

Kontinuerlig komprimeringskontroll

Marit Fladvad

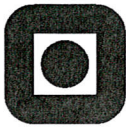
Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juli 2012

Hovedveileder: Inge Hoff, BAT

Medveileder: Jostein Aksnes, Statens Vegvesen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel: Continuous Compaction Control – Kontinuerlig komprimeringskontroll	Dato: 13. 07. 2012
	Antall sider (inkl. bilag):
	Masteroppgave <input checked="" type="checkbox"/> Prosjektoppgave <input type="checkbox"/>
Navn: Stud.techn. Marit Fladvad	
Faglærer/veileder: Professor dr. Ing. Inge Hoff, NTNU	
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Sjefingeniør dr. Ing. Jostein Aksnes, Statens Vegvesen	

Ekstrakt:

Komprimering av granulære materialer kan ha stor innvirkning på en vegs levetid, og komprimeringskontroll er derfor en viktig del av kvalitetskontrollen ved vegbygging. Formålet med denne oppgaven er å undersøke om man ved å stille krav om kontinuerlig komprimeringskontroll kan forbedre kvaliteten på vegene som bygges.

I den første delen av rapporten er et litteratursøk på området gjort, og teorien rundt temaet komprimeringskontroll er oppsummert. Gjennom å undersøke dagens praksis og aktuell forskning er målet å finne nye måter å beskrive komprimeringskontrollen som utføres på veganlegg i Norge. Komprimeringskontrollen som brukes i dag er tidkrevende, og man behøver eget mannskap til å utføre den. Utstyret og metodene som brukes i dag er lite effektive, og den normale tilnærmingen er å ta én stikkprøve per 100 meter tofelts veg. Dersom kontinuerlig komprimeringskontroll blir brukt, blir hele overflaten undersøkt. Punktmålingene kan deretter plasseres på de områdene hvor valsemåleren finner den laveste stivheten. Teorien bak komprimering og vibrasjon er viktig for forståelsen av valsemåleren. Fourier-transformasjon blir brukt for å beregne CMV (compaction meter value), som er resultatet som valsemåleren gir.

Den andre delen av rapporten omhandler feltundersøkelser som er gjort med to formål: Å undersøke gyldigheten til valsemålingene, og å effektivisere den tradisjonelle komprimeringskontrollen. Feltundersøkelsene omfattet undersøkelser med platebelastning, fallodd og nivellement i tillegg til to typer responsmålere. Det ble konkludert med at valsemåleren må ha både GPS-stedfesting og mulighet til å lagre resultater. Uten dette blir ikke komprimeringskontrollen vesentlig forbedret i forhold til dagens situasjon. Det er mulig å gjøre den tradisjonelle komprimeringskontrollen mer effektiv ved å forenkle målerutinen for platebelastning. Man kan gjøre belastningen uten et lag av gips til avretting, og likevel få gode måleresultater.

Rapportens tredje del består av anbefalinger til nye retningslinjer for komprimeringskontroll. Den inneholdt også forslag til virkemidler for å forbedre kunnskap om, og holdninger til komprimering blant entreprenører og anleggsarbeidere. Dessverre ble resultatene fra noen av feltundersøkelsene for begrenset til at man kunne trekke noen konklusjoner. Dette gjelder undersøkelsene som ble gjort med fallodd.

Stikkord:

- | |
|--------------------------|
| 1. Komprimering |
| 2. Komprimeringskontroll |
| 3. Vegbygging |
| 4. Granulære materialer |

Marit Fladvad

(sign.)

Forord

Denne rapporten er skrevet vårsemesteret 2012 som et resultat av masteroppgaven «*Continuous Compaction Control - Kontinuerlig komprimeringskontroll*» i emnet TBA4940 Veg ved Institutt for bygg, anlegg og transport ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Masteroppgaven er den avsluttende delen av sivilingeniørstudiet i Bygg- og miljøteknikk, studieretning veg i årene 2007-2012. Oppgaven er en fortsettelse av arbeidet med prosjektoppgaven «*Intelligent komprimering*» som undertegnede skrev høsten 2011.

Det hadde ikke vært mulig å gjennomføre denne oppgaven uten støtte fra både veiledere, bransjefolk og fagpersoner. Jeg ønsker derfor å takke en rekke personer for deres bidrag. Først en stor takk til Jostein Aksnes, Brynhild Snilsberg og Nils Uthus fra Statens Vegvesen (SVV) som entusiastisk har fulgt meg opp i det daglige arbeidet, hjulpet meg med organisering av feltforsøk, og generelt vært til stor hjelp med masterarbeidet. Takk til professor Inge Hoff ved NTNU for hjelp og veiledning i oppstartsfasen, og for å ha satt meg i kontakt med de sentrale fagpersonene i Statens Vegvesen.

Ole Hovdenes (Dynapac) fortjener en stor takk for at han villig har delt sin kunnskap om valser og komprimering generelt, samt organisert besøk på anlegg og fabrikk. Takk også til Dynapac for å ha lagt til rette for anleggsbesøk på E39 i Hordaland og fabrikkbesøk i Karlskrona, Sverige. Karsten Haukås, Per-Ola Berntsen og Albert Knudsen i Sitech har bidratt med valseinstrumentering og programvare med tilhørende svar på spørsmål som dukket opp underveis, og arrangerte anleggsbesøk på Kristiansand lufthavn Kjevik. Takk til Rune Ugland i TT Anlegg og Jon Aage Ødegaard m.fl. i Vassbakk og Stol for at jeg fikk omvisning på anlegg hvor kontinuerlig komprimeringskontroll er i bruk, og fikk lære av deres erfaring med bruk av utstyret.

Takk til Helge Sommerschild og Reinertsen for å stille anlegg og utstyr til disposisjon for feltforsøk. Byggeleder Roger Gjeldnes og hans stab på Statens Vegvesen sitt prosjekt E6 Sentervegen - Tonstad har også vært viktige medspillere for å få gjennomført de planlagte feltforsøkene.

Takk også til de som har stilt opp og gjort målinger for meg: Otto Reitan(SVV), Harald Bjørgum og Per Fladvad(SVV) med platebelastningsmålinger, og Ottar Bremseth og Odd Durban Hansen (begge SVV) med falloddsmålinger.

Trondheim, juli 2012

Marit Fladvad

Marit Fladvad

Sammendrag

Komprimering av granulære materialer kan ha stor innvirkning på en vegs levetid, og komprimeringskontroll er derfor en viktig del av kvalitetskontrollen ved vegbygging. Formålet med denne oppgaven er å undersøke om man ved å stille krav om kontinuerlig komprimeringskontroll kan forbedre kvaliteten på vegene som bygges.

I den første delen av rapporten er et litteratursøk på området gjort, og teorien rundt temaet komprimeringskontroll er oppsummert. Gjennom å undersøke dagens praksis og aktuell forskning er målet å finne nye måter å beskrive komprimeringskontrollen som utføres på veganlegg i Norge. Komprimeringskontrollen som brukes i dag er tidkrevende, og man behøver eget mannskap til å utføre den. Utstyret og metodene som brukes i dag er lite effektive, og den normale tilnærmingen er å ta én stikkprøve per 100 meter tofelts veg. Dersom kontinuerlig komprimeringskontroll blir brukt, blir hele overflaten undersøkt. Punktmålingene kan deretter plasseres på de områdene hvor valsemåleren finner den laveste stivheten. Teorien bak komprimering og vibrasjon er viktig for forståelsen av valsemåleren. Fourier-transformasjon blir brukt for å beregne CMV (compaction meter value), som er resultatet som valsemåleren gir.

Den andre delen av rapporten omhandler feltundersøkelser som er gjort med to formål: Å undersøke gyldigheten til valsemålingene, og å effektivisere den tradisjonelle komprimeringskontrollen. Feltundersøkelsene omfatter undersøkelser med platebelastning, fallodd og nivellement i tillegg til to typer responsmålere. Det ble konkludert med at valsemåleren må ha både GPS-stedfesting og mulighet til å lagre resultater. Uten dette blir ikke komprimeringskontrollen vesentlig forbedret i forhold til dagens situasjon. Det er mulig å gjøre den tradisjonelle komprimeringskontrollen mer effektiv ved å forenkle målerutinen for platebelastning. Man kan gjøre belastningen uten et lag av gips til avretting, og likevel få gode måleresultater.

Rapportens tredje del består av anbefalinger til nye retningslinjer for komprimeringskontroll. Den inneholder også forslag til virkemidler for å forbedre kunnskap om, og holdninger til komprimering blant entreprenører og anleggsarbeidere. Dessverre ble resultatene fra noen av feltundersøkelsene for begrenset til at man kunne trekke noen konklusjoner. Dette gjelder undersøkelsene som ble gjort med fallodd.

Abstract

In road construction, compaction control is an important part of the quality assessment. The compaction of granular materials can have great influence on the life span of the road. This study aims to examine whether the quality of the new-built roads will be better if the road authorities require continuous compaction control.

In the first part of the report, there is a literature review where the theory concerning compaction control is summarized. Based on current practice and new research, the aim is to find new ways to define the compaction control executed on Norwegian roadworks. The compaction control used today is time consuming, and requires manual labour. The equipment and method used today is not effective, and the normal approach is to do one spot test per 100 meters of two-lane road. If continuous compaction control is applied, the whole surface of the road is examined. The spot tests can then be placed where the roller meter finds the lowest values for the stiffness of the construction. The theory behind compaction and vibration is important for the understanding of the roller meter. Fourier-transformation is used to calculate the compaction meter value (CMV), which is the output from the compaction meter.

The second part of the report concerns field studies conducted with two purposes: To assess the validity of the roller measurements, and to find a way of increasing the efficiency of the traditional compaction control. The field studies involved examination by static plate load test, falling weight deflectometer and levelling, in addition to two types of compaction meters. It was found that the equipment has to have both GPS-positioning and the possibility to save results. Otherwise, the compaction control will not be significantly improved from the current situation. It is possible to make the traditional Norwegian compaction control more efficient by simplifying the measuring routine of the static plate load test. One can do the test without the gypsum plaster screed, and still obtain good results.

The third part consists of recommendations for new compaction control guidelines. Measures to improve the knowledge about, and attitudes to compaction work among contractors and construction workers are also discussed. Unfortunately, some of the results from the field studies became too limited to draw any conclusion. This concerns the falling weight deflectometer tests.

Innhold

Forord	iii
Sammendrag	v
Abstract	vi
Figurliste	ix
Tabelliste	x
I Innledende del	1
1 Om oppgaven	2
2 Metodevalg	4
II Litteratursøk og teori	7
3 Viktigheten av god komprimering av granulære lag	8
4 Dagens kontrollmetoder	9
4.1 Laboratorieundersøkelsesmetoder	9
4.2 Feltundersøkelsesmetoder	10
5 Oppsummering av krav i Håndbok 018	14
6 Begreper og definisjoner	19
6.1 Begrepsavklaring	19
6.2 Definisjoner	20
7 Responsmålinger - variasjon og verifikasjon	31
7.1 Muligheter for variasjon av parametre	31
7.2 Hva har innvirkning på målingene	32
7.3 Verifisering av målinger	32

8	Feltforsøk og beskrivelser fra andre land	35
8.1	Kontrollbeskrivelser fra andre land	35
8.2	Utførte feltundersøkelser	37
9	Dagens praksis	39
III	Feltarbeid	41
10	Organisering av feltforsøkene	42
10.1	Formål	42
10.2	Utstyr	42
10.3	Anlegg	43
10.4	Forsøksopplegg	43
IV	Resultater	49
11	Feltforsøk med enkleste instrumentering	50
12	Målinger på masser med ulik komprimeringsgrad	54
13	Platebelastning med og uten gipsavretting	58
14	Målinger med platebelastning og fallodd	63
15	Erfaringer fra feltforsøkene	65
15.1	Fremstilling av antall overfarter	65
15.2	Registrering av overkomprimering	66
15.3	Annet	67
V	Anbefaling/konklusjon	69
16	Vurdering og anbefalinger	70
16.1	Vurdering av krav i 018	70
16.2	Nytte	71
16.3	Komprimeringsveiledning	73
17	Konklusjon	74
18	Videreføring av arbeidet	77
	Referanseliste	78
	Bilag og vedlegg	(egne innholdsfortegnelser)

Figurer

4.1	Feltforsøk med platebelastning 16.05.12	10
4.2	Prinsipptegning platebelastning	11
4.3	Prinsipptegning fallodd	12
4.4	Feltforsøk med fallodd 30.05.12	13
6.1	Statisk linjelast	21
6.2	Valsetrommel i vibrasjon	21
6.3	Sinusbølge	22
6.4	Innstilling av eksenterveker for valser fra Dynapac	23
6.5	Eksenterveker CAT	24
6.6	Resultat av Fourier-transformasjon	26
6.7	Harmoniske svingninger	27
6.8	Bedre nøyaktighet ved bruk av flere harmoniske svingninger	28
6.9	Framgangsmåte for CMV-analyse.	29
10.1	Utdata fra vals med enkel responsmåler	44
10.2	Oppmerking til valsetest 1 18.04.12	45
10.3	Forsøksområde med oppmerkede målepunkter	46
10.4	Platebelastning med og uten avretting	47
12.1	Registrert CMV, tre punkter på fire forsøksfelt	56
12.2	Sammenheng mellom stivhetsmoduler og CMV	57
13.1	Resultater fra platebelastning på sortert kult 22/63	59
13.2	Resultater fra platebelastning på frest asfalt	59
13.3	Resultater fra platebelastning på 0/32	60
13.4	Nedbøyning ved andre belastningsyklus	61
15.1	Overlapp i antall overfarer	65
15.2	Antall registrerte overfarer på område hvor det er kjørt 12 overfarer	66
15.3	CMV-fordeling overkomprimering	67

Tabeller

5.1	Krav til dokumentasjon av komprimeringsarbeid	18
11.1	CMV-registreringer fra enkel responsmåler	50
11.2	Setningsanalyse	51
11.3	Måleverdier fra nivellement [m.o.h.]	52
12.1	CMV-verdier og stivhetsmoduler	55
12.2	CMV-utvikling, felt for felt	55
13.1	Stivhetsberegninger platebelastning	60
14.1	Falloddsmålinger på kult	63

Del I

Innledende del

Kapittel 1

Om oppgaven

Bakgrunn, formål og omfang

Denne masteroppgaven er en videreføring av arbeidet med prosjektoppgaven «Intelligent komprimering» av Marit Fladvad fra høsten 2011.

Bakgrunnen for temaet som er valgt er den siste tids fokus på veger som har fått skader alt for kort tid etter bygging. For at samfunnets ressurser skal brukes på en slik måte at man får størst nytte igjen for pengene som blir brukt, må vegbyggingen gjøres med stort fokus på kvalitet. Selv om det ofte medfører en dyrere byggeprosess, vil det lønne seg over tid, fordi man får lavere vedlikeholdskostnader og aller helst lengre levetid på konstruksjonene som bygges.

Komprimering virker å være en “glemt” del av vegbyggingen, til tross for at nettopp komprimeringsarbeid har stor innvirkning på kvaliteten til en ferdig veg. Det er på tide at komprimering blir sett på som et eget fagområde, og alle som skal drive komprimeringsarbeid bør ha en viss grunnkunnskap om komprimeringens egenskaper.

Formålet med arbeidet er å undersøke hvordan kontinuerlig komprimeringskontroll (CCC) kan innføres i Norge. CCC er allerede innført i mange andre europeiske land, men på grunn av at norsk vegbygging skiller seg ut i bruk av knust fjell og grove masser er det nødvendig å gjøre egne feltundersøkelser her til lands for å undersøke gyldigheten til målingene.

I denne rapporten er det kun komprimering av granulære lag som er omtalt, selv om kontinuerlig komprimeringskontroll også brukes ved komprimering av asfalt og andre materialer. Arbeidet har hatt et omfang tilsvarende 30 studiepoeng, og har foregått vårsemesteret samt deler av sommeren 2012.

I tillegg til litteraturstudier og feltarbeid, har også tre reiser vært en del av arbeidet med masteroppgaven. Det har vært gjort befaringer på to anlegg, og arrangert møter med to entreprenører som allerede i dag er godt inne i bruken av kontinuerlig komprimeringskontroll. Entreprenørene TT Anlegg og Vassbakk & Stol har bidratt medverdifull

informasjon om CCC i praktisk bruk. To utstyrsleverandører, Sitech og Dynapac, har vært involvert i oppgaven, og det har vært arrangert et fabrikkbesøk med omvisning hos Dynapac i Karlskrona, Sverige.

Rapportens oppbygning

Rapporten er delt inn i fem deler. Først en innledende del med generell informasjon om oppgaven og hvordan den er løst. Deretter følger en del hvor teori og resultater fra litteratursøk er presentert. Organiseringene av feltforsøkene er senere presentert i en egen del, før resultatene av forsøkene blir presenter og vurdert. Oppgaven avsluttes med en generell del hvor resultater og muligheter blir vurdert, og konklusjonene blir trukket. Videre er oppgaven bevisst inndelt i mange kapitler for at det skal være enkelt å lese og finne fram til de ulike temaene som er behandlet.

Begrensninger og spesielle forhold

Man var avhengig av å få innpass på et veganlegg for å få gjøre feltforsøk, og anleggene ble forsinket i forhold til oppsatt tidsplan på grunn av at snøen lå lenge. Dette førte til at feltarbeidet kom sent i gang, og hele oppgavearbeidet ble dermed forsinket med cirka én måned.

Oppgavedefinisjonen har vært svært løs, og var fra starten av bare et tema/en tittel. Selve oppgaveteksten ble ikke satt på papiret før i juni 2012. Det gjorde at masterarbeidet var svært vanskelig å komme i gang med, og mye av arbeidet som ble gjort i starten av semesteret ble ikke aktuelt å bruke videre når selve oppgaven ble utviklet. Dersom oppgaven hadde vært formalisert på et tidligere tidspunkt ville det vært enklere å gjøre relevant arbeid helt fra starten av oppgaveperioden. Likevel har den løse organiseringen gjort at det hele tiden har vært mulighet til å justere arbeidet etter hva som har vært mest interessant å jobbe med. At oppgaveteksten ble skrevet så sent, gjør at den dekker arbeidet som har vært gjort godt.

Kapittel 2

Metodevalg

Denne oppgaven er utført som en kombinasjon av litteraturstudium og feltforsøk. Forde-lingen mellom de to har ikke vært fastlagt verken på forhånd eller underveis, men man har lagt vekt på å få til gode feltforsøk for å få praktisk erfaring med oppgavetemaet. I utgangspunktet var det ønske om å få til mer omfattende feltforsøk, men både tid og mu-ligheter viste seg å være mer begrenset enn det man planla med i begynnelsen av arbeidet. Oppgaven er derfor ikke et rent feltstudium, men det er også lagt vekt på å undersøke nåværende praksis og retningslinjer. Et viktig aspekt ved oppgaven er utfordringene med å tenke framover og utarbeide forslag til hvordan Statens Vegvesen sine retningslinjer kan endres og forbedres for å oppnå bedre kvalitet i vegbyggingen. Statens vegvesen har som mål å innføre nye retningslinjer for komprimering og komprimeringskontroll. I lys av dette vil det være nyttig både å se på retningslinjer fra andre land, og å gjøre feltforsøk

Arbeidet med oppgaven kan oppsummeres i tre deler:

- I. Litteraturstudium og forberedelser til feltarbeid
- II. Feltarbeid
- III. Etterarbeid (tolkning av resultater, vurdering og drøfting)

En alternativ metode kunne vært å gjennomføre oppgaven som et rent litteraturstudium for å innhente kunnskap om kontinuerlig komprimeringskontroll. I litteraturstudiet har det vært naturlig å undersøke retningslinjer som brukes i andre land, og ikke minst feltundersøkelser som er gjort andre steder i verden. Etter en del arbeid med dette viste det seg at en stor del av feltforsøkene som er gjort på området er gjort på vegkonstruksjoner med oppbygning svært ulik det som er vanlig i Norge. Det ble derfor besluttet at det var viktig å få gjort egne feltforsøk for å få kunnskap om komprimeringskontroll i norske forhold. Resultatene av en mer teoretisk oppgave ville derfor vært mindre tilpasset til norske forhold.

I motsatt retning ville en alternativ metode være å utforme oppgaven og arbeidet som et rent feltarbeid. Optimalt sett burde feltforsøkene være lagt opp slik at man fikk gjort undersøkelser både med ulikt utstyr og på ulike vegoppbygninger. Å kartlegge variasjonene mellom ulike utstyrproducenter kunne vært mulig dersom man hadde fått de forskjellige utstyrproducentene til å stille en vals til disposisjon på samme anlegg, men det har man på ingen måte hatt verken tid eller ressurser til. Det ble derfor avgjort å gjøre alle feltforsøkene med samme vals.

Variasjoner i resultatene som følge av bruk av ulike byggematerialer var det også ønske om å undersøke nærmere. For å løse dette ble det vurdert å gjøre forsøk på flere anlegg, og eventuelt lete etter anlegg hvor man bygget veg på ulike grunnforhold eller med ulik oppbygning innenfor samme geografiske område. På grunn av tidsbegrensning både med masterarbeidet og ute på anleggene ble det ikke mulig å få til.

Laboratorieforsøk var også foreslått som en metode for å få gjort mer praktisk arbeid, men ble utelukket på grunn av at man ville ha fokus på den praktiske siden av vegbyggingen. Fremstilling og tolkning av resultater er en prosess som tar lang tid, spesielt når man har mange forskjellige resultattyper å forholde seg til. På grunn av at oppgaven skulle være praktisk rettet ble arbeid med resultater fra forsøk prioritert foran arbeid med litteraturstudium.

Valg av metode for denne oppgaven var ikke gjort på forhånd, men ble som beskrevet vurdert og revidert underveis som arbeidet skred frem. Mengden feltforsøk begrenset seg naturlig ut i fra hvor mye tid som var tilgjengelig og hvor mange anlegg det var mulig å samarbeide med. Værforholdene har også hatt stor innvirkning på hvor omfattende forsøk det har vært mulig å gjøre. Langvarig vinter har gjort at anleggene har blitt forsinket, og dette har også påvirket arbeidet med masteroppgaven.

Del II

Litteratursøk og teori

Kapittel 3

Viktigheten av god komprimering av granulære lag

Som en innledning til teoridelen av rapporten er det relevant å nevne hvorfor komprimering av granulære materialer er viktig.

Selv om kostnaden for komprimeringsarbeid bare utgjør en liten del av de totale konstruksjonskostnadene, vil arbeidet ha stor innvirkning på levetidskostnadene. Godt komprimeringsarbeid senker mengden og frekvensen av reasfaltering som behøves i levetiden (Sandström and Pettersson, 2003).

