1237	884	586	324	183	54	17	1.4	2.5	189	12:43:15
På	MP 20	126	1	22.7	447	310	202	110	60	20	8	1.5	2.5	165	12:45:47
		126	2	22.7	409	288	192	108	61	22	9	1.5	2.5	180	12:46:04
		126	3	41.8	747	534	359	200	111	34	12	1.5	2.5	182	12:46:31
		126	4	52.4	912	655	443	249	137	40	13	1.5	2.5	187	12:46:52
		126	5	72.0	1160	838	568	321	176	53	18	1.5	2.5	202	12:47:26
		126	6	22.7	402	289	196	109	59	21	9	1.5	2.5	183	12:47:41
		126	7	41.8	710	516	350	196	108	36	14	1.5	2.5	191	12:47:54
		126	8	52.5	857	622	426	240	132	43	17	1.5	2.5	199	12:48:12
		126	9	72.1	1125	816	557	317	175	55	20	1.5	2.5	208	12:48:29
1m efter	MP 20	127	1	22.8	526	332	214	109	60	18	6	1.3	2.6	141	12:52:02
		127	2	22.8	482	311	206	108	60	19	7	1.3	2.6	154	12:52:17
		127	3	41.7	855	571	383	201	109	30	8	1.3	2.6	158	12:52:45
		127	4	52.6	1042	701	473	248	134	35	8	1.3	2.6	164	12:52:57
		127	5	72.2	1310	895	611	322	175	46	11	1.3	2.6	179	12:53:31
		127	6	22.7	468	318	211	107	57	17	6	1.3	2.6	157	12:53:57
		127	7	42.1	816	557	378	195	105	30	11	1.3	2.6	167	12:54:19
		127	8	52.9	980	673	460	241	131	38	12	1.3	2.6	175	12:54:33
		127	9	72.4	1270	874	600	317	173	48	13	1.3	2.6	185	12:54:59

BILAGA 6. Tung fallvikt – Belastningskurvor

I detta kapitel redovisas belastningskurvor för utvalda mätpunkter, bland annat MP 8, MP 14 och MP 16. Resultat från sju seismometrar vid kontrollpunkter (1 m före) användes. Belastningskurvorna är redovisade med D0 längst till höger och D120 längst till vänster.







BILAGA 7. Deflektionsbassänger

Noterar att sättningslaget utgår i respektive deflektionsbassäng. Skalan på deflektioner kan variera för olika Mätpunkter.