Dårlig komprimering kan gi problemer med spordannelse, sprekker og telehiv. Med tanke på setninger er det ikke viktigst hvor stiv konstruksjonen er, men hvor jevnt stiv den er. Man kan ikke unngå setninger fullstendig, men homogen stivhet fører i det minste til at setningene fordeler seg jevnt utover. På den måten kan konstruksjonen tåle at setninger oppstår, uten at det dannes humper og sprekker.

Om stivheten i de granulære lagene er dårlig vil skadene spre seg i konstruksjonen, og både asfalt, grøfter og rør kan få skader som er kostbare å utbedre. Dersom man får skader på rør og drenering kan skadene utvikle seg videre til for eksempel utvasking eller telehiv. Det er viktig å påpeke at for rør og drenering er for mye komprimering like skadelig som for lite komprimering.

Kapittel 4

Dagens kontrollmetoder - fra håndbøkene 014 og 015

4.1 Laboratorieundersøkelsesmetoder

Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser (Statens Vegvesen, 2005) beskriver hvilke laboratorieundersøkelser som kan utføres på vegbyggingsmaterialer. Materialene som brukes i bære- og forsterkningslag er ofte så grove at de tradisjonelle laboratorieforsøkene mister sin relevans.

Modifisert Proctor er den laboratoriemetoden som det stilles krav til i Hb018.

«Ved denne metode bestemmes forholdet mellom vanninnhold og tetthet (tørr densitet ρ_d) for jordarter som komprimeres i en form av standardisert størrelse med en 4,8 kg stamper som har en fri fallhøyde på 450 mm. Det optimale vanninnholdet er det vanninnhold som ved innstamping gir høyeste tørrdensitet (ρ_d), og denne betegnes som 100 % Modifisert Proctor.»

(Statens Vegvesen, 2005, nr. 14.462)

Det lages til en prøvemengde på ca. 3,5-5,5 kg, avhengig av steinstørrelse, med et vanninnhold ca 4 % under antatt optimalt vanninnhold. Denne stemples i fem like tykke lag. Man tar ut en del av sylindere med gitt høyde (og dermed kjent volum), og veier denne, og finner slik densiteten til den våte prøven. Ca. 500 gram av prøvematerialet tørkes, og man bruker vekten av den tørkede prøven til å finne tørr densitet og vanninnholdet i massen. Denne prosessen gjentas med økende vanninnhold helt til densiteten går ned eller stabiliseres. Vanninnholdet økes med ca 1-2 % for hver innstamping. Ved hjelp av disse resultatene kan man sette opp en graf med densitet mot vanninnhold, og slik finne vanninnholdet som gir høyest densitet. Dette vanninnholdet blir kalt optimalt vanninnhold og

den tilsvarende densiteten kalles 100 % modifisert Proctor. Det finnes også en formel for korreksjon, som gjør at man kan ta hensyn til at materialene i felt ofte inneholder større kornstørrelser enn det man kan ta med i laboratorietesten. Mengden av korn større enn 19 mm bør ikke utgjøre mer enn 30 %.

4.2 Feltundersøkelsesmetoder

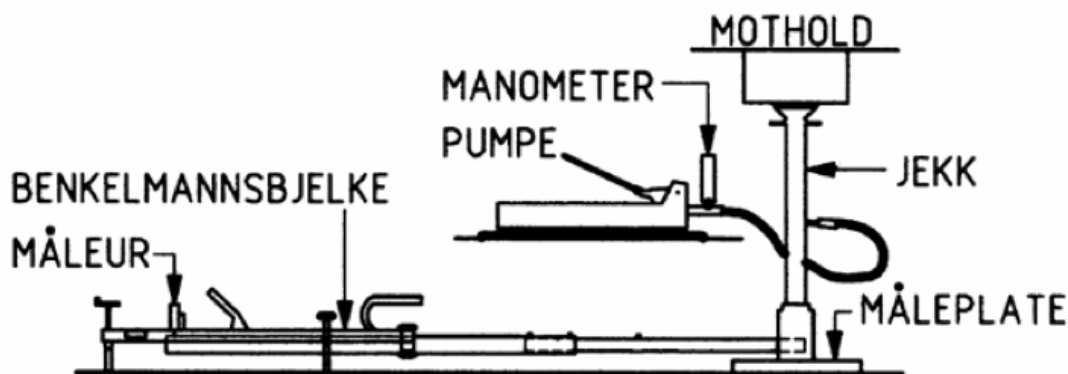
De aktuelle feltundersøkelsesmetodene som blir brukt for komprimeringskontroll er platebelastning, fallodd og nivellement. Alle disse er beskrevet i håndbok 015 (Statens Vegvesen, 1997), men en kort oppsummering er presentert i dette kapittelet.

4.2.1 Platebelastning



Figur 4.1 – Feltforsøk med platebelastning 16.05.12 (Foto: M. Fladvad)

Platebelastning brukes for kontroll av komprimering på utlagte materialer med maksimal kornstørrelse mindre enn ca. 150 mm. Platebelastning kan også brukes for å måle bæreevne og stabilitet. Komprimeringen uttrykkes som endring i elastisitetsmodul ved gjentatt pålastning. Elastisitetsmodulen bestemmes på grunnlag av belastningsforsøk på en stiv, sirkulær og jevnt belastet plate. På overflaten legges et tynt lag gips. Gipslaget under platen skal være så tynt som mulig, og ikke mer enn 2 - 3 mm tykt. Platen belastes i fem trinn, og man leser av nedbøyningen for hvert trinn når den er stabilisert. Belastningssyklusen med de fem trinnene utføres to ganger.



Figur 4.2 – Prinsipp tegning platebelastning (Statens Vegvesen, 1997, Figur 15.328-1)

Resultatene fra platebelastning beregnes som en stivhetsmodul fra hver belastningssyklus, E_1 og E_2 . I tillegg beregnes forholdet mellom de to, E_2/E_1 .

E_1 forteller om stivheten øverst i materialet som målingene gjøres på, mens E_2 forteller om stivheten lenger ned i laget. Forholdet E_2/E_1 sier noe om hvor stor potensialet for mer komprimering av massen er. Ved å sammenligne hvor stivt materialet er etter andre belastning i forhold til hvor stivt det var etter første belastning finner man ut hvor mye komprimering materialet har tatt til seg fra den statiske belastningen som ble satt på platen under forsøket.

4.2.2 Nivellement

«Høyden på det aktuelle laget måles både før komprimering og etter hver passering av komprimeringsutstyret. Laget ansees tilfredsstillende komprimert når siste passering gir en setning som er mindre enn 10 % av totalsetningen.»
(Statens Vegvesen, 1997, nr. 15.327)

Man merker opp målepunkter med 25 cm mellomrom, med første punkt ca 1 m fra vegkanten. Det merkes opp punkter til en bredde på omlag 3 meter. Det utføres høydemålinger i alle de avsatte målepunktene, og dette gjentas med én valsepassering mellom hvert nivellement. Det skal nivelleres i tre tverrprofiler med 10-15 m avstand. Setningen for hver passering regnes ut som gjennomsnitt for de tre profilene. Komprimeringen ansees for tilstrekkelig når setning etter siste passering blir $\leq 10\%$ av total setning.

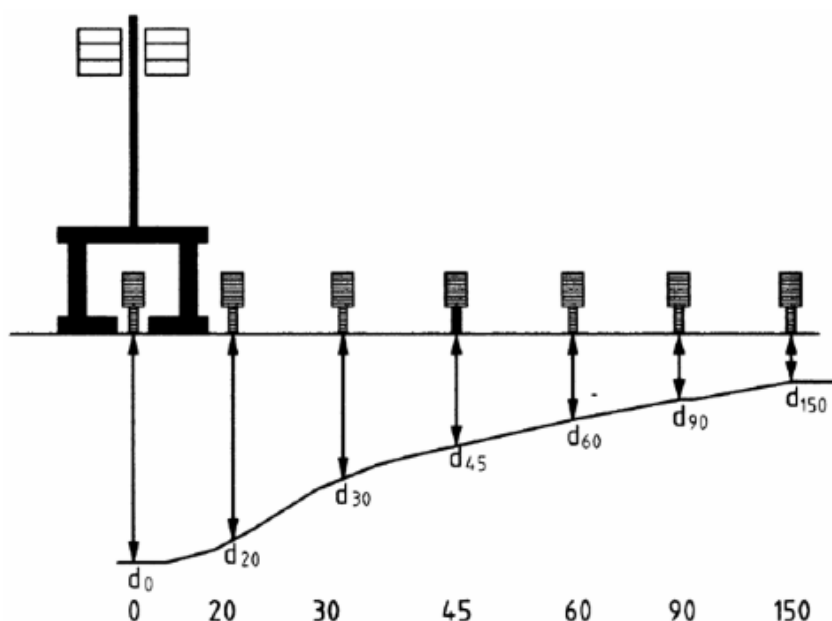
4.2.3 Fallodd

«Fallodd benyttes for å fastlegge nedbøyningen på en veg under last. Nedbøyningen benyttes som et uttrykk for vegens bæreevne.»

(Statens Vegvesen, 1997, nr. 15.412)

Falloddet er montert på en biltillhenger, og består av et lodd, opphenssystem og en bjelke med sensorer som måler nedbøyning i ulike avstander fra lastsenteret. Når målingene gjøres slippes et lodd ned på en belastningsplate, og man måler nedbøyning i sentrum av belastningsplaten og i seks andre sensorer som er plassert fra 20 til 150 cm fra lastsenteret. Målingene tar kort tid å utføre, og det gjøres vanligvis målinger for hver 50 m langs ytre hjulspor på en vegstrekning. Belastningen er vanligvis 50 kN, og det slås tre slag på hvert målepunkt, hvor man lagrer resultatet fra det siste. Målingene er automatiske, og sjåføren trenger ikke å gå ut av bilen for å gjøre hver måling. Ved å analysere hvordan setningene avtar med økende avstand fra lastsenteret kan man beregne bæreevne og tolke stivheten til vegkonstruksjonen.

Fallodd er vanligvis en kontrollmetode som brukes på eksisterende veier, for eksempel til å kartlegge behov for forsterkning. Forsøkene kan kjøres både på asfalt- og grusdekker. Metoden kan også brukes til kontroll på veg under bygging, dersom overflaten som falloddet kjøres på er jevn nok til at nedbøyningene registreres.



Figur 4.3 – Prinsipp tegning fallodd (Statens Vegvesen, 1997, Figur 15.412-1)

De sju nedbøyningene brukes til å beregne et såkalt nedbøyningsbasseng. Dersom nedbøyningsbassenget har stor utstrekning, store nedbøyninger over et stor areal, er massene stive i toppen, mens det er svakheter lenger ned. Et mindre nedbøyningsbasseng, der man har stor nedbøyning bare nært belastningspunktet, tyder på at massene i de øvre lag er svake.

En rapport utviklet av Øystein Holstad fra Statens Vegvesen region Vest (Holstad, 2008) forklarer hvordan fallodds målinger skal tolkes. Parametrene som brukes i tolkingen er:

$D0 - D20$ Differansen i nedbøyning i belastningssentrum og 20 cm fra midten av platen

$D90$ Deformasjonen 90 cm fra sentrum av belastningsplaten

$\frac{D0}{D0-D20}$ Forholdstallet mellom definisjonen i belastningssentrum og endringen i setning mellom sentrum og 20 cm fra sentrum.



Figur 4.4 – Feltforsøk med fallodd 30.05.12 (Foto: M. Fladvad)

Høy $D0 - D20$ tyder på svake materialer øverst i konstruksjonen, mens høy $D90$ viser at deformasjonen langt fra lastsenteret er stor, og tyder på svake materialer lenger ned i konstruksjonen. Forholdstallet $\frac{D0}{D0-D20}$ brukes sammen med $D0 - D20$ og $D90$ til å bedømme i hvilket lag av konstruksjonen eventuelle svakheter ligger.

Kapittel 5

Oppsummering av krav i Håndbok 018

Et av målene med denne oppgaven er å komme med forslag til forbedringer til dagens komprimeringskontroll. For å kunne gjøre dette er det lagt stor vekt på å oppnå god oversikt over dagens situasjon. Dagens komprimeringskontroll beskrives med krav i Håndbok 018 (Statens Vegvesen, 2011).

I dette kapitlet følger en oppsummering av stoffet i Hb018 som omhandler komprimering. Alt som er skrevet med blå skrift i dette kapitlet er direkte utdrag fra kapittel 52 i håndboken.

Kapittel 5 Vegfundament i Håndbok 018 beskriver hvordan vegfundamenter skal dimensjoneres, bygges og forsterkes. For denne oppgaven er det *kapittel 52 Materialer og utførelse* som er mest relevant, og dette kapitlet starter med et funksjonskrav:

«Materialene i overbygningen skal ha en slik kvalitet og lagtykkelse at det ikke oppstår deformasjoner, sprekker eller andre skader i vegdekket i løpet av vegens dimensjoneringsperiode. Denne kvaliteten vil normalt oppnås om kravene i denne normalen overholdes.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 246)

I siste delen av funksjonskravet ser man at Statens Vegvesen i noen grad tar ansvar for å beskrive forskrifter på en slik måte at kvaliteten på konstruksjoner som bygges blir god nok.

Håndboken beskriver tre tradisjonelle metoder for komprimeringskontroll. Det er Modifisert Proctor, platebelastning og nivellement. Mod. Proctor-testen baserer seg på densitet og vanninnhold for å finne komprimeringsgrad. Det er en nøyaktig metode, men bruksområdet er begrenset:

«For mekanisk stabiliserte materialer med øvre siktstørrelse ≤ 32 mm og velgradert/tett kornkurve kan komprimeringsgraden normalt uttrykkes som tørr densitet målt i felt i forhold til tørr densitet målt ved Modifisert Proctor i laboratorium.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 250)

Platebelastning er egnet for lagtykkelse under 300 mm og for kornstørrelser mindre enn 150 mm. Utover dette anbefaler håndboken nivellement. Ved bruk av nivellement skal man måle setninger i tre punkter i hvert tverrprofil. Gjennomsnittlig setning for siste passering av valsen skal være mindre enn 10 % av totalsetning, og totalsetningen bør registreres og sammenlignes med normal forventet setning.

Dersom verken proctor, nivellement eller platebelastning er egnede metoder kan man kontrollere antall overfarter i forhold til oppgitt antall i tabeller i håndboken.

«Kontroll og dokumentasjon basert på antall passeringer av valseutstyret er f.eks. aktuelt ved breddeutvidelser, lokale forsterkningstiltak og andre arbeider hvor en inndeling i homogene kontrollseksjoner er vanskelig. Ved slike arbeider vil det være praktisk vanskelig å dokumentere utført komprimering uten bruk av valsemontert utstyr.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 251)

Homogene kontrollseksjoner er et viktig stikkord her. Håndboken beskriver at man skal ta en kontrollmåling for hver 100 m tofelts veg, og man tenker slik at hver prøve da skal være representativ for 100 m ferdig veg. For at dette skal være tilfelle er det viktig å fordele prøvene slik at alle variasjoner i grunnforhold og overbygning er dekket. Kravet er satt slik at målingene i alle punkter skal oppfylle grensene som er satt.

«For at kontroll med antall passeringer skal fungere godt, vil det i praksis være nødvendig å stedfeste og dokumentere passeringene med valsemontert utstyr (GPS) og utstyr for elektronisk lagring og behandling av dataene.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 251)

Håndboken åpner allerede nå opp for bruk av fallodd i stedet for platebelastning. Et av forsøkene som skal gjøres i denne oppgaven er å undersøke om fallodd er en god metode for komprimeringskontroll i byggefasen.

«Som alternativ til statisk platebelastning kan fallodd eller minifallodd benyttes. Dette må vurderes i det enkelte tilfelle, og forutsetter at det foreligger en kalibrering mot statisk platebelastning på tilsvarende materialer, materialtilstand, lagtykkelse og underlag.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 250)

Platebelastning utføres vanligvis på det siste laget før asfalten blir lagt på vegkonstruksjonen. Mest fordi massene først så langt opp i konstruksjonen er finkornige nok, men også på grunn av at platebelastning er en svært tidkrevende kontrollmetode. For å kunne kontrollere komprimeringsarbeidet også tidligere i byggeprosessen åpner håndboken å kombinere kontrollmetodene:

«Dokumentasjon ved hjelp av platebelastning kan begrenses til ett av lagene i overbygningen, fortrinnsvis det øverste lag av mekanisk stabiliserte materialer. For de øvrige lagene aksepteres det da at dokumentasjon foreligger i form av nivellement eller dokumentert antall overfarer.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 254)

Det beskrives også noen generelle råd om komprimering i håndboken, som kan være til støtte for valseføreren:

«Lav amplitude brukes ved lagtykkelser opp til 400 mm. Ved større lagtykkelser kjøres de første passeringene med høy amplitude, de siste passeringene kjøres med lav amplitude. Komprimering avsluttes med to statiske passeringer for å oppnå en fast overflate. Anbefalt kjørehastighet er 3-5 km/t.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 251)

I tillegg er det svært kort beskrevet av materialet skal vannes før komprimering. Det står ikke noe om hva som regnes som et fuktig materiale, hvor mye vann som skal tilføres eller hvor ofte det eventuelt skal vannes. Dette kan derfor være et krav som det er vanskelig for både entreprenør og byggherre å forholde seg til.

«Steinmaterialet skal være fuktig ved komprimering. Ved komprimering av pukkl skal man etter to passeringer (tykkelser 75-100 mm), eventuelt tre passeringer (tykkelser >100 mm), forvisse seg om at materialet ikke knuses unødvendig ned (visuell inspeksjon), før man eventuelt fortsetter komprimeringen.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 249)

Dagens versjon av Håndbok 018 åpner også for bruk av responsmålinger og valsemontert utstyr. Man stiller krav til kalibrering mot tradisjonelle metoder for å kunne være sikker på at målingene som gjøres er representative. Dette gjelder om man vil bruke responsmåler til å dokumentere stivhet. Dersom man vil bruke GPS til å dokumentere antall overfarer er det ikke stilt spesielle krav til hvilket utstyr som skal brukes

«Dersom kontroll med valsemontert utstyr (responsmålinger) skal inngå i dokumentasjonen av utført komprimering, skal utarbeidelsen av valseprogrammet kombineres med en kalibrering av responsmålingene i forhold til de krav

som er satt.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 250)

En fordel med å bruke valsemontert utstyr er at antallet stikkprøver med andre metoder kan reduseres. Disse metodene er tidkrevende, og det vil derfor kunne ligge stor nytte i å få redusert omfanget stikkprøver. Håndboken trekker likevel frem enkelte problemer og utfordringer med bruk av valsemontert utstyr.

«Måling med valsemontert utstyr (responsmåling) kan være et godt supplement til dokumentasjon med andre kontrollmetoder og redusere kravet til omfanget av dokumentasjon ved disse. Dersom resultater fra valsemontert utstyr skal inngå i dokumentasjon av utført komprimering, skal det benyttes papirutskrifter eller elektroniske datafiler med filformat avtalt med byggherren, og resultatene være stedfestet ved hjelp av GPS eller annen egnet metode.

(...)

Bruk av slikt utstyr forutsetter god kjennskap til massetyper, lagtykkelser og underlag. Målemetoden kan være vanskelig på massetyper med stor variasjon i materialeegenskaper og måleresultater. Måleverdiene kan ofte være påvirket av undergrunnens bæreevne. Kalibrering av responsmålinger skal være utført på aktuell massetype, lagtykkelse og undergrunn, og like forhold forøvrig.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 253)

«Måleverdier fra valsemontert utstyr kan påvirkes av bæreevne og andre forhold ved massenes beskaffenhet (steinstørrelse, vanninnhold, fremmede materialer mv). På noen massetyper f.eks. sprengt stein kan måleresultater variere mye. Bruk av slik utstyr som eneste komprimeringskontroll må man derfor være forsiktig med.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 253)

Man skiller mellom to grader av dokumentasjon: full og redusert dokumentasjon.

«Med full dokumentasjon menes dokumentasjon basert på målinger, dvs. densitetsmålinger, platebelastning eller nivellement. Med redusert dokumentasjon menes en dokumentasjon av at antall valsepasseringer er i overensstemmelse med krav.»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 254)

Tabellen i Hb018 som beskriver anbefalt antall overfarter kan være et godt hjelpemiddel, men bør ikke brukes som en fasit på hvordan komprimeringsarbeidet skal legges opp.

Formålet med komprimeringsarbeidet er å unngå setninger når vegen blir satt i drift, men også å sørge for at de setningene som oppstår fordeler seg jevnt utover slik at man ikke får problemer med for eksempel telehiv. Det er viktig å oppnå jevn stivhet gjennom hele konstruksjonen, og derfor må man ta hensyn til at stivheten ikke er uniform før komprimeringsarbeidet begynner.

Dersom kontinuerlig komprimeringskontroll brukes, viser Tabell 5.1 at kravet til dokumentasjon av kontroll (ved full dokumentasjon) for nivellement, platebelastning og densitetsmålinger kan reduseres fra en måling for hver 100 m til en måling for hver 250 m. Det tilsvarer en reduksjon på 60 %.

	Lengde av kontrollstrekning	
	uten kontinuerlig dokumentasjon	med kontinuerlig dokumentasjon
Densitetskontroll, 5 målinger	100 meter tofelts veg	250 meter tofelts veg
Platebelastning, 1 måling	100 meter tofelts veg	250 meter tofelts veg ¹⁾
Nivellement, 1 profil a 3 punkter	100 meter tofelts veg	250 meter tofelts veg

¹⁾ Måling utføres i dokumentert svake punkter

Tabell 5.1 – Figur 520.10 Krav til dokumentasjon av komprimeringsarbeid for mekanisk stabiliserte materialer i overbygningen fra Hb018 (Statens Vegvesen, 2011, s. 254)

Ulikt GPS-utstyr kan ha forskjellig nøyaktighet og detaljeringsgrad. Nøyaktigheten er svært prisavhengig, og har vært i stor utvikling i løpet av de siste 10 år. I 2011-utgaven av Håndbok 018 er det stilt krav til nøyaktigheten til utstyret:

«Stedfesting ved hjelp av GPS skal ha en nøyaktighet bedre enn $\pm 1,0$ m»

(Statens Vegvesen, 2011, s. 253)

Håndboken stiller ingen krav til hvordan kontroll med GPS og responsmåler skal dokumenteres. Det bør spesifiseres hvor detaljert dokumentasjonen skal være, og på hvilket format den skal leveres. Siden de ulike leverandørene av utstyr har ulike måter å fremstille resultatene på er det viktig for Statens vegvesen som byggherre å spesifisere enkle krav til hvordan resultatene skal vises.

Kapittel 6

Begreper og definisjoner

6.1 Begrepsavklaring Continuous Compaction Control og Intelligent Compaction

Continuous compaction control (CCC) og intelligent compaction (IC) er to begreper som går igjen i faglitteraturen, og som det er viktig å skille klart mellom. CCC kalles på norsk *kontinuerlig komprimeringskontroll*, eller fra svensk *overflatedekkende komprimeringskontroll*. Begrepet bygger altså på ideen om at man skal ha kontroll på komprimeringsnivået på hele vegoverflaten. For å få til dette er GPS et godt hjelpemiddel, men før GPS var i bruk på alle byggeplasser kunne man også gjøre kontinuerlig kontroll med mer manuelle metoder. Valsen kunne utstyres med avstandsmåler, og så det var opp til valsefører å dokumentere at det var komprimert i hele vegbredden over den aktuelle strekningen. Det er stort sett i de siste 10 årene at GPS har blitt utbredt på byggeplasser omkring i Norge, og CCC kan være et ledd i å også inkludere valsen i denne utviklingen.

Intelligent komprimering bygger på at instrumenteringen på valsen skal være et intelligent system, altså et system som tenker selv. Dette vil være en valse som selv kan justere sine parametre for å tilpasse komprimeringsarbeidet til massene som skal komprimeres. En slik valse kan for eksempel analysere målingene som gjøres etter hvert som de registreres, og stoppe vibrasjonen dersom den måler for mange dobbelhopp slik at man kan unngå nedknusning. Et annet alternativ er at valsen kan justere ned amplituden etter hvert som stivheten øker for å sikre at også den øverste delen av laget som komprimeres oppnår samme stivhet som resten. IC er utviklet for å være et hjelpemiddel for valseføreren, og gjør at man utnytter målingene fra responsmåleren i større grad. GPS-implementering er ikke en forutsetning for IC, men det vil være en fordel for eksempel for tolkning av målinger fra flere påfølgende overfarer. Med tanke på hvor billig GPS-utstyr har blitt, og hvor utbredt det er på byggeplassene, vil det være naturlig at også valsen utstyres med GPS.

Kort sagt kan man si at intelligent komprimering kan inngå som kontinuerlig komprimeringskontroll, men kontinuerlig komprimeringskontroll forutsetter ikke intelligent komprimering.

6.2 Definisjoner

For å kunne forstå komprimering og stoffet som er omtalt i denne oppgaven fullt ut er det viktig å ha oversikt over sentrale begreper som frekvens, amplitude, statisk linjelast, responsmålerverdiene CMV, Evib og CCV. Beregningene som gjøres for å finne responsmålerverdien CMV er også en sentral del av dette kapittelet.

Komprimeringsarbeidet kan deles inn i to deler, statisk og dynamisk komprimering. Den statiske komprimeringseffekten kommer fra selve vekten av valsen som jevnt presser massene sammen ved hjelp av tyngdekraften. I tillegg til dette kan man benytte dynamisk komprimering, som kommer av at valsetrommelen settes i vibrasjon og slår ned på massen som skal komprimeres.

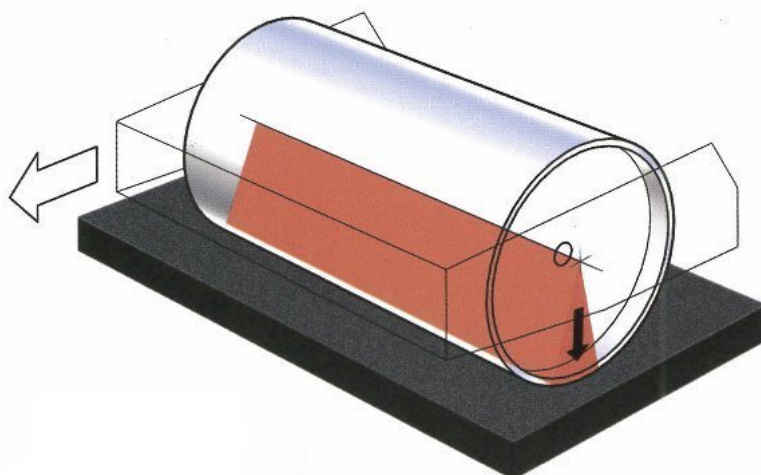
6.2.1 Statisk linjelast

Den statiske linjelasten er vekten som hviler på valsetrommelen pluss vekten av selve valsetrommelen, delt på bredden av trommelen. Det gir oss den totale lasten som påvirker hver centimeter under trommelen. Tankegangen bak dette er at det er en liten sektor av trommelens overflate som er i kontakt med undergrunnen. Man tenker seg at kontaktarealet er så smalt at det kan anses som en linje. Statisk linjelast oppgis vanligvis i kg/cm.

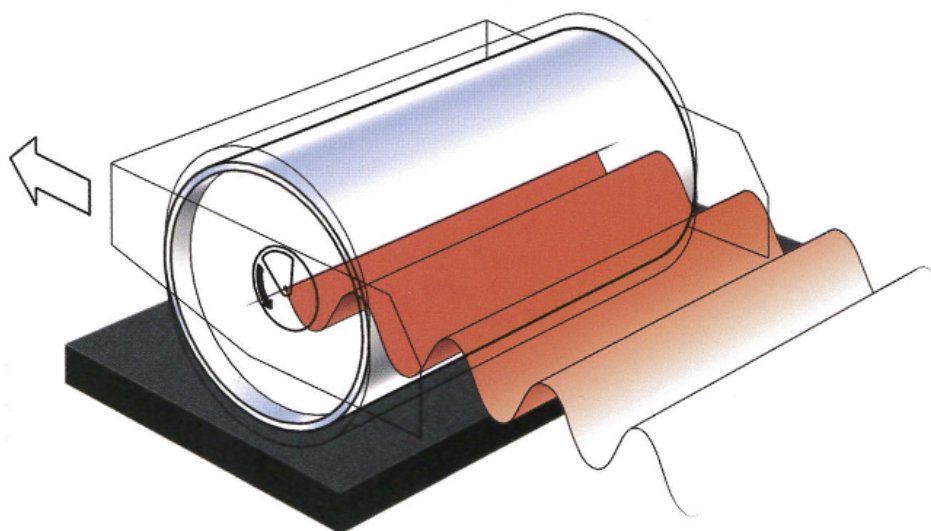
$$\text{Statisk linjelast} = \frac{\text{Vekt av trommel} + \text{Vekt av ramme}}{\text{Bredde av trommel}} \quad [\text{kg/cm}]$$

6.2.2 Vibrasjonens egenskaper: Frekvens og amplitude

Frekvens og amplitude er parametrene som definerer valsens vibrasjon. Når trommelen er i vibrasjon beveger den seg noen millimeter opp og ned flere ganger i sekundet, samtidig som valsen kjører framover. Dersom man vil analysere bevegelsene til trommelen, kan man beregne trommelens vertikale akselerasjonen. Den vertikale akselerasjonen forteller hvor



Figur 6.1 – Statisk linjelast (Dynapac, 2012a, s. 82)



Figur 6.2 – Valsetrommel i vibrasjon (Dynapac High Comp, 2001, s. 82)

fort hastigheten til trommelen i vertikal retning endres. Den vertikale akselerasjonen er konstant i endring, og oppfører seg som en sinusbølge som svinger rundt likevektsstadiet hvor akselerasjon er lik null. Man kan derfor si at den vertikale akselerasjonen har en amplitude som er lik den maksimale akselerasjonen.

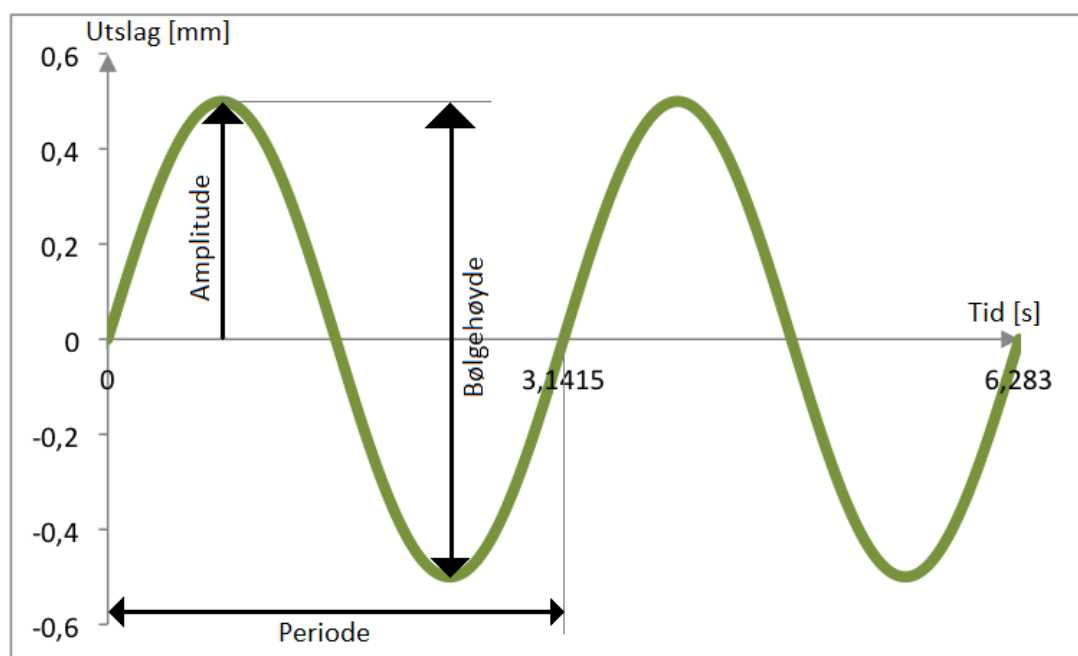
Det finnes også noe som kalles oscillerende vibrasjon, hvor valsetrommelen vibrerer horisontalt (frem og tilbake) i stedet for vertikalt. Denne vibrasjonen knar massene, og er brukt i komprimering av asfalt. Oscillerende vibrasjon er dermed ikke relevant for denne rapporten, som omhandler granulære materialer.

Vibrasjonen kan man se på som en sinusbølge, altså en harmonisk svingning. Frekvensen er hvor mange slag valsen overfører til grunnen per sekund, og oppgis i Hertz (Hz). Amplituden betegner hvor stort utslag valsetrommelen har når den svinger, og oppgis

vanligvis i millimeter.

På Figur 6.3 vises bølgehøyden til svingningen. Det er det totale utslaget til trommelen, altså hvor langt den beveger seg nedover for hvert slag i vibrasjonen. Når størrelsen på vibrasjonen omtales er det vanligvis amplituden man snakker om. Den er lik halve bølgehøyden, og er også vist på Figur 6.3.

Frekvensen kan man ikke se direkte ut fra figuren. Frekvensen er hvor mange svingninger man har per sekund, og beregnes som inverset av perioden, som er vist på Figur 6.3. Frekvensen beskriver hvor fort vibrasjonen går, altså hvor mange slag som overføres mellom valsen og bakken hvert sekund. Amplituden har direkte innvirkning på hvor stor kraft som overføres med hvert enkelt slag.

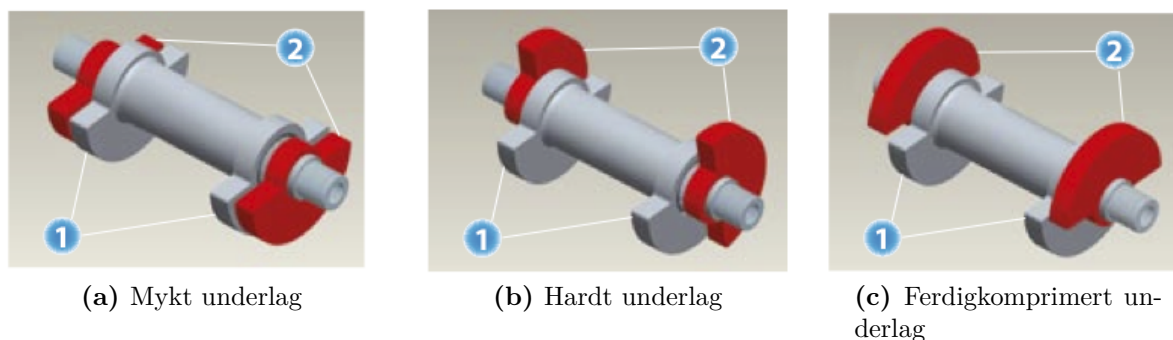


Figur 6.3 – Sinusbølge

Vibrasjonen blir skapt av eksentriske vekter som roterer inne i valsetrommelen. Det er en aksling inne i trommelen som roterer med en hastighet som avgjøres av hvilken frekvens stiller valsen inn på. På denne akslingen er det festet vekter som er festet slik at trommelens tyngdepunkt er i endring når akslingen roterer. Disse skal være så tunge at selve valsetrommelen blir satt i bevegelse når vektene roterer, og slik skaper en vibrasjon.

Justering mellom høy og lav amplitude gjøres ved å endre rotasjonsretningen for akslingen med de eksentriske vektene. Dette er mulig fordi en del av vekten står fast, mens resten kan justeres til motsatt side av akslingen. Den andre delen er «løs», og flytter seg med rotasjonsretningen. To eksempel på dette er vist i Figur 6.4 og Figur 6.5. Når vektene

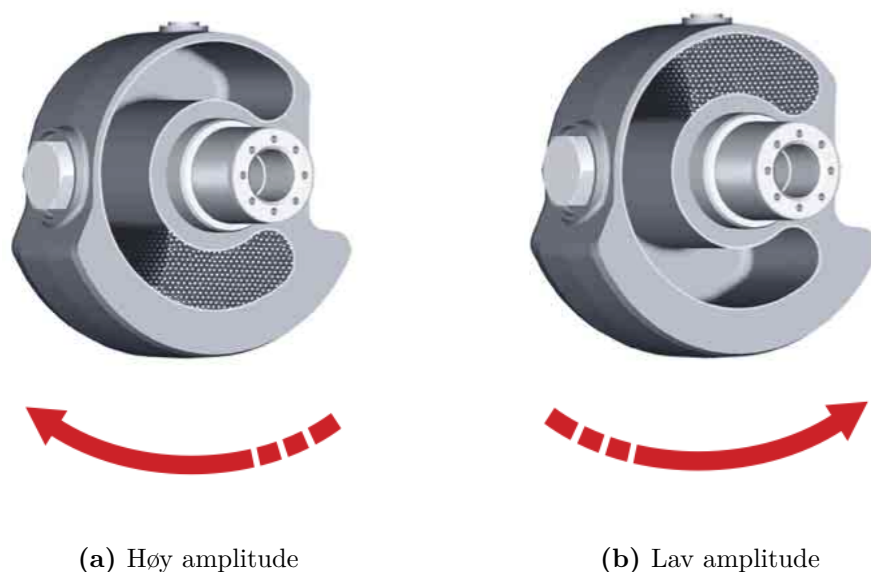
står i samme stilling, eller har samme posisjon i forhold til sentrum av akslingen får man den høyeste amplituden. Vektene jobber sammen om å dra trommelen ut av likevekt. Når rotasjonsretningen endres glir de flyttbare vektene over i motsatt posisjon, og den flyttbare vekten utligner i noen grad effekten av den vekten som står fast.



Figur 6.4 – Ulik innstilling av eksentervekt for valser fra Dynapac. For alle tre underfigurer: (1) Faste eksentervekt (2) Justerbare eksentervekt (Dynapac, 2012a, s. 2)

Dynapac bruker to like vekter, hvor den ene kan roteres mellom to «endestillinger» på akslingen. Disse innstillingene er vist i Figur 6.4. Myke materialer skal komprimeres med høy amplitude. Da setter man den flyttbare eksentervekten i samme stilling som den faste vekten (Figur 6.4a), og man får den høyeste oppnåelige amplituden. Når materialet blir hardere stiller man ned til lavere amplitude. Da vinkles den flyttbare vekten i forhold til den faste (Figur 6.4b), og amplituden blir lavere. Til slutt skal man kjøre over med valsen uten vibrasjon. Da settes den flyttbare vekten i motsatt stilling av den faste eksentervekten (Figur 6.4c), og utligner hele eksentrisiteten. På denne måten får man ingen vibrasjon selv om akslingen roterer. Nyere valser kan også låse vekten i flere mellomstillinger, og slik gi flere muligheter for justering av amplitude.

Cat sin metode for eksentervektjustering er vist i Figur 6.5. Her er det små stålkuler som kan bevege seg fritt inne i en del av den roterende akslingen. Samtidig er akslingen formet slik at den er en eksentrisk vekt i seg selv. Når systemet roterer den ene vegen legger stålkulene seg i den tunge delen av akslingen (Figur 6.5a), og skaper ekstra eksentrisitet, og vibrasjon med høy amplitude. Når rotasjonen snus flyttes kulene til motsatt side (Figur 6.5b) og senker vibrasjonen til lavere amplitude. I dette tilfellet ville man også hatt en viss vibrasjon om stålkulene ikke var til stede, fordi akslingen er eksentrisk i seg selv. Når man skal komprimere statisk roterer ikke akslingen inne i trommelen, og alle loddene ligger i ro.



(a) Høy amplitude

(b) Lav amplitude

Figur 6.5 – Eksentervekter CAT (CAT, 2012, s. 4)

Best vibrasjonseffekt får man når vibrasjonsakslingen roterer samme veg som selve valse-trommelen. Da er vibrasjonen med på å drive valsen framover. (Hovdenes, 2012) Dette er også en grunn til at man kan få forskjellig komprimeringseffekt avhengig av om valsen kjøres i revers eller framover.

6.2.3 Responsmåleverdier

I målingene og undersøkelsene som er gjort i forbindelse med denne oppgaven, har valsene som er blitt brukt alle målt respons som CMV-verdi. Denne blir derfor omtalt spesielt i kapittel 6.2.4. Det finnes også annet utstyr på markedet. Hvilken målemetode som brukes er avhengig av hvilken valseprodusent som brukes.

Når valsetrommelen vibrerer overføres det en dynamisk kraft mellom valsen og undergrunnen. Denne kraften fordeler seg nedover i konstruksjonen som en trykkbølge. Massene som komprimeres tar til seg noe av energien som overføres, mens noen reflekteres (fjæres) tilbake til overflaten. Det absorberes mindre og mindre etter hvert som massene som komprimeres blir stivere. Responsmålerne måler denne effekten og setter et tall på hvor stiv konstruksjonen er.

Bomag måler E_{vib} , som er en stivhetsparameter med måleenhet MN/m^2 , og som kan relateres direkte til resultater fra platebelastning. Man kan også montere GPS for å stedfeste målingene, og resultatene kan både vises i valsen og tas med til kontoret. (Bomag, 2012)

Hamm har utviklet Hamm Compaction Quality (HCQ)-system, og måler det de kaller HMV, et uttrykk for bæreevnen i massen som komprimeres. Det er også mulig å få GPS-registrering av arbeidet. Målingene fremstilles grafisk på skjerm i valsen som et hjelpe-

middel for valseføringen, og man kan velge mellom å vise bæreevne eller antall overfarer. Data kan også lastes ut via USB for videre analyse på kontoret. (Hamm, 2012)

Cat gjør målinger med akselerometer, og beregner Caterpillar Compaction Value (CCV). GPS og måler for helning på tvers av trommelen kan inkluderes. Data kan sendes trådløst mellom komprimeringsmaskin og kontor, i tillegg til at måleresultatene vises og lagres i valsen. Det samme utstyret som finnes i valser fra CAT kan også monteres på valser fra andre produsenter. Da kalles verdien som måles CMV, men det er de samme beregningene og målingene som blir gjort. Det er dette utstyret som er brukt i feltforsøk i denne oppgaven, og teorien bak målingene er beskrevet nærmere i kapittel 6.2.4. (CAT, 2012)

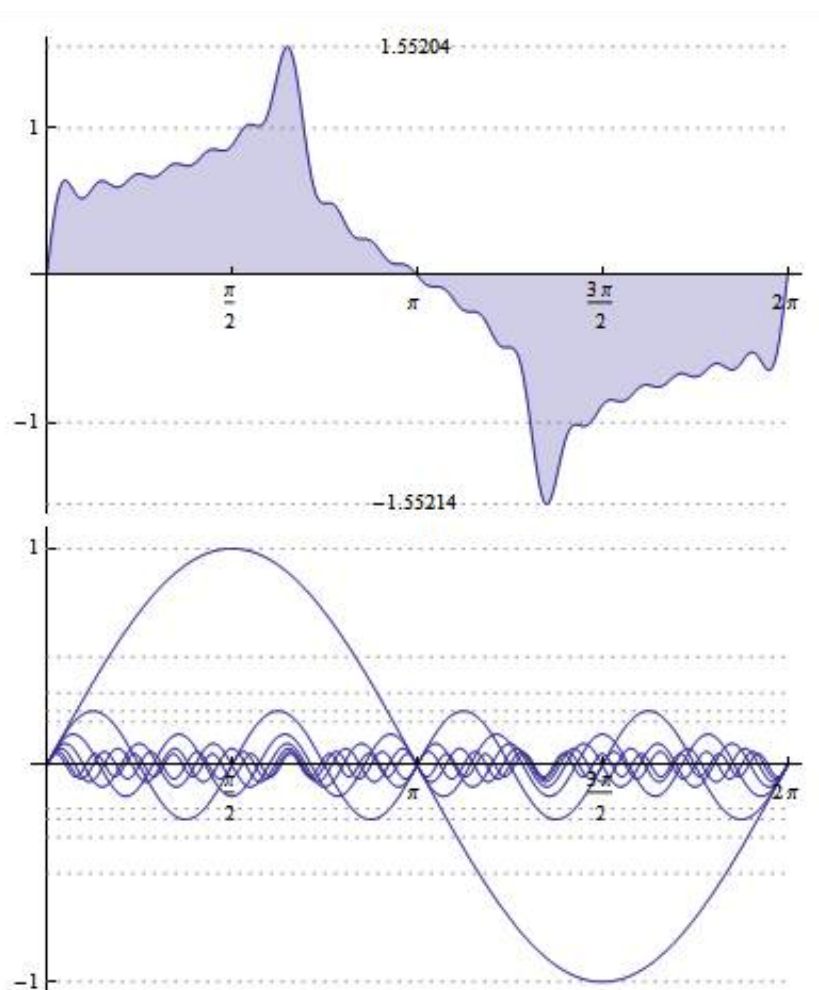
6.2.4 CMV-verdi

CMV står for **C**ompaction **M**eter **V**alue, og er en dimensjonsløs størrelse. CMV er den måleverdien utstyret som er brukt i forbindelse med denne oppgaven, fra CAT og Dynapac, måler. Spesielt på grunn av at den ikke har noen måleenhet kan det være vanskelig å forstå hva den representerer. Det vil derfor bli grundig forklart i dette kapittelet.

I kapittel 6.2.2 ble vibrasjonen omtalt som en sinusbølge. Dersom valsetrommelen hadde vibrert fritt i luften ville dette vært tilfelle, men byggematerialene lar seg ikke deformere totalt, og yter derfor en motstand mot vibrasjonen fra trommelen. Motstanden fører til forstyrrelser på den ideelle bølgen, og disse blir registrert av akselerometeret som er montert på trommelen.

Den korte forklaringen på CMV: Responsmåleren er et akselerometer som er montert på valsetrommelen. Akselerometeret måler trommelens vertikale akselerasjon, eller hvor fort hastigheten rett opp og rett ned endres. Dette sammenlignes så med hvor stor akselerasjonen teoretisk ville vært dersom svingningen var en perfekt sinusbølge. Harde masser gir store forstyrrelser, noe som resulterer i høy CMV.

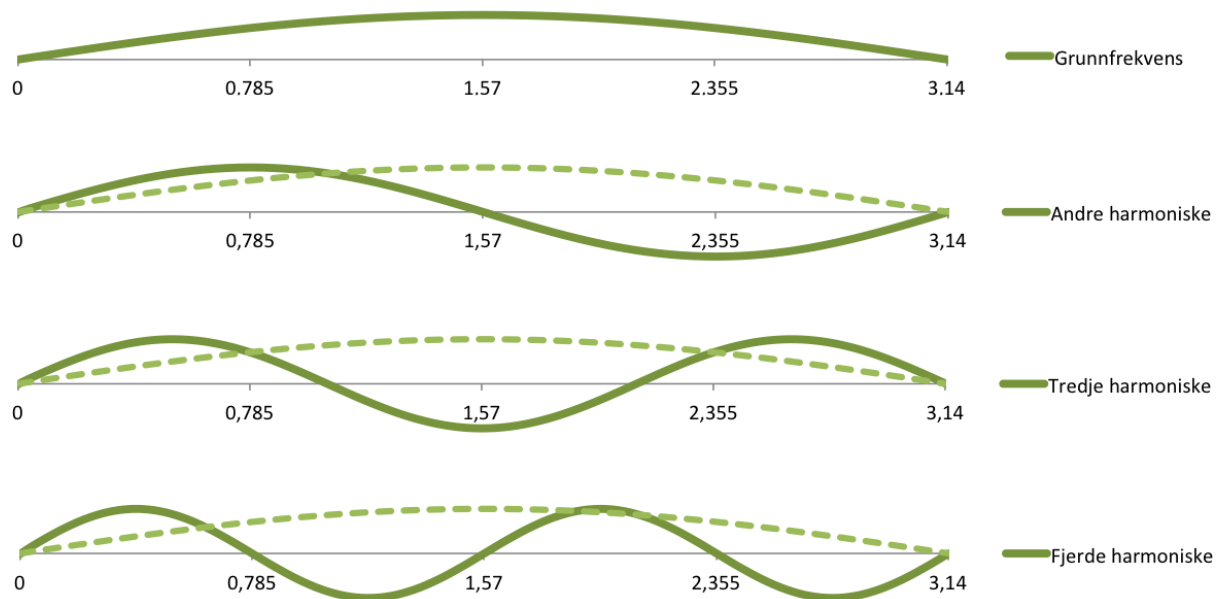
En mer inngående forklaring på CMV følger her: Selv om akselerasjonen som registreres er forstyrret i forhold til den teoretiske bølgen, har den fortsatt generelt form av en sinus-bølge. Ved hjelp av Fourier-transformasjon kan man fremstille den forstyrrede bølgen som en sum av harmoniske bølger med ulik frekvens og amplitude, som vist på Figur 6.6. Figur 6.7 viser hvordan harmoniske svingninger er svingninger med frekvens som en heltallsmultiplikasjon av grunnfrekvensen. Den andre harmoniske har dobbel frekvens, og gjør dermed to hele svingninger på samme tid som den første harmoniske gjør en. Harmoniske svingninger er altså svingninger med et harmonisk forhold seg i mellom. Grunnfrekvensen kan være hva som helst, og behøver ikke å så ha et spesielt forhold til pi, være et heltall eller lignende. En svingning er ikke harmonisk i seg selv, ordet harmonisk beskriver forholdet mellom flere svingninger.



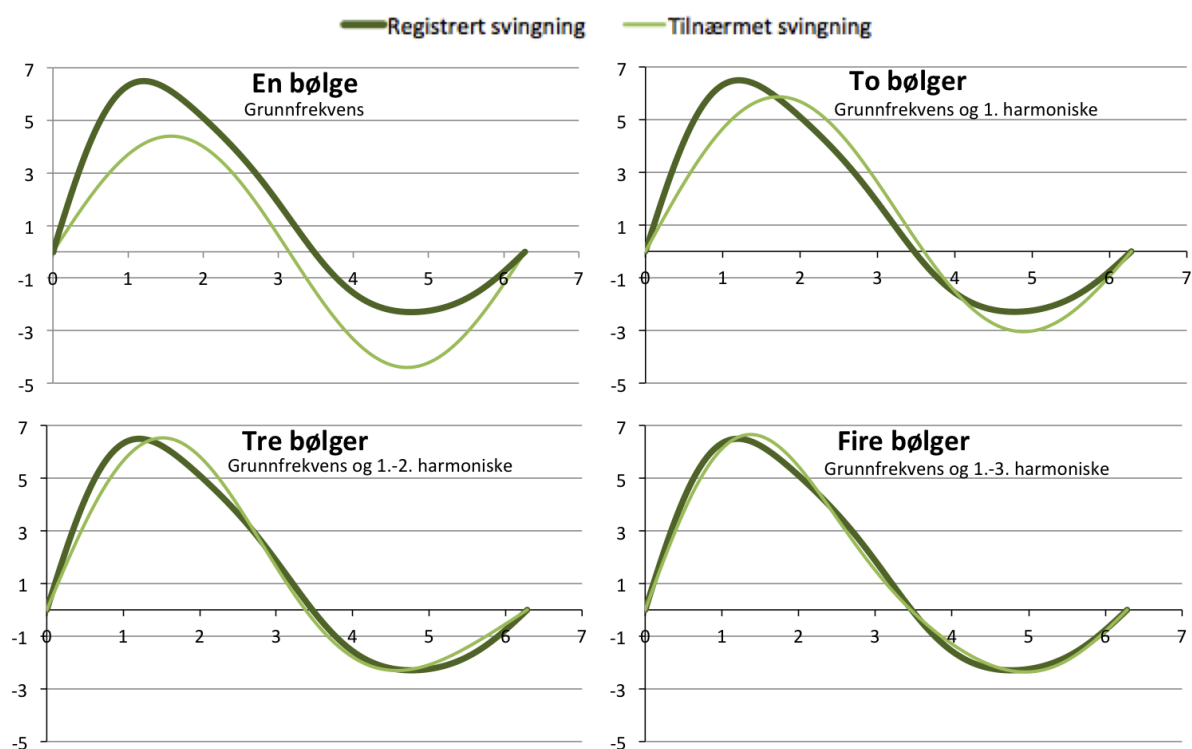
Figur 6.6 – Resultat av Fourier-transformasjon (Wolfram, 2012)

På Figur 6.6 kan man tenke seg at den øvre grafen representerer det som akselerometeret registrerer. Dette er en uregelmessig linje som det er vanskelig å jobbe med matematisk. Gjennom Fourier-transformasjon kan man tilnærme seg den samme bølgen som en sum av harmoniske sinus-bølger, som vist i nedre del av Figur 6.6. I dette tilfellet har man summert sju ulike bølger, men man kan også få gode approksimasjoner med færre bølger. På Figur 6.6 ser man tydelig at alle de syv bølgene er på den positive siden i toppunktet, og motsatt i bunnpunktet. I de fleste andre punktene blir den største bølgen påvirket både positivt og negativt av de seks andre bølgene.

På Figur 6.8 er kurven som skal representeres vist med mørk farge. Kurvene med lyse farger viser hvordan approksimasjonen blir mer nøyaktig når man legger til flere harmoniske bølger. Selv om representasjonen blir bedre jo flere bølger man legger til, kan to svingninger være nøyaktig nok til å fortelle i hvilken størrelsesorden forstyrrelsene fra idealkurven er. Det er derfor amplituden til de to første kurvene som brukes når man beregner CMV. CMV-verdien som blir rapportert er et gjennomsnitt av flere kalkulasjoner over to sykluser.



Figur 6.7 – Harmoniske svingninger er bølger som med frekvens som er en heltallsmultiplikasjon av grunnfrekvensen, som også kalles den første harmoniske.



Figur 6.8 – Bedre nøyaktighet ved bruk av flere harmoniske svingninger

Definisjonen på CMV er hentet fra (Transtech, 2012, egen oversettelse):

Forholdet mellom *amplituden til den andre harmoniske bølgen* til trommelens vertikale akselerasjon og *amplituden til den første harmoniske bølgen* til trommelens vertikale akselerasjon, multiplisert med en konstant c .

Definisjonen sier at man skal bruke amplituden til svingningen. Det vil i praksis si den maksimale vertikale akselerasjonen som er beregnet, for hver svingning.

En formel som brukes for å regne ut CMV er

$$\text{CMV } 300 \frac{A_{2F}}{A_F} \quad (6.1)$$

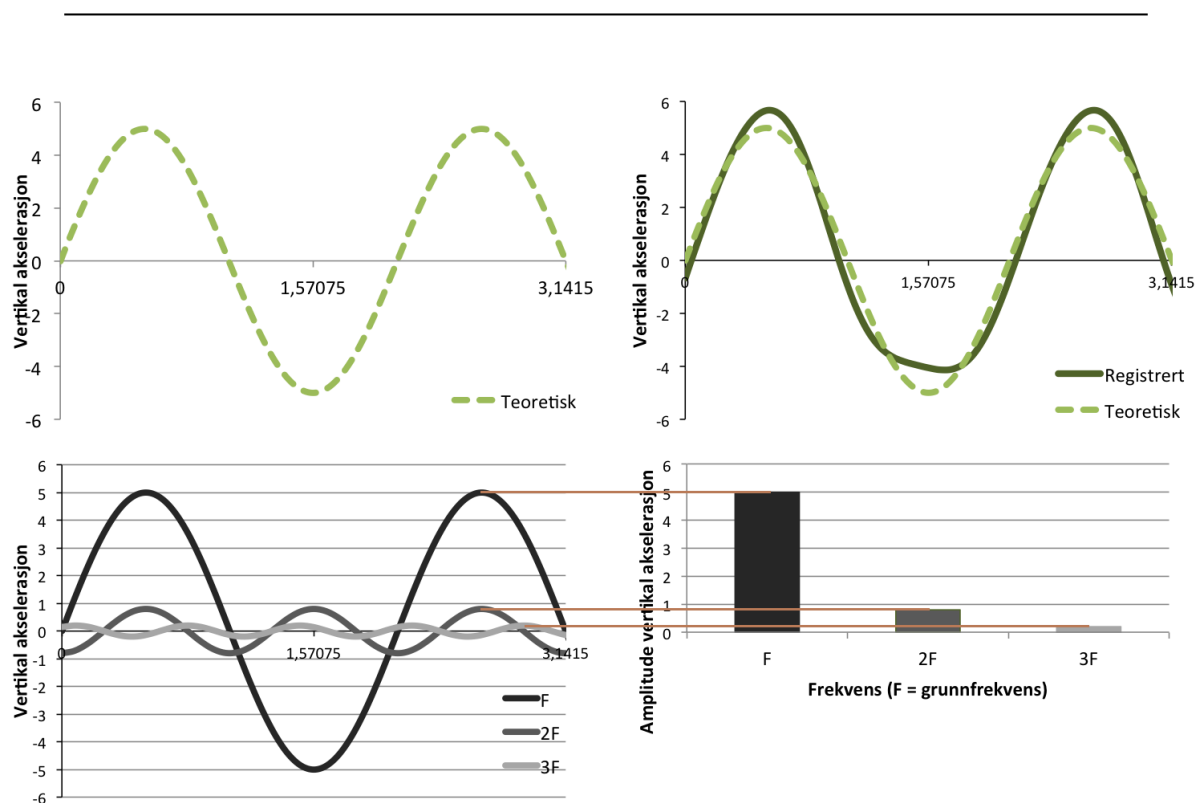
A_F Amplituden til bølgen med grunnfrekvensen

A_{2F} Amplituden til bølgen med frekvens 2x grunnfrekvensen

300 Konstant som justerer måleverdiene til en enklere størrelsesorden (i området 0-100)

Figur 6.9 viser normal framgangsmåte ved CMV-analyse. Øverst til venstre: Ut fra amplitude og frekvens fra instillingen på valsen kan man beregne den teoretiske vertikale

akselerasjonen som varierer med tiden. Øverst til høyre: Den faktiske vertikale akselerasjonen, som måles av akselerometeret, avviker fra den teoretiske (stiplet). Nederst til venstre: Ved hjelp av Fouriertransformasjon finner man hvilke bølger som skal summeres for å fremstille den målte akselerasjonen. Nederst til høyre: Amplituden til de ulike bølgene brukes til å beregne CMV. Målingene analyseres ikke manuelt, trinnene som er beskrevet her utføres av datamaskinen i valsen.



Figur 6.9 – Framgangsmåte for CMV-analyse.

Regneeksempel CMV fra Figur 6.9:

Nede til høyre på figuren er amplitudene til de ulike svingningene som summeres fremstilt.

I CMV-beregningen brukes amplituden til svingningen med grunnfrekvensen F og svingningen med dobbel frekvens, $2F$.

Leser av fra diagrammet og finner A_F 5 og A_{2F} 0,8.

Det gir følgende CMV-beregning:

$$\text{CMV} = 300 \cdot \frac{A_{2F}}{A_F} = 300 \cdot \frac{0,8}{5} = 48$$

6.2.5 Dobbelhopp (jumping)

Dynapac High Comp definerer dobbelhopp slik:

«Når en vals begynner å gjøre dobbelhopp, forblir trommelen i luften i mer enn en svingning. Trommelen slår etterpå ned i overflaten med stor kraft, noe som kan forårsake skader både på maskinen og det materialet som komprimeres.»
(Dynapac High Comp, 2001, s. 84, egen oversettelse)

Når massen som komprimeres begynner å bli stiv kan man få det som kalles dobbelhopp eller tilbakeslag, eller jumping på engelsk. Ved dobbelhopp begynner valsen altså å hoppe over slag ved at trommelen mister kontakt med grunnen i mer enn en hel svingning. Det som skjer er at trommelen mister kontakten med overflaten på ett slag, og neste slag slås da med større energi. Denne slagenergien kan bli så stor at steinmaterialene trommelen slår ned på kan knuses ned. Når dette skjer blir komprimeringsgraden og stivheten lavere, og man begynner dermed å ødelegge komprimeringsarbeidet som er gjort. I tillegg til at komprimeringsgraden senkes vil også nedknusningen gjøre at det dannes finstoff, noe som kan føre til teleproblemer.

Kapittel 7

Responsmålinger - variasjon og verifikasjon

7.1 Muligheter for variasjon av parametre

Størrelsen på den statiske linjelasten, amplituden og frekvensen har stor innvirkning på komprimeringsarbeidet som gjøres gjennom hvor mye kraft som overføres til grunnen.

Den statiske linjelasten kan i de fleste tilfeller bare endres ved at man skifter vals. På de fleste anlegg bør man derfor tenke gjennom hvilke masser som skal komprimeres før man velger hvilken vals som skal benyttes. Her er det ikke nødvendigvis slik at større vals er lik bedre vals. Dersom man bygger en vegstrekning med forholdsvis fine masser i tynne lag vil en stor vals kunne gjøre det vanskelig å få komprimert skikkelig uten å få problemer med nedknusning. For å illustrere variasjonen i de tilgjengelige jordkompaktorene kan det nevnes at Dynapac leverer valser med vekt fra 4,5 - 27 tonn, med statisk linjelast henholdsvis 13 og 81 kg/cm. (Dynapac, 2012b)

Amplituden kan på mange valser bare justeres mellom to innstillinger kalt høy og lav. På valse som er brukt til feltforsøkene i forbindelse med denne oppgaven kan man velge mellom amplituder på 1,8 og 0,9 mm. Ved å stille amplituden ned til lav senker man kraften som overføres i vibrasjonen. På nye valser har man også mulighet til å ha flere amplitudeinnstillinger å velge mellom. På denne måten kan komprimeringsenergien senkes etter hvert som massen blir stivere. Amplituden har også innvirkning på hvor dypt komprimeringsarbeidet virker, og kan justeres for å sikre at man ikke komprimerer for dypt, for eksempel over rørledninger. Ved høy amplitude gjøres komprimeringsarbeidet på et dyp på mellom 0,4 og 2 meter (Hovdenes, 2012). Dersom man skal komprimere et tykt lag bør man derfor først kjøre med høy amplitude for å komprimere den nederste delen, for så å justere amplituden ned for å sikre at også den øverste delen av laget oppnår samme stivhet.

Frekvensen er på tradisjonelle valser en ikke justerbar parameter, men den varierer noe med endringen av amplituden. Dette er blant annet for å sikre at man ikke oppnår resonans, og dermed maskinskader, som følge at svingningene får samme frekvens som egenfrekvensen til delene som valsen er bygd opp av.

På grunn av at frekvensen er en tidsinnstilling vil også kjørehastigheten påvirke komprimeringsarbeidet. Dersom man øker hastigheten vil man få færre slag per arealenhet, og energien som overføres minker dermed. Det er slik lite lønnsomt å øke hastigheten på komprimeringen, fordi man da vil måtte kjøre flere overfarter for å oppnå samme komprimeringsgrad.

7.2 Hva har innvirkning på målingene

Flere av valseprodusentene har utviklet sine egne responsmålere, i tillegg finnes det universelle målere på markedet som kan monteres på valser fra flere ulike produsenter.

De ulike instrumentene har ulike måter for å gjøre målinger og fremstille resultatene. I denne oppgaven er det på grunn av tilgjengelighet fokusert på utstyr fra produsentene CAT og Dynapac. Felles for de ulike instrumentene er at alle måler en slags respons fra bakken på det komprimeringsarbeidet som blir gjort, og målingene blir derfor kalt responsmålinger.

Man kan ikke stille inn måleinstrumentet slik at det måler responsen bare fra det laget som komprimeres der og da. Måledypet varierer på samme måte som komprimeringsdypet, som forklart i kapittel 7.1. På grunn av at komprimeringseffekten avtar med dybden, regner man komprimeringsdypet som grunnere enn måledypet (Adam, 2007). Selv om effekten av komprimeringen er så liten at den kan neglisjeres, kan man fortsatt få en respons fra grunnen som har innvirkning på responsmåleren. Det er likevel slik at massene øverst har større innvirkning på måleverdiene. Det gjør at responsmålingene ikke blir representative om man måler på en veg med asfalt, fordi de stive asfaltlaget på toppen vil dominere målingene. (Hovdenes, 2012)

7.3 Verifisering av målinger

Når responsmålinger skal danne grunnlag for komprimeringskontroll må man kunne stole på at resultatene som kommer fram er riktige og viser variasjonene i stivhet på en god måte. Det finnes i hovedsak to strategier man kan bruke for å sikre seg gyldige målinger: Kalibreringsmetoden og stikkprøvemethoden.

7.3.1 Kalibreringsmetoden

Den første og mest omfattende strategien er å velge ut et representativt areal som man komprimerer til godkjent stivhet/komprimeringsgrad, og så gjør et antall punktmålinger med for eksempel platebelastning eller densitetsmåler. Det er vanskelig å «treffe» riktig komprimeringsnivå på første forsøk, derfor må det gjøres flere tidkrevende stikkprøver underveis. Ved hjelp av resultatene fra punktmålingene kan man så stille krav til hvilken responsmålerverdi man skal oppnå på et område med samme oppbygning og grunnforhold som testarealet. For at man skal få full effekt av denne metoden må det kalibreres også for hvert lag eller hver massetype som legges ut. Dersom man har varierende grunnforhold, eller er på et lite anlegg med små flater av hver sort vil dette bli en svært tidkrevende kontrollmetode. Man vil bruke lang tid på kalibrering i forhold til den totale tiden som brukes på resten av komprimeringsarbeidet, og det vil bli brukt uforholdsmessig mange mannskapstimer og dermed føre til store kostnader.

7.3.2 Stikkprøvemethoden

Den alternative strategien er at man kan lage et valseprogram på tradisjonell måte ut fra for eksempel nivellement, og komprimere området. Etter at komprimeringen er ferdig plukker man ut det valsen viser som de dårligste områdene, og gjør stikkprøver på disse. Dersom stikkprøvene på de svake områdene tilfredsstillt kravene som er satt, kan man anta at hele området tilfredsstillt stivhetskrav.

Med valser som har montert GPS finnes det også en annen måte å utnytte stikkprøvestrategien. Når en steinmasse blir komprimert vil man normalt få mindre og mindre effekt etter hvert som det kjøres flere overfarter. Etter samme metode som er vanlig for nivellement kan man derfor undersøke hvordan måleverdien endres for hver overfart, og si at det er tilstrekkelig komprimert når målingene endres med mindre enn 10 % for hver overfart. Slik kan man sette i gang komprimeringen uten å fastsette et komprimeringsprogram på forhånd. At komprimeringeffekten minker for hver overfart medfører at man til slutt kommer til et punkt hvor komprimeringsgraden ikke blir bedre selv om man kjører 20 ekstra overfarter. Da er det bortkastet tid å kjøre de 20 overfartene, og man bør derfor flytte ressursene til et sted som trenger mer arbeid. Det er dette som ligger til grunn for programmeringen av en grenseverdi som justeres etter stivhetsutviklingen i steinmassen. For å kunne undersøke utviklingen mellom ulike overfarter er det nødvendig å ha en GPS med små feilmarginer, slik at man kan være sikker på at det er verdier fra det samme punktet som brukes i sammenligningen. Også her kan man undersøke de svakeste områdene til slutt for å se om komprimeringen tilfredsstillt krav til tradisjonelle kontrollmetoder. Dersom utstyret er nøyaktig nok kan dette være en god metode for komprimeringskontroll som også kan spare valseføreren for unødig arbeid.

Dersom man velger metoden med å kalibrere alle målearealene er det viktig å passe på at det virkelig blir kalibrert for alle variasjoner av grunnforhold og overbygning. Også med kalibreringsmetoden må det tas stikkprøvekontroller i etterkant på samme måte som med tradisjonell komprimeringskontroll, men antall stikkprøver kan reduseres.

Kapittel 8

Feltforsøk og beskrivelser fra andre land

8.1 Kontrollbeskrivelser fra andre land

Mooney et al. (2010) har sammenlignet kontrollmetoder fra flere europeiske land, blant annet Tyskland og Østerrike, som et ledd i å finne fram til retningslinjer for intelligent komprimering i USA. Per i dag har Sverige, Tyskland, Østerrike, Finland og Sveits laget beskrivelser av hvordan responsmålinger kan brukes som komprimeringskontroll, og enkelte stater i USA er i gang med pilotprosjekter. (Mooney et al., 2010, Rinehart et al., 2012)

8.1.1 Tyskland

Metode 1, kalibrering: Kalibrerer over tre 20 m lange teststriper med ulike komprimeringsnivåer, og velger target value/grenseverdi ut fra disse resultatene. Det gjøres platebelastningsforsøk på en teststripe hvor det er komprimert med en overfart, en stripe hvor det skal være middels komprimeringsgrad med 3-5 overfarter, og en godt komprimert stripe hvor det er kjørt med valsen til effekten av arbeidet stagnerer. Man gjør 3-5 platebelastningsforsøk per teststripe. Man finner den valsemålte verdien for hvert teststed, og ved hjelp av regresjonsanalyse finner man en lineær tilpasning til en sammenheng mellom platebelastning og responsmåling. Det stilles krav til korrelasjonen mellom målingene. Dersom dette kravet ikke er oppfylt må man ta flere stikkprøver, eller det må finnes en annen metode for CCC. De tyske spesifikasjonene tillater ikke endring av frekvens eller amplitude underveis i målingene eller mellom kalibrering og kontroll. Bruker EV2, andre målesyklus

Metode 2, identifisering av svake områder: Her bruker man CCC til å lage en grafisk framstilling av området når man antar at komprimeringsarbeidet er ferdig, og bruker denne til å finne antatt svake punkter eller områder. Disse undersøkes så med platebelastning eller densitetsmålinger. Med denne metoden stilles det ikke krav til kalibrering. Dette er den mest brukte metoden.

8.1.2 Østerrike

Østerrikske myndigheter beskrev komprimeringskontroll med kontinuerlige målinger første gang i 1990.

Metode 1, kalibrering Kalibrerer mot platebelastning (E_1) eller minifallodd. Kalibreringsområdet skal fylle hele vegbredden, og skal være minst 100 meter langt. Åpner for fallodd, men for hver platebelastningsmåling må det gjøres fire falloddmålinger, og man bruker gjennomsnittet av disse fire til selve kalibreringen. Det kalibreres til økningen i gjennomsnittsmålingene for en overfart er mindre enn fem prosent. Kravene som stilles til de videre resultatene er basert på gjennomsnittet av responsmålingene fra den siste overfarten. Stiller krav til korrelasjon på samme måte som i Tyskland.

Metode 2, prosentvis endring i måleverdier Det komprimeres til endring i gjennomsnittlig måleverdi mellom overfartene er mindre enn fem prosent. Deretter gjøres det undersøkelser med platebelastning eller fallodd (LWD) på det som i følge responsmålingene er de svakeste områdene. Det må gjøres minst tre platebelastningsforsøk eller ni falloddmålinger.

De østerrikske beskrivelsene ble godkjent av The International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) i 2007.

8.1.3 Sverige

De svenske retningslinjene for komprimeringskontroll er beskrevet i rapporten Yttäckande packningskontroll (Vägverket, 1994). Også i Sverige åpnes det for to ulike prinsipper for kontroll. Man kan enten bruke den tradisjonelle metoden med tilfeldig stikkprøvekontroll etter at komprimeringsarbeidet er ferdig, eller man kan bruke CCC. Med CCC reduseres antallet stikkprøver fra 8 til 2 per 5000m^2 . De to kontrollpunktene velges i de områdene hvor valsen har dokumentert svakest resultater. Det stilles krav til E_2 og forholdet E_2/E_1 .

I Sverige har man i de siste år hatt problemer med kvaliteten på nybygde veger. En gruppe svenske fagpersoner har i rapporten «Packning av obundet material i vägkonstruktioner»

(Hellman, 2011) forsøkt å belyse grunnlaget for dette. De peker på at dårlig komprimering er en viktig årsak til at spor og sprekker har oppstått, og skriver at «Dagens beskrivelser gir ikke en god overflatedekkende kontroll av komprimeringsarbeidet». Hellman foreslår at man bør kreve dokumentasjon på antall overfarer og registrert CMV, ikke bare ta et begrenset antall stikkprøver og dokumentere disse.

8.2 Utførte feltundersøkelser

Responsmålere vs. densitetsmålere

I Colorado, USA er det gjort forsøk med valsemonterte responsmålere, hvor man prøvde å finne sammenheng mellom densitetsmålinger og målinger fra vals. (Rinehart et al., 2012) I USA er det vanlig å kontrollere komprimering med densitetsmålere, i motsetning til i Europa der platebelastning og fallodd brukes. Rinehart et al. hadde derfor som mål å gjøre feltforsøk for å kunne tilpasse europeiske retningslinjer til amerikanske forhold.

De fant korrelasjon mellom responsmålere og densitetsmålinger, og anbefaler bruk av en stikkprøvemethode tilsvarende den som er beskrevet i kapittel 7.3.2 på side 33.

Posisjonseringsfeil

Facas and Mooney gjorde undersøkelser for å kartlegge feilmarginer innenfor stedfesting av valsemålinger i 2009. De undersøkte valser og instrumentering fra fire ulike produsenter, og så blant annet på hvor ofte (hvor tett) rapportering av CMV blir gjort. For å eliminere målefeil blir det anbefalt at CMV-verdi blir lagret for hver 10-20 cm meter som kjøres. Hvor ofte dette blir avhenger av hastigheten det kjøres med. Som feilkilder peker Facas and Mooney på to viktige punkter: (Facas and Mooney, 2009)

- (1) GPS-mottagerens avstand fra posisjonen til sentrum av trommelen
- (2) Hvordan vibrasjonsdata og GPS-data sammenstilles i tilfeller hvor de samles inn med utlikt tidsintervall. Forsinkelser i levering av vibrasjonsdata som følge av den tiden det tar å tolke akselerasjonsdata til CMV-verdi kan også spille inn her.

Feilkilde (1) påvirkes også av om det er tatt hensyn til at akselerometeret som gjør målingene for responsmåleren ikke er plassert i sentrum av trommelen, men på den ene siden. De fire produsentene som ble undersøkt hadde ulike måter å beregne og presentere data på, og det kunne føre til at man fikk ulike resultater dersom én vals ble utstyr med måleutstyr fra flere leverandører. De generelle tendensene fra resultatene, som svake og sterke områder kom likevel godt frem.

Sammenligning av ulike feltundersøkelser

White et al. (2011) har sammenstilt en rekke feltundersøkelser som er gjort med valsemålinger, og sammenligner blant annet to typer responsmålinger. Den ene typen er CMV, som brukes i Europa, mens en annen type kalles Machine Drive Power (MDP). Man regner med at stivheten til materialet som valsen kjører på har innvirkning på hvor mye kraft som må brukes på å drive valsen fremover. Dette prinsippet brukes for å beregne verdien MDP, og man tar hensyn til helning, tyngde på valsen og internt krafttap i beregningen. White et al. konkluderer med at både CMV og MDP fremstiller variasjoner i stivhet/komprimeringsgrad på en god måte.

De 19 feltundersøkelsene som er referert i rapporten fra White et al., er samlet både fra USA og Europa. Informasjonen om de ulike undersøkelsene viser at fine materialer er langt vanligere brukt i vegbygging i andre deler av verden enn her i Norge. Det er vanskelig å sammenligne undersøkelser på fine materialer med norske forhold, noe som understreker behovet for norske feltstudier. De refererte studiene kan likevel være til nytte under planlegging av forsøk i Norge.

Feltforsøk med CMV og MDP

White and Thompson (2007) har gjort feltundersøkelser med vals instrumentert med både CMV- og MDP-målere på fem forskjellige granulære masser, en av disse var gjenbruk-sasfalt. De fant sammenheng mellom CMV og MDP, men fant at CMV hadde mindre variasjon enn MDP-verdien, målt over en strekning. Det ble funnet lineære forhold mellom CMV og punkttester med blant annet platebelastning og densitetsmåler.

Måledybde

Rinehart and Mooney (2009) undersøkte måledybder for to ulike valser på tre forskjellige forsøksfelt. I denne studien ble måledybden funnet til å være 0,9 - 1,2 meter for valsene som var 11,5 og 14,9 tonn tunge. Rapporten viser også til dybdemålinger gjort av andre, og generelt varierer måledybden mellom 0,5 og 1,5 meter, avhengig av størrelse på valsen og hvilken amplitude det kjøres med. Om materialene er myke eller stive så også ut til å ha innvirkning på måledybden. Rinehart and Mooney fant derimot ikke variasjon i måledyp med varierende amplituder innenfor vanlige variasjonsområder.

Kapittel 9

Kort om dagens praksis på anleggene

Vanlig praksis på anlegg er at man forholder seg til tabellene i håndboken, og komprimerer så mye som det er anbefalt. Eventuelt gjøres det en valsetest med nivellement hvor man undersøker om kravet til setning mellom overfartene er oppfylt. På enkelte anlegg vannes det før komprimering, på andre anlegg er ikke dette vanlig praksis. Det er vanskelig å forholde seg til kravet om vanning når det er så løst formulert som det er i dag. Dersom det regner når komprimeringsarbeidet utføres, er det nok fuktighet? Er det nok å vanne en gang på starten av dagen, eller må man ha «påfyll»?

Entreprenører som kjøper nye valser kjøper ofte også responsmåleren og kontrollutstyret som følger med. Så lenge det ikke stilles krav til bruk av slikt utstyr vil det i de fleste tilfeller ikke være mer enn et hjelpemiddel for valseføreren. Uten god opplæring er det også vanskelig å forstå hva valsen måler og fallgruvene ved å stole blindt på måleutstyret. Enkelte entreprenører har likevel valgt å ta i bruk valsemontert utstyr i kontrollarbeidet, slik som det åpnes for i Hb018. Disse har i stor grad funnet fram selv til hvordan dokumentasjonen skal utformes, på grunn av manglende kunnskap hos byggherren.

Dokumentasjon av komprimering består ofte av et valeskjema, der valseføreren fyller ut at han har kjørt et visst antall overfarter mellom profil X og Y. Denne dokumentasjonen er det umulig å etterprøve, og man har ingen kontroll på om det er kjørt like mange overfarter på hele området mellom de to profilnumrene. Valeskjemaet behøver ikke fylles ut mens komprimeringsarbeider skjer, det kan like gjerne fylles ut på brakka lenge etter at arbeidet er ferdigstilt. I forhold til hvor detaljert dokumentasjon som kreves på andre områder, kan man stille spørsmål ved at Statens Vegvesen som byggherre godtar slik dokumentasjon.

Del III

Feltarbeid

Kapittel 10

Organisering av feltforsøkene

10.1 Formål

Alle feltforsøkene som har blitt gjort i forbindelse med denne oppgaven kan oppsummeres med to formål:

1. Undersøke gyldigheten til responsmålinger gjort med vals
2. Undersøke muligheter for effektivisering av den tradisjonelle stikkprøvekontrollen

Gjennom å både effektivisere målingene og ta i bruk nye målemetoder, er målet å oppnå en bedre komprimeringskontroll uten økt tidsbruk.

10.2 Utstyr

Tradisjonelt måleutstyr og -metoder som har blitt brukt er platebelastning, fallodd og nivellement som beskrevet i kapittel 4. Av valsemontert utstyr er en vals av modell CS74 fra CAT brukt. Den hadde først påmontert en enkel responsmåler med indikator og utskrift, men uten GPS og lagring. Samme vals ble senere instrumentert med GPS og en responsmåler som rapporterer resultater grafisk samtidig som resultatene blir lagret, slik at man har mulighet til å analysere dem videre fra kontoret.

Valsen hadde maskinvekt 15,7 tonn og statisk linjelast 47,7 kg/cm. (CAT, 2012) Den enkle responsmåleren registrerte CMV for hver meter som ble kjørt, og gav gjennomsnittet av disse enmetersmålingene som resultat ved utskrift i tillegg til maksimum- og minimumsverdi. Et eksempel på utskrift fra vals er vist i Figur 10.1. Gjennomsnittet ble regnet fra måleren ble startet til man valgte å skrive ut resultatet. Enkeltverdiene for hver meter ble vist grafisk nederst på utskriften.

GPS-utstyret som ble montert på valsen hadde en feilmargin på opp mot 3 meter, noe som er mindre nøyaktig enn kravet som stilles i dagens Håndbok 018. Vi valgte likevel å gjøre forsøk med denne, både av økonomiske hensyn og fordi vi var avhengig av å få utstyret levert på kort varsel.

Falloddet som ble brukt i målingene er det som til daglig brukes til bæreevnekontroll i Statens Vegvesen region midt. Hovedvekten av platebelastningsmålingene ble gjort med utstyret som brukes til komprimeringskontroll av Statens Vegvesen region midt, Sør-Trøndelag, men det ble også gjort noen målinger med utstyret som er stasjonert i Møre og Romsdal.

10.3 Anlegg

Feltforsøkene er gjort på anlegget E6 Sentervegen - Tonstad i Trondheim kommune, Sør-Trøndelag. Anlegget er en del av Miljøpakken i Trondheim, og omfatter bygging av ny firefeltsveg bygd opp slik:

Frostsikringslag	120 cm	Kult, 22/250 mm
Forsterkningslag	20 cm	Kult, 22/63 mm
Nedre bærelag	4 cm	Frest asfalt, Ak
Øvre bærelag	11 cm	Asfalt, Ag16
Bindlag	4 cm	Asfalt, Ab11
Slitelag	5 cm	Asfalt, Ska11

Det er gjort forsøk både på frostsikringslag og nedre bærelag, men hovedvekten av forsøk og registreringer er gjort på forsterkningslaget.

10.4 Forsøksopplegg

Oppsummering av feltarbeid, kronologisk:

18.04.12 Sammenligning mellom enkel responsmåler og nivellement, Valsetest 1

25.04.12 Sammenligning mellom nivellement og enkel responsmåler, Valsetest 2

16.05.12 Platebelastning med gips på frest asfalt

24.05.12 Fallodds målinger på frest asfalt, sammenlignes med platebelastning med gips på frest asfalt.

30.05.12 Planlagt valseprogram ble kjørt. Området som var gjort tilgjengelig for feltforsøk ble delt inn i fire felt ($\sim 20 \cdot 10m^2$) med 2, 4, 6 og 8 overfarter.

30.05.12 Falloddsmålinger på kult 22/63

01.06.12 Platebelastning med og uten gips på ulikt komprimert kult 22/63 sammenlignes med responsmålinger.

07.06.12 Platebelastning med og uten gips på frest asfalt

07.06.12 Platebelastning med og uten gips på 0/32 avstrødd med 0/16

Av det kronologiske oppsettet kan det se ut som at det er lagt mest vekt på å gjøre målinger med det tradisjonelle utstyret, uten å sammenligne med målinger fra responsmåler. Det var imidlertid responsmålingene som ble vektlagt mest, og arbeidet som ble gjort i tidsrommet 30.05-01.06 må ses på som de mest viktige feltforsøkene.

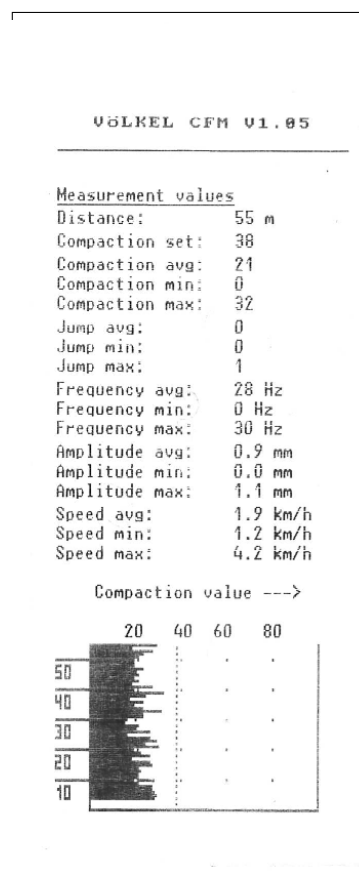
Måleresultater fra responsmåleren er lagret kontinuerlig siden responsmåleren med GPS ble montert, og man har derfor CMV-registreringer for alt som er valset med vibrasjon med dette utstyret. Det var utviklingen og tidsplanen på anlegget som i størst grad bestemte når de ulike undersøkelsene kunne finne sted.

10.4.1 Feltforsøk med enkleste instrumentering

Disse forsøkene ble gjort på frostsikringslag av 120 cm sortert kult 22/250 mm. Massene var lagt ut med overhøyde og ved valsetest 1 komprimert med totalt åtte overfarter, seks med høy amplitude og to passeringer med lav amplitude til slutt. På valsetest to var massene komprimert i to omganger, først var den nederste halvdelen komprimert med 4+2 overfarter (høy+lav amplitude), før den øvre halvdelen ble lagt ut og komprimert med 2+6 overfarter.

Nivellement er den aktuelle kontrollmetoden på det laget hvor denne testen ble gjort, på grunn av de grove massene. Nivelleringsmålinger ble gjort før arbeidet startet, og etter 2, 4, 6 og 8 overfarter. Det ble i valsetest 1 målt i 10 punkter i 10 tverrprofiler over 95 m, og i valsetest 2 målt i fem punkter i fem tverrprofiler over 40 m. Punktene ble merket opp før komprimeringsarbeidet begynte (se Figur 10.2), slik at man skulle være sikker på at de samme punktene ble målt hver gang. Området ble også vannet før komprimeringen startet.

Responsmålinger ble registrert for ett felt langs senterlinjen av testområdet. Målingene fra responsmåleren ble skrevet



Figur 10.1 – Utdata fra vals med enkel responsmåler

ut på papir i valsen, manuelt lagt inn i excel og bearbeidet videre.

10.4.2 Målinger på masser med ulik komprimeringsgrad

En 85 meter lang strekning hvor det var lagt ut forsterkningslag av sortert kult 22/63 ble gjort tilgjengelig for feltforsøk i en begrenset tidsperiode. Her ble det planlagt og kjørt et valseprogram som bestod av at området ble delt inn i fire felt på 20 meters lengde, som var cirka 10 meter brede i snitt. Hvert felt skulle komprimeres med to, fire, seks eller åtte overfarter, slik at de dannet godt grunnlag for å gjøre forsøk på ulike komprimeringsnivåer. Et bilde av forsøksområdet med oppmerking er vist i Figur 10.3

Etter at valseprogrammet var kjørt var CMV-data registrert for hele området. Det ble kjørt fallodd på utvalgte punkter på alle de fire feltene for å undersøke om fallodd kunne brukes til komprimeringskontroll på så grove masser, og i tilfelle hvordan falloddsmålingene samsvarte med responsmålingene. Platebelastning ble gjort i tre punkter på hvert felt, to målinger med gips og en uten. Platebelastningsmålingene sammenlignet med utviklingen i CMV på de ulike komprimeringsforholdene. Alle målepunktene ble merket og senere målt inn med GPS, slik at man kunne sammenligne målingene med CMV-registrering i samme punkt.



Figur 10.2 – Oppmerking til valsetest 1 18.04.12
Foto: M. Fladvad



Figur 10.3 – Forsøksområde med oppmerkede målepunkter Foto: M. Fladvad

10.4.3 Platebelastning med og uten gipsavretting

Platebelastning med og uten gips ble gjort på tre forskjellige massetyper. Først på forsøksområdet av sortert kult 22/63, deretter på nedre bærelag av frest asfalt på det samme anlegget, og til sist på forsterkningslag av grus 0/32 avstrødd med 0/16. Målingene på grus er gjort på et anlegg på fylkesveg 663 i Elnesvågen i Fræna kommune i Møre og Romsdal. Målingene på forsøksområdet ble i tillegg utført på fire ulike komprimeringsnivåer. Ved målingene som ble gjort uten gipsavretting ble belastningsplaten lagt rett ned på massene som skulle undersøkes. Totalt ble det tatt prøver til 11 sammenligninger.

Målinger med og uten gips burde for sammenligningens skyld være tatt i samme punkt, men da ville komprimeringseffekten av første måling innvirke på neste. Målingene er derfor tatt med 1,5-3 meters innbyrdes avstand, for å holde dem på samme område, men samtidig unngå for stor overlapp på massene som påvirker resultatet. Figur 10.4 viser bilder av forskjellen mellom platebelastning med og uten avretting.

10.4.4 Målinger med platebelastning og fallodd

På bærelag av frest asfalt ble det gjort forsøk for å kunne sammenligne resultater fra platebelastning og fallodds målinger. Platebelastningen ble gjort først, senere ble de gjort fallodds målinger omlag 1 meter til side for målepunktene fra platebelastningen. Det ble antatt at 1 meters avstand var nært nok for at målingene skulle kunne sammenlignes, og langt nok unna for at ikke komprimeringseffekten fra platebelastningen skulle ha innvirkning på falloddsresultatene. Det ble gjort målinger i seks punkter, både med fallodd og platebelastning.

Etter at valseprogrammet var kjørt på forsøksfeltet ble det gjort falloddsprøver på alle fire feltene, og det ble senere gjort platebelastningsmålinger på de samme feltene. Disse målingene ble stedfestet med GPS, og kan sammenlignes med registrert CMV-verdi fra vals.



(a) Gips



(b) Ingen avretting

Figur 10.4 – Platebelastning med og uten avretting Foto: M. Fladvad

Del IV

Resultater

Kapittel 11

Feltforsøk med enkleste instrumentering

Presentasjon av resultater

Responsmålingene fra de to valsetestene er oppsummert i Tabell 11.1. Verdien for CMV er et gjennomsnitt av målingene som er registrert for hver meter. For valsetest 1 er målingene gjort over 40 enkeltregistreringer mens målingene i valsetest 2 varierte fra 40 til 55 enkeltregistreringer. Valsetest 1 ble kjørt over en strekning på omlag 100 meter, men på grunn av feil kalibrering av avstandsmåleren på valsen ble målingene registrert for hver 2.5 meter i stedet for hver meter. Det ble derfor gjort omlag 40 registreringer per overfart i stedet for 100. Det ble tatt én utskrift for hver overfart.

Overfart	CMV	Standardavvik
1	17,01	4,81
2	16,18	3,24
3	16,98	3,51
4	17,13	3,97
5	20,23	3,60
6	16,43	2,59
7	23,53	4,42
8	26,67	8,08

(a) Valsetest 1

Overfart	CMV	Standardavvik
1	16,65	4,68
2	19,56	6,02
3	22,66	4,19
4	26,80	4,78
5	23,89	4,50
6	26,42	5,44
7	25,40	5,13
8	28,53	4,76

(b) Valsetest 2

Tabell 11.1 – CMV-registreringer fra enkel responsmåler

Ved å lese av enkeltverdiene nederst på hver utskrift ble det mulig å beregne gjennomsnitt og standardavvik i Excel. Gjennomsnittet av de avleste CMV-verdiene, samt standardavviket for hver overfart er vist i Tabell 11.1. Målingene er justert i forhold til

gjen'nomsnittstallet som står på utskriftene fra valsen for å ta hensyn til at det ikke var overenstemmelse mellom hvor registreringen startet og sluttet, og hvor selve CMV-målingene startet og sluttet. Enkelte registreringer med $CMV = 0$ på starten eller slutten av hver overfart er derfor sett bort fra, og den gjennomsnittlige CMV-verdien ble justert for å ta hensyn til dette. Utskriftene fra valsen for begge valsetestene finnes i Vedlegg D.

På de to valsetestene ble høyde målt fem ganger i totalt 125 punkter, noe som gir totalt 625 målinger. Grunnlagsdata for resultatene er presentert i Bilag V. For å sammenligne setningene med responsmålingene må man plukke ut setningsmålingene fra sentrum av vegstrekningen. For valsetest 1 er de to midterste punktene brukt. På valsetest to var det målt i færre punkter i bredden, derfor er kun midtpunktet plukket ut fra hvert profil der. Målingene er vist i Tabell 11.3.

Resultatene fra Tabell 11.3 er omregnet til setning i forhold til opprinnelig tilstand i Tabell 11.2. Her er de to punktene fra hvert profil for valsetest 1 regnet sammen til ett, og på samme måte som for responsmålingene er det beregnet en gjennomsnittsverdi for hver overfart. Det er beregnet standardavvik for hver overfart, som et uttrykk for hvor stor variasjon det er innad i målingene.

Antall overfarter	Setning på to siste overfarter [mm]	Total setning [mm]	Standardavvik	Siste setning, andel av total setning [%]
2	19,50	19,50	9,08	100
4	13,00	32,50	5,39	40
6	11,85	44,35	10,94	27
8	10,00	54,35	18,83	18

(a) Setningsanalyse, valsetest 1

Antall overfarter	Setning på to siste overfarter [mm]	Total setning [mm]	Standardavvik	Siste setning, andel av total setning [%]
2	11,20	11,20	12,35	100
4	12,40	23,60	22,90	53
6	8,00	31,60	23,98	25
8	4,00	35,60	25,98	11

(b) Setningsanalyse, valsetest 2

Tabell 11.2 – Setningsanalyse

Profil	8800	8810	8820	8830	8840					
Før komprimering	152,815	152,782	152,772	152,765	152,798	152,767	152,793	152,819	152,941	152,874
To overfarter	152,794	152,724	152,751	152,733	152,793	152,760	152,778	152,792	152,922	152,868
Fire overfarter	152,796	152,719	152,751	152,723	152,779	152,738	152,778	152,776	152,898	152,848
Seks overfarter	152,773	152,694	152,745	152,697	152,778	152,735	152,772	152,767	152,887	152,841
Åtte overfarter	152,774	152,684	152,736	152,699	152,773	152,729	152,765	152,762	152,875	152,837
Profil	8855	8865	8875	8885	8895					
Før komprimering	152,919	152,918	153,035	152,982	153,106	153,045	153,173	153,161	153,212	153,130
To overfarter	152,917	152,902	153,013	152,965	153,075	153,029	153,149	153,142	153,180	153,130
Fire overfarter	152,909	152,881	153,004	152,945	153,060	153,016	153,145	153,123	153,164	153,104
Seks overfarter	152,900	152,878	152,987	152,943	153,046	153,000	153,129	153,111	153,149	153,088
Åtte overfarter	152,894	152,872	152,975	152,932	153,045	153,003	153,122	153,105	153,093	153,045

(a) Høyder valsetest 1

Profil	9055	9065	9075	9085	9095
Før komprimering	153,968	154,049	154,134	154,255	154,239
To overfarter	153,973	154,033	154,135	154,237	154,211
Fire overfarter	153,962	154,033	154,127	154,234	154,171
Seks overfarter	153,955	154,022	154,127	154,219	154,164
Åtte overfarter	153,957	154,014	154,123	154,216	154,157

(b) Høyder valsetest 2

Tabell 11.3 – Måleverdier fra nivelllement [m.o.h.]

Vurdering

Man forventer at setningene skal bli mindre for hver overfart, spesielt på midten av vegen der det er størst innfesting. Dette ser man av Tabell 11.2 at er tilfelle også for disse målingene.

På valsetest 2 var selve setningene mindre enn ved valsetest 1, men standardavviket var større. Det betyr at variasjonen i målingene var større, setningsbildet var ujevnt. Målingene blir unøyaktige som følge av at mange enkeltverdier er regnet sammen samtidig som man vet at variasjonen innad i utvalget er stor.

CMV-verdiene for valsetest 1 var jevne fram til amplituden ble skrudd ned etter seks overfarter, da får man økning i den registrerte stivheten. Man mistenkte at dette kunne ha sammenheng med at frostsikringslaget var for tykt til å kunne komprimeres, og satte derfor i gang valsetest 2, hvor bare halve lagtykkelsen ble komprimert i gangen. Tabell 11.1b viser tydelig en jevnere stigning enn tilfellet er for valsetest 1 i Tabell 11.1a.

Tallene som er presentert i Tabellene 11.1 og 11.2 er de mest konkrete man kunne få ut av målingene som ble gjort med den enkle responsmåleren, og det er responsmålingene som begrenser detaljeringsgraden. I tillegg er det uheldig at høydene er målt bare etter annenhver overfart. Dette gjør det vanskelig å sammenligne målingene.

Når man ikke har stedfesting på målingene er det vanskelig å sammenligne med andre målinger, fordi man ikke vet nøyaktig hvor avstandsmåleren er nullstilt, selv om valseføreren prøver å nullstille måleren på samme sted for hver overfart. Det er også vanskelig å vite om registreringene for de ulike overfartene er fra nøyaktig samme del av vegoverflaten, noe som gir en potensiell feilkilde i sammenligningen av enkeltoverfarter. Dersom man skal bruke dette utstyret til kontinuerlig komprimeringskontroll vil utfordringene med å holde orden på utskriftene også bli en feilkilde for resultatene. På utskriftene er det verdier for gjennomsnitt, maksimum og minimum CMV man får oppgitt. Det er lite realistisk å tro at entreprenør eller byggherre vil bruke tid på å tolke de små stolpediagrammene nederst på hver kvittering (se Figur 10.1), dermed får man enda mindre nøyaktige målinger enn de som er presentert her.

Kapittel 12

Målinger på masser med ulik komprimeringsgrad

Presentasjon av resultater

Valseprogrammet som var planlagt på forhånd besto av fire felt med 2, 4, 6 og 8 passeringer av valsen på hvert felt. Dessverre skjedde en misforståelse underveis, slik at det i stedet ble kjørt henholdsvis 4, 6, 8 og 12 overfarter på feltene. Dette førte til at massene på forsøksfeltet ble komprimert mer enn det som er normalt for et 20 cm tykt lag med sortert kult. Feilen ble ikke oppdaget før etter at forsøk med platebelastning og fallodd var gjort. På grunn av at valsen registrerte alt som ble kjørt kan man likevel finne CMV-data for alle overfartene.

På de fire feltene med ulik komprimeringsgrad ble det gjort til sammen 12 platebelastningsmålinger, sju av disse på tradisjonell måte med gips som avrettingslag. En av de sju målingene måtte ekskluderes fra resultatbehandlingen på grunn av feil utførelse. Dette punktet var lokalisert på feltet med færrest overfarter, og det er derfor på feltene med seks til tolv overfarter platebelastningsforsøkene er utført. Nedbøyningsmålingene fra platebelastningen finnes i Bilag I. Resultatene fra responsmålinger og platebelastning i målepunktene er vist i Tabell 12.1. Resultatene i tabellen er platebelastningsresultater fra målinger med gips som avretting, og CMV-verdier fra alle målepunktene på feltene.

For å ta høyde for unøyaktigheter i stedfestingen er de refererte CMV-verdiene gjennomsnittsverdier fra et areal på 1 m^2 for hvert målepunkt. Platebelastningsresultater for de samme målepunktene er vist i de tre siste kolonnene i Tabell 12.1 Platebelastningsmålingene nummerert 1 på hvert felt er tatt langs senterlinjen av vegen, omlag 5 meter fra hver vegkant. Målingene med nummer 3 er tatt omlag 1,5 m fra vegkanten på vestsiden av vegen.

Målepunkt		CMV	E ₁	E ₂	E ₂ /E ₁
Fire overfarter	1	45,8	-	-	-
	2	52,5	—	—	—
	3	53,8	—	—	—
Seks overfarter	1	46,9	44,26	162,93	3,68
	2	52,7	—	—	—
	3	47,5	62,79	157,50	2,51
Åtte overfarter	1	54,7	77,14	181,73	2,36
	2	55,1	—	—	—
	3	60,4	96,43	225,00	2,33
Tolv overfarter	1	63,8	96,43	214,77	2,23
	2	68,7	—	—	—
	3	61,1	108,00	214,77	1,99

Tabell 12.1 – CMV-verdier og stivhetsmoduler

Felt	Gjennomsnitt CMV	
	Før (frost-sikringslag)	Etter valseprogram
4	48,49	48,15
6	24,85	47,90
8	32,55	56,38
12	34,45	57,60

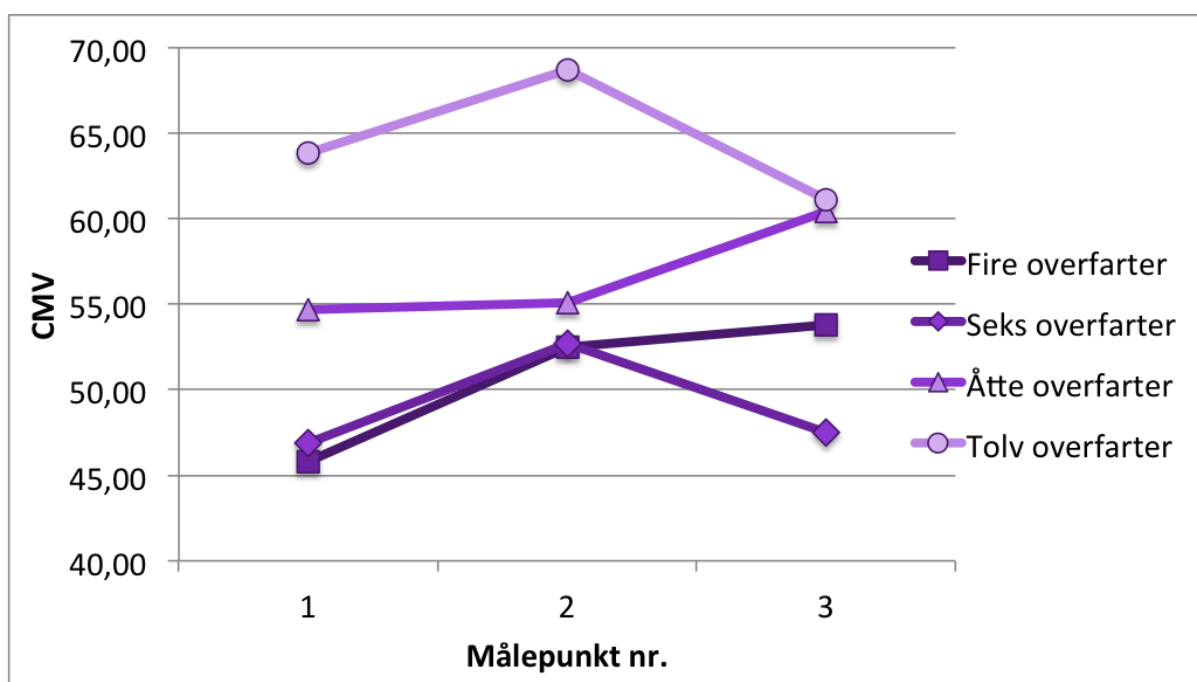
Tabell 12.2 – CMV-utvikling, felt for felt. Feltnummereringen gjenspeiler antall overfarter som er kjørt på hvert felt.

Gjennomsnittlig CMV-verdi for hvert felt er vist i Tabell 12.2. Målingene i midtkolonnen viser de registrert CMV fra den siste komprimeringsoverfarten på frostsikringslaget. Det er ikke den samme verdien som gjelder når forsterkningslaget er lagt ut (men før det er komprimert). Stivheten til underliggende lag har imidlertid innvirkning på verdiene som måles på forsterkningslaget, og kan derfor være en god pekepinn på variasjonene mellom feltene før komprimeringen av forsterkningslaget startet.

Tabell 12.2 viser at de fire overfartene som er kjørt på felt 4 har gitt forsterkningslaget samme stivhet som frostsikringslaget. Stivheten til felt 6 var lav i utgangspunktet, og noe av komprimeringsenergien fra forsterkningslaget har gått til å komprimere frostsikringslaget. Stivheten til frostsikringslaget på felt 8 og 12 var lik i utgangspunktet, og det ble heller ikke stor forskjell når valseprogrammet var kjørt, selv om det er kjørt fire overfarter mer på felt 12. Dette viser at komprimeringseffekten har avtatt kraftig etter åtte overfarter.

Vurdering

CMV-verdiene fra Tabell 12.1 er plottet felt for felt i Figur 12.1. Det viste seg å være liten forskjell i responsmålingene på de to feltene med fire og seks overfarer. For å finne ut av hvordan dette kunne være tilfelle ble en grafisk framstilling av komprimeringen av frostsikringslaget (laget under forsterkningslaget, som målingene er gjort på) undersøkt. Det kom fram at et areal som tilsvarer feltet med seks overfarer ble komprimert mindre enn de tre andre feltene, og det er dette som gjør at felt 6 ikke får bedre resultater enn felt 4 på Figur 12.1.

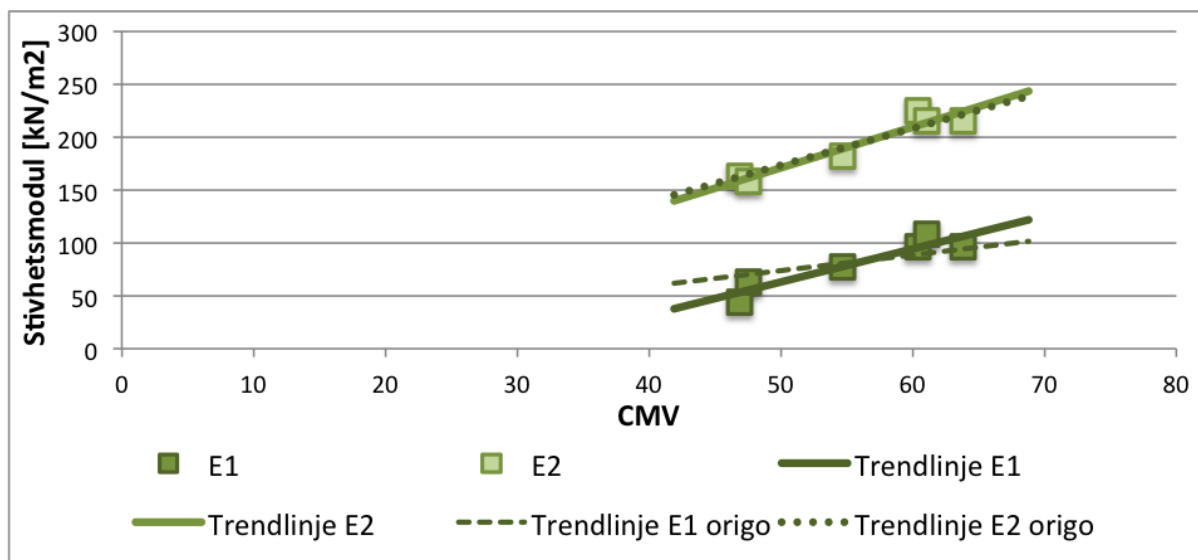


Figur 12.1 – Registrert CMV, tre punkter på fire forsøksfelt

En sammenligning av Tabell 12.1 og 12.2 viser at det kan være stor forskjell på stivhet i enkeltpunkt og stivheten for hele feltet. Gjennomsnittsverdien for felt 12 ligger på 57,6, mens verdiene for platebelastningspunktene ligger fra 61 til 69. Av punktverdiene for CMV i Tabell 12.1 ser vi tydelig forskjell på felt 8 og 12, til tross for at gjennomsnittsverdiene for feltene er hhv. 56,4 og 57,6. Dette viser noe av svakhetene ved å bruke platebelastning som komprimeringskontroll. Det er målt i sterke punkter, mens gjennomsnittsverdien for feltet viser tydelig at det finnes en del punkter på samme felt som er mye dårligere. Målingene på felt 6 og 8 ser ut til å være mer heldig plassert i forhold til responsmålingene for hele feltet.

Ut fra Tabell 12.1 er det vanskelig å se om det finnes en direkte sammenheng mellom CMV og stivhetsmoduler fra platen, men når resultatene blir plottet i Figur 12.2 ser man at både E_1 og E_2 stiger med stigende CMV. For at det skal være fullstendig sammenheng mellom CMV og E -modulene, er en forutsetning at man har $CMV = 0$ når $E_i = 0$. De

stiplede trendlinjene på Figur 12.2 tar hensyn til at linjen skal gå gjennom origo. Da ser man at det er god korrelasjon mellom E_2 og CMV, og det er forholdet mellom disse man bør bruke som sammenligningsgrunnlag.



Figur 12.2 – Sammenheng mellom stivhetsmoduler og CMV

Kapittel 13

Platebelastning med og uten gipsavretting

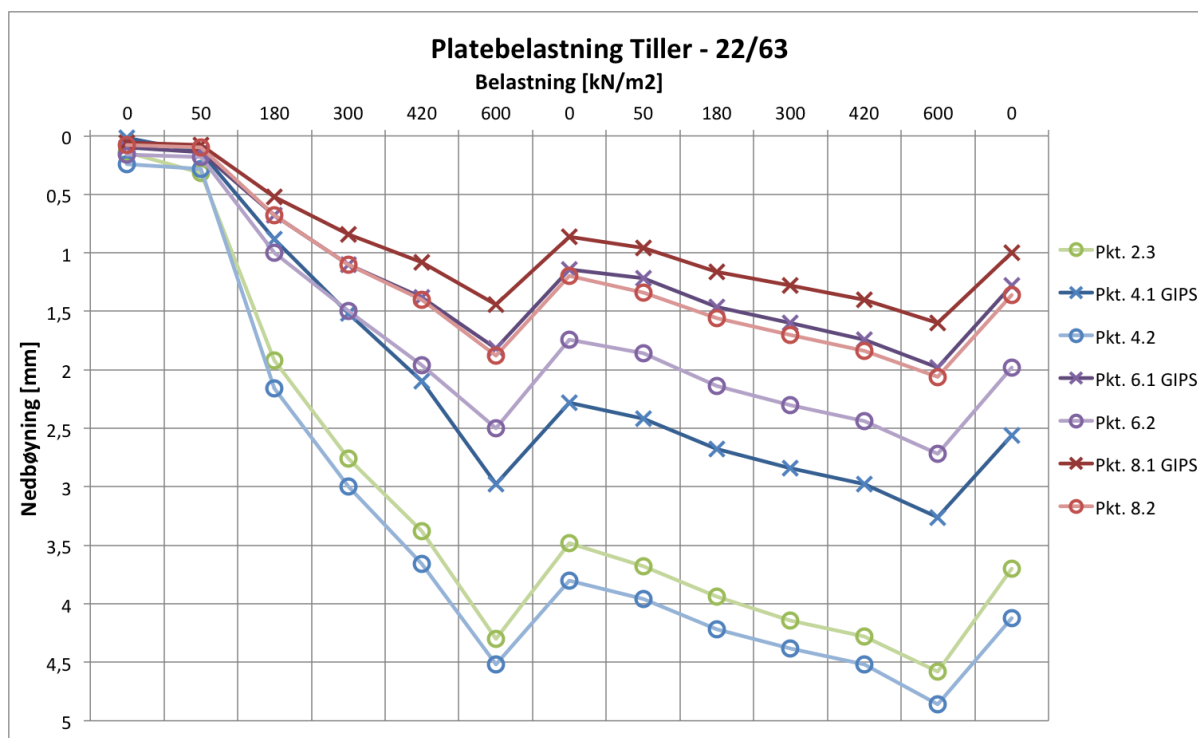
Presentasjon av resultater

Totalt 22 prøver ble tatt, og de la grunnlag for 11 sammenligninger mellom måleresultat med og uten gips. På grunn av feil utførelse måtte ett målepunkt og dermed en sammenligning utelukkes. Av de registrerte målingene er tre sammenligninger gjort på kult, fire sammenligninger gjort på grus 0/32, og tre sammenligninger gjort på frest asfalt. Resultatene fra alle 20 prøvene finnes i Bilag I, og er vist grafisk i Figur 13.1, Figur 13.2 og Figur 13.3. I figurene 13.1-13.3 er punkter med gips merket med kryss, mens punkter uten avretting er merket med sirkel.

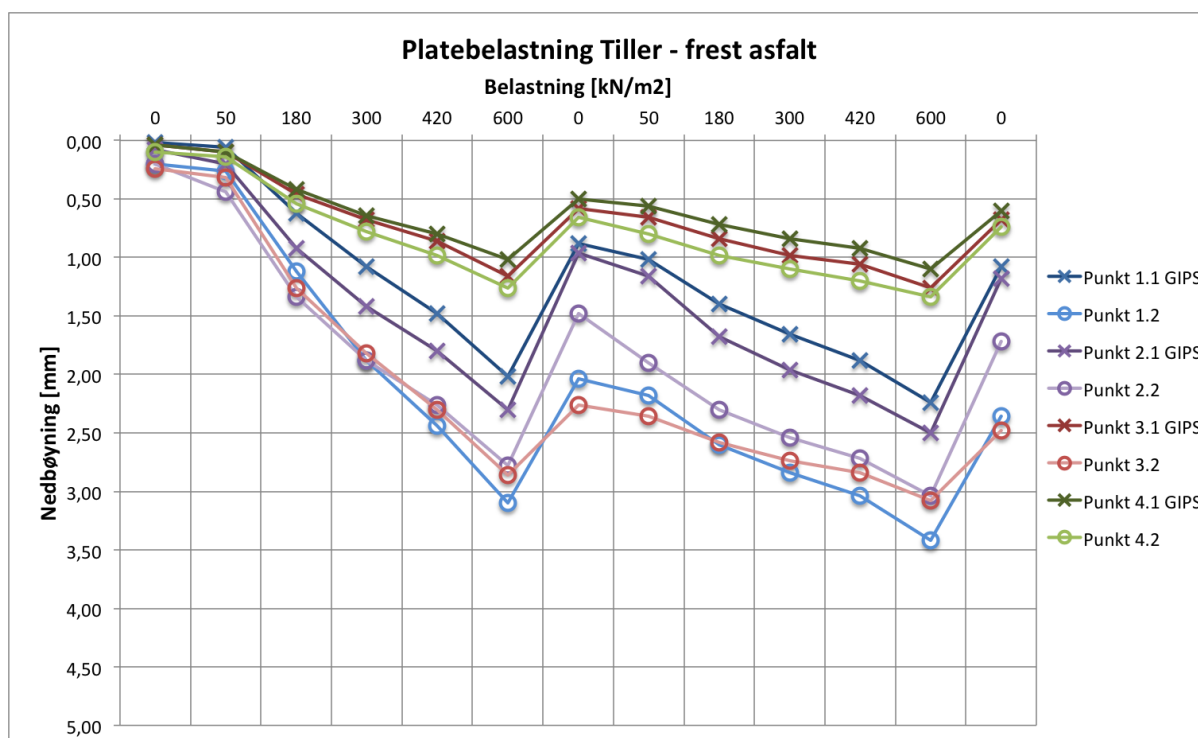
Målingene på sortert kult er gjort på ulike komprimeringsnivåer fra valseprogrammet omtalt i kapittel 12. For disse punktene er CMV-resultater tatt med i Tabell 13.1a. Målingene på grus og frest asfalt er tatt fra ordinær stikkprøvekontroll, der materialene skal være ferdig komprimerte og klare for asfaltering.

Hensikten med målingene i dette kapitlet er ikke å finne ut om kravene til E_2 og E_2/E_1 er tilfredsstillt, men hvordan målingene med og uten gips samsvarer.

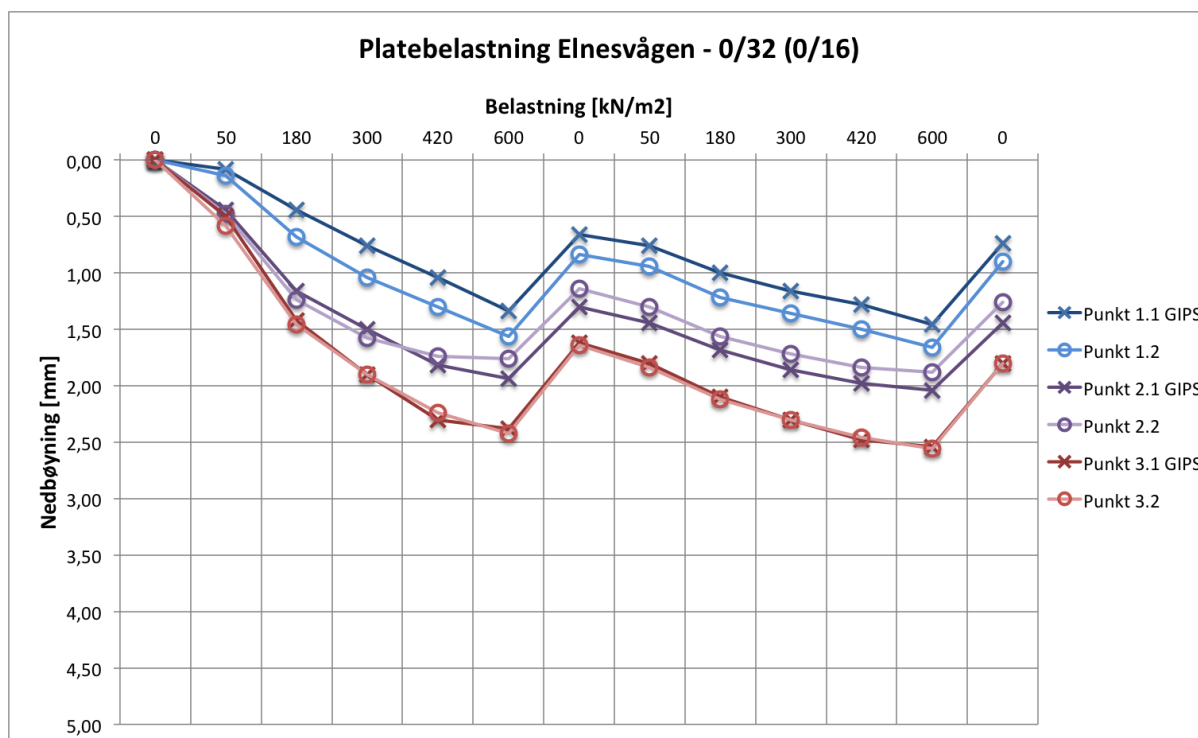
Beregnete verdier for E_1 , E_2 og E_2/E_1 er vist i Tabell 13.1.



Figur 13.1 – Resultater fra platebelastning på sortert kult 22/63



Figur 13.2 – Resultater fra platebelastning på frest asfalt



Figur 13.3 – Resultater fra platebelastning på 0/32

Avretting	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3	
	Gips	Ingen	Gips	Ingen	Gips	Ingen
E_1	44,26	36,00	77,14	56,25	96,43	75,00
E_2	162,93	147,66	181,73	162,93	214,77	189,00
E_2/E_1	3,7	4,1	2,4	2,9	2,2	2,5
CMV	46,9	52,7	54,7	55,1	63,8	68,7

(a) Sortert kult 22/63

Avretting	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		Punkt 4	
	Gips	Ingen	Gips	Ingen	Gips	Ingen	Gips	Ingen
E_1	62,79	40,91	61,36	58,70	135,00	51,92	142,11	122,73
E_2	112,50	115,24	115,24	127,70	225,00	189,00	248,68	262,50
E_2/E_1	1,8	2,8	1,9	2,2	1,7	3,6	1,8	2,1

(b) Frest asfalt

Avretting	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3	
	Gips	Ingen	Gips	Ingen	Gips	Ingen
E_1	90,00	87,10	81,82	108,00	61,36	69,23
E_2	205,43	214,77	262,50	295,31	214,77	214,77
E_2/E_1	2,3	2,5	3,2	2,7	3,5	3,1

(c) 0/32 avstrødd med 0/16

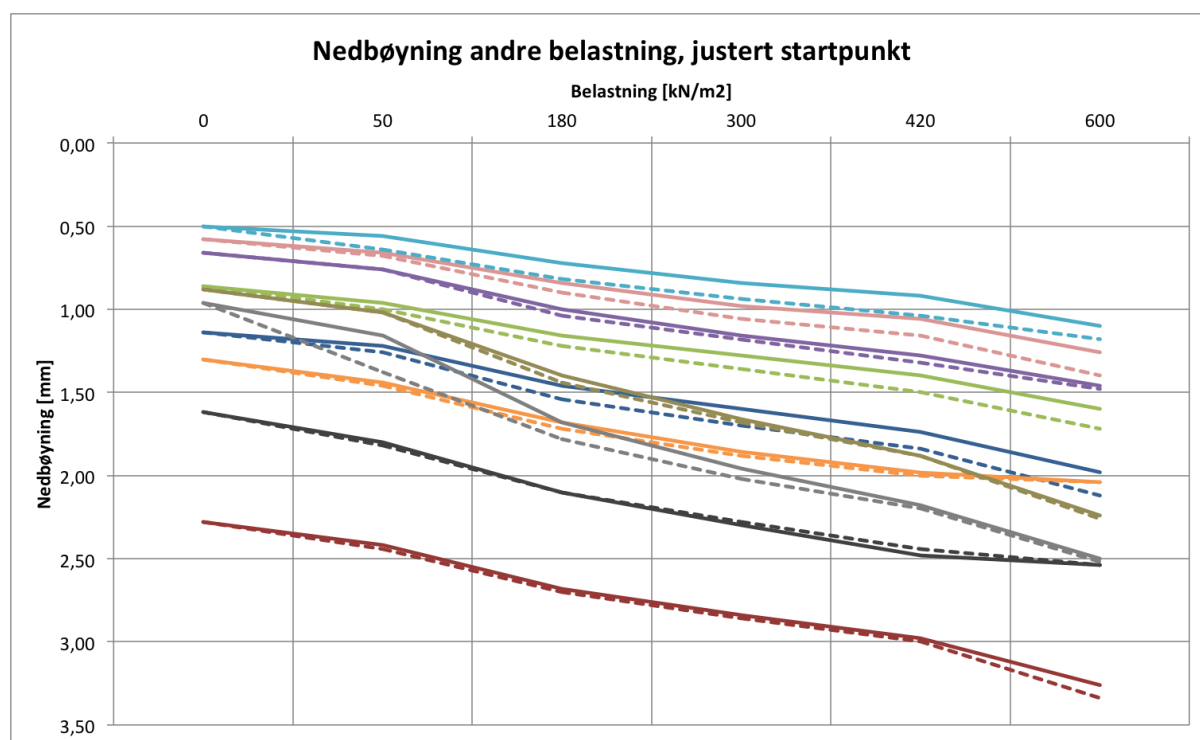
Tabell 13.1 – Stivhetsberegninger platebelastning

Vurdering

På forhånd var det forventet at de skulle være størst forskjell på målingene gjort på kult, mens målingene på grus og frest asfalt var forventet å vise bedre samsvar. Den generelle tendensen fra Tabell 13.1 er at resultatene ble dårligere for målingene som er gjort uten gips, men for to målinger var det likevel motsatt.

Figur 13.1 viser at det er bedre samsvar mellom prøvene jo mer komprimerte massene er.

I kapittel 12 ble det konkludert med at sammenligninger mellom CMV og platebelastning bør gjøres ved hjelp av E_2 , og det er også E_2 det stilles krav til i de nåværende retningslinjene for komprimeringskontroll. På Figur 13.4 er nedbøyningen i andre belastningsyklus vist, og nedbøyningene i punktene uten gips er justert til å starte på samme verdi som det tilhørende punktet med gips. Man ser at det er svært godt samsvar mellom registreringene med og uten avretting, uavhengig om selve platebelastningsresultatet er godt eller dårlig. Hvilken masse målingene er gjort på har heller ikke noen innvirkning på samsvaret mellom målingene fra andre belastningsyklus. 53 av 60 målinger har differanse på mindre enn 0,10 mm, og største differanse blant de 60 punktene er 0,22 mm. Disse differansene regnes å være innenfor feilmarginen i målingene.



Figur 13.4 – Nedbøyning ved andre belastningsyklus. Justert slik at måling med og uten gips starter i samme punkt.

Resultatene tyder på at avrettingsplaten av gips er med på å stabilisere nedbøyningen, og slik kan gjøre at massen ser stivere ut enn den er. Når målingene gjøres uten gips

kan man i første belastningsyklus få ekstra setninger på grunn av at overflaten under platen jevnes ut. Med gipsavretting er det gipsen som tar seg av den samme effekten. CMV-tallene i Tabell 13.1a viser at punktene hvor det er gjort målinger uten avretting er vel så godt komprimerte som målepunktene uten gips. Slik kan man være sikker på at det er avrettingen som gjør at målingene med gips får bedre resultater enn målingene uten gips. Det antas at det samme gjelder for målingene som er gjort på grus og frest asfalt.

Resultatene viser dårlig samsvar for E_1 , og det får videre innvirkning på resultatene for E_2/E_1 . Kravet til forholdet E_2/E_1 bør derfor justeres om man skal tillate at komprimeringskontrollen skal utføres uten gips som avretting.

Kapittel 14

Målinger med platebelastning og fallodd

Presentasjon av resultater

Det ble gjort forsøk med fallodd på to ulike massetyper, kult 22/63 og knust asfalt. På området med kult skulle det gjøres målinger på materialer med ulik komprimeringsgrad, men det var vanskelig å få gjort målinger fordi sensorene på falloddet var så små i forhold til steinstørrelsene i materialet som ble undersøkt. Det ble derfor ikke registrert gyldige resultater annet enn på det området hvor materialet var komprimert med 12 overfarer. Her fikk man registrert resultater i seks punkter, som vist i Tabell 14.1. Grunnlagsdata for falloddsmålingene er vedlagt i Bilag II

Et viktig prinsipp i tolkningen av falloddsmålinger er at størrelsen på nedbøyningen skal være ensidig fallende med økende avstand fra belastningssentrum. Det betyr at man skal få mindre nedbøyning jo lengre unna selve slagpunktet man kommer. Tallene med **uthevet** skrift i Tabell 14.1 viser at dette ikke er tilfelle for alle målepunktene, og disse punktene må derfor utelates fra resultattolkningen.

Punkt	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D150
1.1	965,8	506,2	105,1	82,2	77,4	55,9	54,3
1.2	561,2	318,8	128,8	94,9	63,9	54,3	37,9
1.3	950,8	528,9	207,5	150,3	79,1	65,8	58,2
2.1	819,0	589,8	148,0	75,7	81,8	68,0	54,7
2.2	974,4	389,9	68,8	53,8	29,3	46,5	39,4
2.3	935,6	364,5	64,2	99,0	42,6	57,7	54,1

Tabell 14.1 – Falloddsmålinger på kult. Nedbøyning i μm ($1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$)

Vurdering

Forsøkene med fallodd på forsterkningslag av kult ble mislykket på grunn av at materialet var for grovt for måleutstyret. Tre gyldige målinger av 24 planlagte er for få til å kunne sammenligne med platebelastningsresultater og trekke konklusjoner.

Massen som forsøkene skulle gjøres på var av fraksjon 22/63, med største steinstørrelse 90 mm, og sensorene på måleutstyret var ca 1 cm i diameter. Når sensorene ble senket til bakken ble noen av dem stående i et lite hulrom mellom to steiner, og dette gjorde at de ikke registrerte noen nedbøyning når loddet ble sluppet. Da ville ikke falloddet godkjenne målingen. En annen mulighet var at noen sensorer sto midt på en stein, mens nabosensoren sto på kanten av en stein. Dette kunne føre til at sensorene registrerte både for stor og for liten nedbøyning, alt etter hva de stod på. Det ble for mange feilkilder som spilte inn i registreringene, og en tolkning av disse resultatene ville ikke gitt sikre konklusjoner.

Det ble også gjort fallodds målinger på ferdig komprimert frest asfalt. Disse målingene ble gjort for å undersøke om målinger på finere masser kunne gi meningsfulle måleresultater. Målingene er oppsummert i Bilag II, og resultatene viser at det fungerer godt å gjøre målinger med fallodd på bærelag av frest asfalt.

En utfordring med fallodds målinger på en veg som er under konstruksjon er beregnings-systemet som er brukt i tolkningen av nedbøyningsmålingen. Dette systemet er beregnet på veger med trafikk, og årsdøgntrafikk er en av parametrene som inngår i beregningen. Man har to ulike beregningsmetoder, avhengig om dekket på vegen er av asfalt eller grus. Dersom fallodd skal kunne brukes som kontrollmetode på veger under bygging, må man finne en metode for tolkning og fremstilling av resultater som er tilpasset konstruksjoner under bygging.

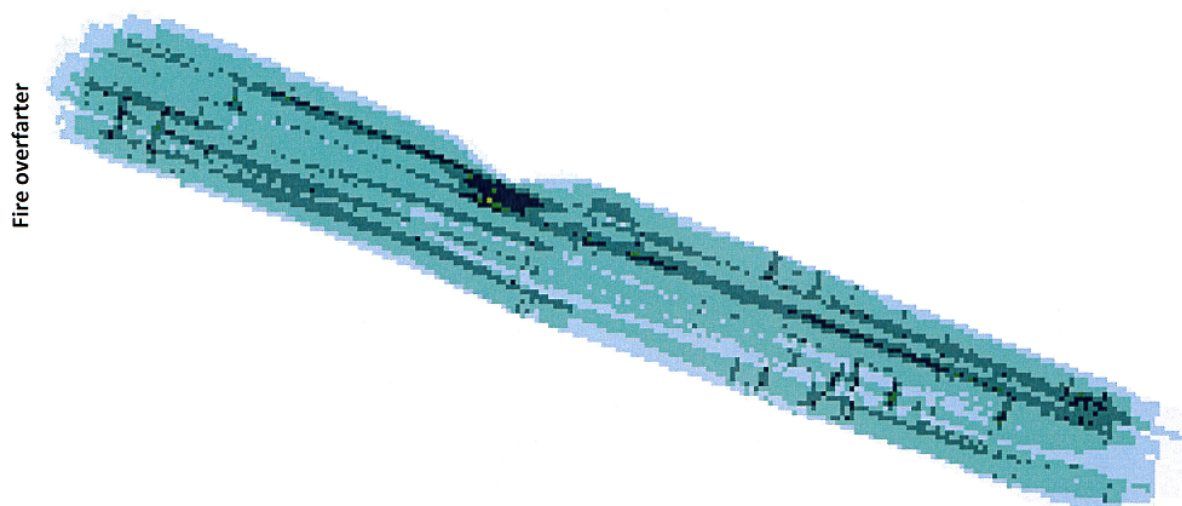
Dersom man vil utvikle falloddet til å kunne gjøre målinger på grovere masser bør man se nærmere på om det går an å endre på selve sensorene som måler nedbøyning. Dersom sensorene hadde form som en plate i stedet for en avrundet sylinder, burde man kunne gjøre målinger på masser med større steinstørrelse og mer åpen struktur.

Kapittel 15

Erfaringer fra feltforsøkene

15.1 Fremstilling av antall overfarter

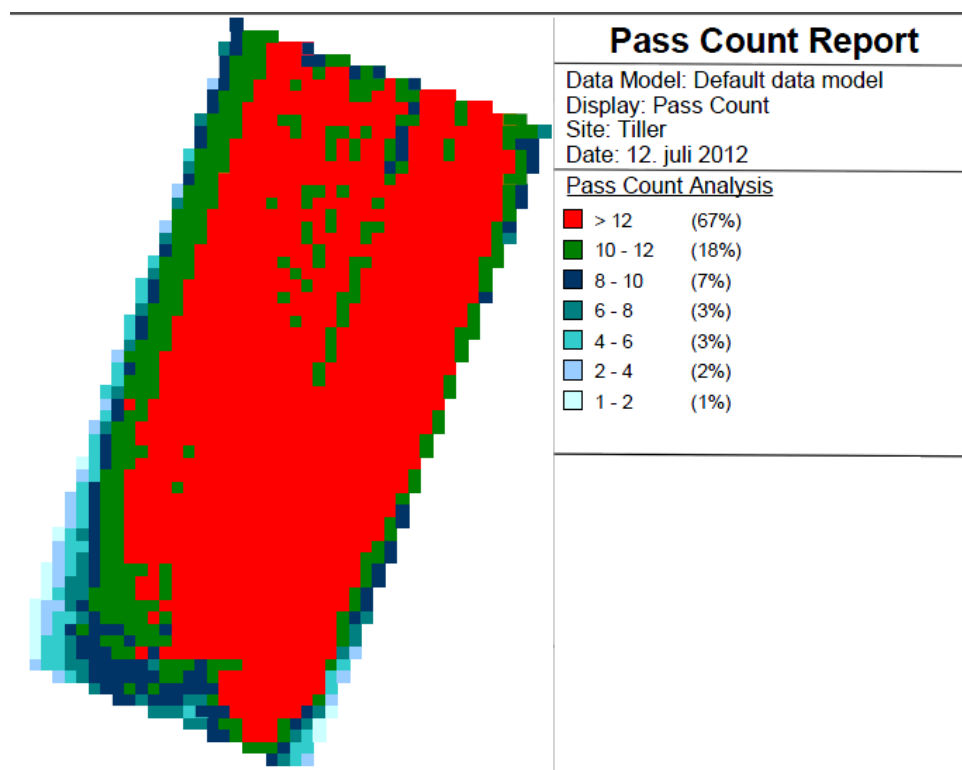
Alt som valseen kjører blir registrert og stedfestet ved hjelp av GPS, dette gjelder uansett om det er transportkjøring eller komprimering. I Bilag III er registreringen av antall overfarter vist for forsøksfeltet på E6 Sentervegen - Tonstad. Når området som komprimeres er så bredt at det må kjøres flere ganger i bredden for å få dekket det, skal det kjøres med overlapp mellom valseoverfartene. Dette gjenspeiles også på den grafiske framstillingen av antall overfarter, og kommer fram som langsgående striper av områder med et høyere antall overfarter som vist på Figur 15.1.



Figur 15.1 – Overlapp i antall overfarter

Når mange overfarter kjøres oppå hverandre får man mange slike langsgående striper, og det blir til slutt vanskelig å se hvor mange ganger valseen egentlig er kjørt på området. Figur 15.1 viser utskrift fra den delen av forsøksfeltet hvor man vet at det er kjørt 12 overfarter. GPS-registreringene viser at det er kjørt mer enn 12 overfarter på 67 % av

arealet. Dette viser tydelig at utstyret ikke kan brukes til å presentere antall overfarter. En av grunnene til dette er at feilmarginen til GPS-en kan være så stor som 3 meter, mens bredden på valsen kun er 2,3 meter. Dersom valsemålingene skal brukes til kontroll med antall overfarter, må GPS-utstyret ha betydelig bedre nøyaktighet. Det finnes mer nøyaktig utstyr til salgs, så dette er i stor grad et spørsmål om pris.

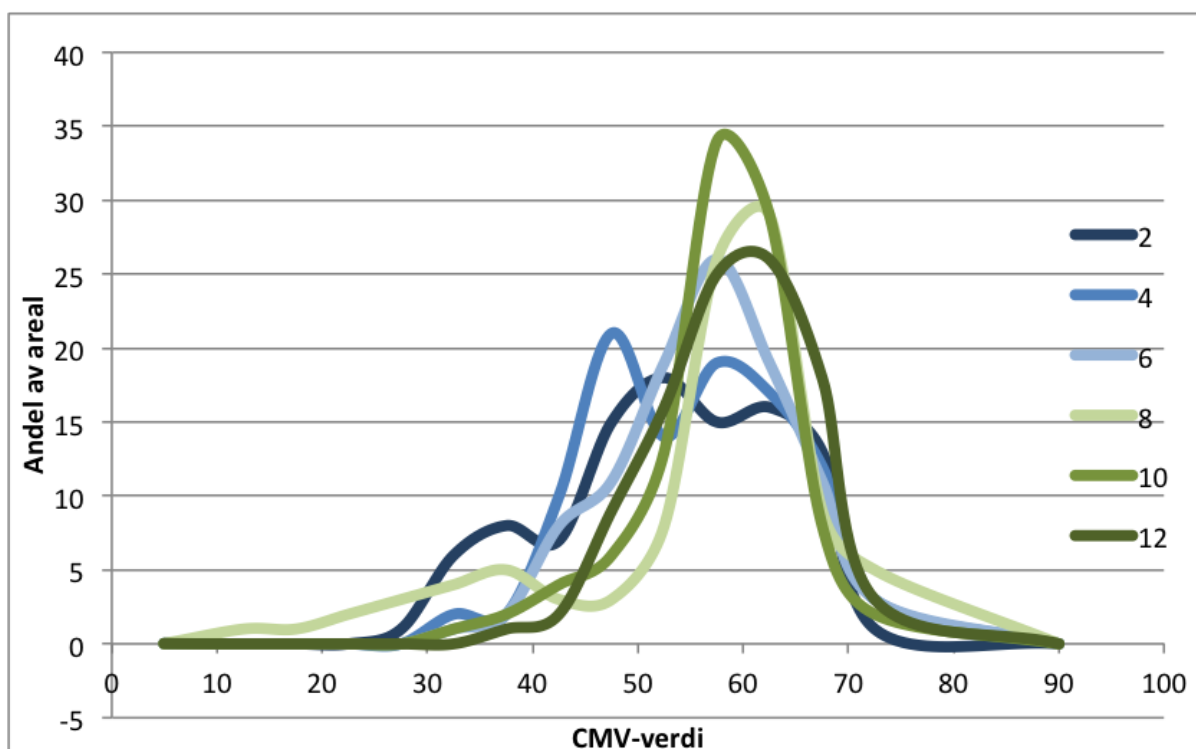


Figur 15.2 – Antall registrerte overfarter på område hvor det er kjørt 12 overfarter

15.2 Registrering av overkomprimering

På feltet hvor det var planlagt åtte overfarter ble det i stedet kjørt tolv overfarter. I Bilag IV er CMV-registreringer etter to og to overfarter vist for dette feltet. Etter de to første overfartene har man allerede CMV i området 50-70 langs senterlinjen, mens stivheten er dårligere langs kantene. Etter hvert som de ble kjørt flere overfarter oppnådde større deler av området høye CMV-resultater. Vi ser likevel at utviklingen stopper opp i området $CMV = 50-70$, og man oppnår ikke CMV høyere enn 70 på mer enn 2-3 % av arealet. Dette viser at CMV i området 60-70 er det høyeste man kan forvente å oppnå på dette testområdet.

Om man sammenligner arealene ser man også at CMV-verdien går ned i enkelte punkter. Dette er en indikasjon på at man begynner å få nedknusning og overkomprimering.



Figur 15.3 – CMV-fordeling overkomprimering

I Figur 15.3 er CMV-fordelingen for hver andre overfart hentet fra Bilag IV, presentert. Formen på kurvene forteller om hvordan stivheten på området forandrer seg etter hvert som det komprimeres. De blå kurvene, som representerer 2, 4 og 6 overfarter når ikke så høyt på y-aksen, men har stor utbredelse på x-aksen. Det viser at det er stor variasjon i de registrerte CMV-verdiene i starten av komprimeringsarbeidet. Etter hvert som det blir komprimert med får kurvene en mer spiss form, og noe som viser at komprimeringsnivået blir mer homogent. Midtpunktet på kurvene flytter seg mot høyre med økende antall overfarter, det vil si at den gjennomsnittlige CMV-verdien øker.

Figur 15.3 er et eksempel på hvordan man kan bruke data fra responsmålinger i videre tolkning utenfor valseproduzentens analyseprogram.

15.3 Annet

Observasjon av holdninger blant valseførere og annet entreprenørpersonell har også vært en del av arbeidet med feltforsøk og anleggsbesøk. Flere av valseførerne syntes utstyret var vanskelig og litt unødvendig da det ble montert. Etter å ha lært seg å bruke utstyret, er inntrykket at de ser nytten av investeringen og har blitt mer positivt innstilt. Det er et problem at valsing er ensformig arbeid, man har for eksempel hatt situasjoner der valseføreren har sovnet midt i arbeidet. Dette er et problem for kvaliteten på arbeidet, men ikke minst et stort sikkerhetsproblem. Når valseføreren kan følge med på utviklingen

i komprimeringsarbeidet etter hvert som det skjer blir komprimering en mer interessant aktivitet. Valseføreren får klart inntrykk av at han er med på å påvirke kvaliteten på den ferdige vegen, og han får mulighet til å se svakheter og eventuelt forbedre disse underveis i arbeidet.

Del V

Anbefaling/konklusjon

Kapittel 16

Vurdering og anbefalinger

16.1 Vurdering av krav i 018

Det står i praksis i håndboken i dag at de tradisjonelle valeskjemaene ikke er god nok dokumentasjon siden de ikke er stedfestet og ikke sier noe om oppnådd komprimeringsgrad når arbeidet er avsluttet.

Håndboken sier at målingene skal kalibreres, men spesifiserer ikke noen metode for dette. Tallene som kommer ut fra responsmålingene kan ikke justeres, men man kan justere kravet til hvilke tall som godkjennes ved å sammenligne med et mindre antall målinger med de tradisjonelle metodene på ulike komprimeringsnivåer. Det er på grunnlag av denne kalibreringen at man kan stille spørsmål ved fargekodene som produsentene av komprimeringsutstyr bruker. Dersom det er forhåndsbestemt tallverdier for hva som er godkjent (grønt), utilstrekkelig (rødt) osv., kan man spørre seg om disse nivåene blir justert etter hver kalibrering, og hvor enkelt det er å justere disse. Dersom dette ikke blir gjort kan man fort se seg blind på fargekodene uten å tenke over at tallene som ligger bak ikke stemmer. Det er også en viss fare dersom det er for enkelt å endre fargekodene, dersom det kan brukes til å justere skalaen slik at målingene ser bedre ut enn de faktisk er.

Håndboken åpner allerede i dag for at kontrollomfanget med de tradisjonelle kontrollmetodene kan reduseres dersom man bruker kontinuerlig dokumentasjon. For platebelastning har man også bestemt at testene skal tas på de dokumentert svakeste punktene, noe som gjør at man får utnyttet platebelastningsutstyret bedre. En endring fra en prøve per 100 m til en prøve per 250 m utgjør en reduksjon til 40 % av det totale prøveomfanget.

For platebelastning gjør man testene på det øverste laget før asfalten legges, og disse målingene skal være representative for hele overbygningen. Platebelastningen gir et gjennomsnittresultat for materialene som ligger opp til 1,5 m under overflaten. Dersom

resultatet av målingene ikke tilfredsstillende kan det være vanskelig å vite hvor feilen ligger. Bærelaget kan for eksempel ha god kvalitet, mens forsterkningslaget må byttes ut. Med kontroll på alle lag kunne man rettet opp forsterkningslaget uten at dette hadde fått noen innvirkning på bærelaget, siden man kunne ha gjort utskiftningen før bærelaget ble lagt ut.

16.2 Nytte

Nytten ved bruk av kontinuerlig komprimeringskontroll(CCC) kan deles inn i tre deler:

1. Nytte for entreprenør
2. Nytte for valsefører
3. Nytte for byggherre.

Sandström and Pettersson (2003) viser til beregninger gjort av Vägverket i 1998, som viser at man kan redusere kostnadene knyttet til kvalitetskontroll for komprimering med 40 % dersom CCC benyttes.

Entreprenør

Det er entreprenøren som må investere i nytt komprimeringsutstyr dersom det stilles krav til CCC, og det er derfor viktig at nettopp entreprenøren får nytte av utstyret. Sandström and Pettersson (2003) viser til at CCC ikke bare er en metode for dokumentasjon av komprimeringsresultater, men også en metode som hjelper valseføreren til å oppnå homogene komprimeringsforhold på minst mulig tid. Ved bruk av CCC vil føreren også kunne oppdage og lokalisere ukomprimerbare svake punkter, og kan sette i gang tiltak mot disse. Sandström and Pettersson skriver at nytten av kontinuerlig komprimeringskontroll blir spesielt stor ved OPS-prosjekter (Offentlig-privat samarbeid). Da er det samme entreprenør som bygger og vedlikeholder vegen, og det vil være i deres interesse å ha lagt et godt grunnlag i byggefasen for å minimere vedlikeholdskostnader i driftsfasen. I byggefasen kan man få optimalisert nytten av arbeidet til maskinførerne, og resultatet blir godt dokumentert.

Også på vanlige kontrakter kan entreprenøren tjene på å bruke CCC. Når man har kontroll over stivheten på lagene som komprimeres underveis i arbeidet går det an å avslutte komprimeringsarbeidet tidligere på områder med høy stivhet. Dersom man oppdager svake områder kan man sette inn tiltak for å forbedre disse med en gang, og slipper å grave opp eventuelle overliggende lag om feilen oppdages på et senere tidspunkt.

Entreprenøren har også god dokumentasjon dersom det blir problemer med sprekker, telehiv eller lignende. Når entreprenøren kan dokumentere at komprimeringsarbeidet ble gjort skikkelig er det mindre sjanse for å måtte betale for reklamasjon og skader.

Valsefører

Valseføreren er den personen som aller mest vil merke forskjellen dersom CCC blir tatt i bruk. Valseføreren må lære seg hvordan man bruker systemet og hva responsmålingene innebærer, noe som mange kan være skeptisk til. Dette kan likevel være positivt, fordi bedre forståelse kan føre til mer engasjement i arbeidet. En valsefører som har lært hva som skjer når valsen vibrerer og hvordan dette har innvirkning på CMV kan være med på å bestemme hvordan komprimeringsarbeidet skal utføres. Når det gjøres målinger kontinuerlig mens valsen kjører har valseføreren mer å følge med på enn bare å telle antall overfarter, og valsingen kan dermed bli mindre kjedelig for den som kjører.

Gjennom at området som valsen har kjørt på blir vist på skjerm i valsen blir det enklere for valseføreren å holde styr på hvor det er ferdig komprimert, og hvor arbeid gjenstår. På samme måte har valseføreren god dokumentasjon om han trenger å vise at komprimeringsarbeidet er ferdig utført.

Byggherre

Hoveddelen av nyttet til byggherren kommer gjennom at vegene som blir bygget får god kvalitet og lengre levetid. Dette fører til lavere vedlikeholdskostnader, og det er både en samfunnsmessig og økonomisk fordel.

Byggherren får god dokumentasjon som viser stivheten til hele vegkonstruksjonen, framfor stikkprøvekontroller for hver 100 m. Med CCC kan man ha full kontroll på komprimering av breddeutvidelser, grøfter og lignende. Dokumentasjonen lagres, og byggherren kan gå tilbake og se på komprimeringsresultatene dersom det oppstår feil på en vegstrekning etter at den er satt i trafikk. Ved en eventuell reklamasjonssak har byggherren mulighet til å se på komprimeringsdata både for punkter og områder, og kan slik ha gode kort på hånden om komprimeringsarbeidet ikke er utført på en tilfredsstillende måte.

Økende kunnskapsnivå hos entreprenørene er også en fordel for byggherren, fordi det gjør entreprenørene mer opptatt av å levere et godt produkt. Engasjerte anleggsarbeidere vil også være positivt for rekrutteringen til anleggsbransjen, noe som byggherren igjen nyter godt av.

16.3 Komprimeringsveiledning

Statens Vegvesen vurderer å lage en komprimeringsveiledning for entreprenører, som et supplement til kravene i Håndbok 018. Dette virker å være en god ide, siden komprimeringsstoffet i dagens Håndbok 018 er spredt og vanskelig å lese, som vist i kapittel 5. Dersom det er et mål at kunnskapsnivået omkring komprimering skal heves må et minstemål være at Statens Vegvesen har opplæringsmateriell som entreprenører og andre kan benytte seg av. Om kontinuerlig komprimeringskontroll skal innføres er det mange som må få en innføring hvordan responsmålinger fungerer. En slik innføring må bestå av noe generell teori om komprimering og vibrasjon som bakgrunn for beregningene som valsemålsmålingen gjør.

En veiledning som både forklarer kravene som stilles i Håndbok 018, samt bakgrunnen for kontinuerlig komprimeringskontroll og valsemålinger vil være et nyttig hjelpemiddel. Det gjelder både som opplæringsmateriell og som oppslagsverk underveis i arbeidet.

Valseførere har påpekt at de mangler en enkel bok å slå opp i når komprimeringsarbeid skal planlegges. En veiledning bør derfor inneholde informasjon om hvordan man skal velge riktig valse, antall overfarter, frekvens og amplitude til et gitt komprimeringsarbeid. Valseprodusentene bør brukes som en ressurs i utarbeidelsen av dette stoffet. Et eksempel er Dynapac, som allerede i dag har flere systemer for å hjelpe valseførere og entreprenører, blant annet dataprogrammet CompBase som kan brukes til å finne riktig antall overfarter med en gitt valse på ulike massetyper og -tykkelser.

I arbeidet med en komprimeringsveiledning må man ta hensyn til at mange av dem som skal bruke den ikke har høyere utdanning. Man får derfor ikke utbytte av lange teoretiske utledninger som i kapittel 6.2.4 i denne rapporten. En komprimeringsveiledning må skrives på en forklarende og enkel måte med gode figurer som understreker de viktige poengene i stoffet. I tillegg kan såkalte brakkeplakater være et godt supplement som kan brukes i det daglige arbeidet på anleggene.

Kapittel 17

Konklusjon

Komprimering og komprimeringskontroll (CCC) er ikke sett på som et eget fagfelt i Norge. I forhold til andre land som det er naturlig å sammenligne seg med har forskningsinnsatsen vært nærmest ikke-eksisterende, og retningslinjer som ble innført i Sverige, Tyskland og Østerrike på første halvdel av 1990-tallet, ble det åpnet for i 2011-utgaven av håndbok 018, 16-20 år senere. Valseprodusentene selger utstyr som er tilrettelagt for CCC, og entreprenører kjøper og har nytte av dette utstyret til tross for at de ikke får bruke det som dokumentasjonssystem opp mot Statens Vegvesen.

I andre land er det gjort mye forskning på komprimering, spesielt har man i USA i de siste årene gjort mye forskning på kontinuerlig komprimeringskontroll. Dessverre er ikke alle amerikanske resultater overførbare til norske forhold, forsøksmetodikk og enkelte resultater kan likevel brukes. Krav og beskrivelser fra andre land viser at det er lagt vekt på å kontrollere stivhet, og ikke antall overfarter. Man kan tenke seg at GPS-kontroll er et steg på vegen mot fullverdig kontinuerlig komprimeringskontroll, men det viser seg at det stiller en del krav til nøyaktigheten til utstyret. Stedfestet dokumentasjon av antall overfarter kjørt vil være et godt supplement til CMV-data om stedfestingen er nøyaktig nok.

Valser finnes allerede på alle anlegg, og kontinuerlig komprimeringskontroll er et godt hjelpemiddel for å få utnyttet dem bedre. Man får mulighet til å endre komprimeringsarbeidet underveis dersom målingene viser spesielt stive eller myke området. Komprimeringen kan avsluttes når ønsket stivhet er oppnådd, uavhengig av om planlagt antall overfarter er kjørt. Slik kan ressursene på anlegget utnyttes bedre, og man kan oppdage feil tidligere enn det som er tilfelle med dagens komprimeringskontroll.

Kontinuerlig komprimeringskontroll fører ikke bare til at byggherren kan ha bedre kontroll under og etter vegbygging, men er også til nytte for entreprenøren. At kontinuerlig komprimeringskontroll gir nytte for entreprenøren er en fordel om krav til slik kontroll

skal innføres. Det er entreprenøren som i siste instans må gjøre investeringer i utstyr og opplæring. Komprimering utgjør en liten del av kostnadene og arbeidet på et veganelgg, men har stor innvirkning på det endelige resultatet. Det vil derfor være økonomisk forsvarlig å investere på dette området.

Det mangler kunnskap og opplæring om komprimering, både hos valseførere, anleggsledelse og byggherre. Komprimering ser ut til å være en jobb som må gjøres, men som det ikke legges prestisje i på anleggene. Komprimeringskontroll blir også lite vektlagt i en anleggshverdag med stramme tidsplaner.

Kontinuerlig komprimeringskontroll kan øke forståelsen for konsekvensene av dårlig komprimering, og gjøre valsejobben mer interessant for valseføreren. Når valseføreren får mulighet til å påvirke valsearbeidet underveis, utover å kjøre et gitt antall ganger frem og tilbake over et område, øker også engasjementet for arbeidet. Det kan gjøre at å kjøre valse blir en oppgave som valseføreren vil beholde, framfor å sende den videre til den nyeste lærlingene på anlegget. Det er et problem at det er den minst erfarne på anlegget som blir satt til å valse. Det er et rekrutteringsproblem, fordi det gir en dårlig introduksjon både til byggebransjen og til arbeidslivet generelt. Stor uskifting av valseførere gjør også at man får problemer med erfaringsoverføring. En valsefører rekker ikke å lære seg komprimering skikkelig før han får andre oppgaver og en annen person tar over valsen.

Ved å bruke resultatene fra valsen kan kontrollinnsatsen med platebelastning rettes inn mot dokumentert svake områder, og man kan undersøke stivheten i de svakeste punktene. Dersom de svakeste punktene tilfredsstiller krav, vet man at også resten av området har god nok kvalitet. En slik rettet kontroll medfører at man må justere kravene til de tradisjonelle kontrollmetodene. Dagens krav må ta hensyn til at punktene som kontrolleres kan være både spesielt gode og spesielt dårlige i forhold til gjennomsnittet for området. Når man kun kontrollerer de svakeste punktene må kravene senkes.

Samtidig som kravene endres platebelastningsarbeidet effektiviseres. Forsøkene som er gjort viser god sammenheng med forsøk gjort uten gips. Dersom man effektiviserer platebelastningen kan man få gjort flere forsøk på kortere tid. Det vil avhjelpe kapasitetsproblemene for platebelastningsmålinger som man har i dag.

Godt læremateriell om komprimering er vanskelig å få tak i i dagens situasjon. Det bør utvikles en komprimeringsveiledning som forklarer prinsipper og krav knyttet til komprimering og komprimeringskontroll.

Den enkleste responsmåleren som er brukt i denne oppgaven er for enkel til å kunne brukes til kontinuerlig komprimeringskontroll. På grunn av manglende lagringsmuligheter, og at målingene ikke stedfestes, er det alt for mange feilkilder som spiller inn. Resultatene blir ikke mer troverdige enn dagens løsninger med manuelt utfylte valeskjemaer.

Variasjonene i CMV-målingene kan være stor selv om de svakeste områdene tilfredsstiller kravene til stivhet. For å sikre homogen komprimering bør man sette krav også til gjennomsnittlig CMV-verdi og maksimal variasjon (standardavvik). På denne måten kan man være sikker på at hele arealet som er undersøkt holder god kvalitet.

Kapittel 18

Videreføring av arbeidet

Dersom arbeidet med denne rapporten skal føres videre, bør det legges vekt på å gjøre flere feltforsøk. Det bør gjøres flere undersøkelser av om platebelastning kan gjøres uten gips, eventuelt med et tynt sandlag som avretting slik det blir gjort i Sverige. Videre må undersøkelser med responsmåler og GPS-utstyr gjøres for å kartlegge hvor store målefeil man får med utstyret som finnes i dag, og hvor store målefeil man kan godta.

Etter hvert som flere land innfører nye retningslinjer for komprimeringskontroll som omfatter responsmålinger, bør man undersøke disse som innspill til hvordan norske retningslinjer for kontinuerlig komprimeringskontroll(CCC) bør utformes. I tillegg til at det bør bli skrevet norske retningslinjer for komprimeringskontroll, bør det også skrives en veiledning for personalet som skal utføre komprimering. Slik kan man avhjelpe den kunnskapsmangelen som finnes på området i dag, og sikre at bedre komprimeringsarbeid blir utført. En komprimeringsveiledning bør være lett å lese og forstå, og være myntet på både lærlinger og anleggsledelse. Nøkkelpersoner fra entreprenører som allerede har tatt CCC i bruk bør utnyttes som en ressurs i arbeidet med en slik veiledning.

Et siste tema for videreføring kan være nytteberegninger. For å få vist konkret at det lønner seg økonomisk å bruke CCC, kan nytteberegninger med hensyn til både samfunn, byggherre og entreprenør være et viktig hjelpemiddel. Det vil være knyttet store usikkerheter til en slik beregning, men det vil likevel være nyttig å få satt tall på kostnader og gevinster knyttet til komprimeringsarbeid.

Referanseliste

- Adam, D. (2007). *Roller-integrated Continuous Compaction Control (CCC) Technical Contractual Provisions & Recommendations*. Technische Universität Wien.
- Bomag (2012). Bomag: Systems for soil and asphalt compaction. <http://www.bomag.com/world/en/products/measuring-systems-innovations.htm>. Sist besøkt 11.07.2012.
- CAT (2012). CAT Vibratory soil compactors. <http://xml.catmms.com/servlet/ImageServlet?imageId=C731205>. Sist besøkt 11.07.2012.
- Dynapac (2012a). Packningsutrustning - Dynapac Compaction Optimizer. Brosjyre.
- Dynapac (2012b). Produktinformasjon Dynapac. <http://www.dynapac.com/no/Produkter/?product=417&cat=10>. Sist besøkt 11.07.2012.
- Dynapac High Comp (2001). Packning och utläggning - teori och praktik. Svedala Dynapac AB.
- Facas, N. and Mooney, M. (2009). *Position Reporting Error of Intelligent Compaction and Continuous Compaction Control Roller-Measured Soil Properties*. Colorado School of Mines.
- Hamm (2012). Hamm: HCQ-indicator. <http://www.hamm.eu/en/technologien/hcq/hcq-gps-navigator/HCQ-GPS-Navigator.html>. Sist besøkt 11.07.2012.
- Hellman, F. (2011). *Packning av obundet material i vägkonstruksjoner*.
- Holstad, Ø. (2008). Nedbøyningsmålinger/bæreevnerregistrering. Hvordan tolke nedbøyningsmålingene og hva kan jeg bruke resultatene til? Statens Vegvesen region vest.
- Hovdenes, O. (2012). Ole Hovdenes, Dynapac. Muntlig kommunikasjon.
- Mooney, M., Rinehart, R., Facas, N., Musimbi, O., White, D., and Vennapusa, P. (2010). *NCHRP Report 676: Intelligent Soil Compaction Systems*.

- Rinehart, R. V. and Mooney, M. A. (2009). *Measurement depth of vibratory roller-measured soil stiffness*.
- Rinehart, R. V., Mooney, M. A., Facas, N., and Musimbi, O. (2012). *Examination of roller-integrated continuous compaction control on a Colorado test site*.
- Sandström, Å. and Pettersson, C. (2003). *Intelligent Systems for QA/QC in soil compaction*.
- Statens Vegvesen (1997). *Håndbok 015 Feltundersøkelser, retningslinjer*. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen (2005). *Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser*. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen (2011). *Håndbok 018 Vegbygging*. Statens Vegvesen.
- Transtech (2012). IC terminology and glossary. <http://www.intelligentcompaction.com/index.php?q=node/27>. Sist besøkt 11.07.2012.
- Vägverket (1994). *Yttäckande packningskontroll (Metodbeskrivning 603:1194)*.
- White, D. and Thompson, M. (2007). *Relationships between In Situ and Roller-Integrated Compaction Measurements for Granular Soils*.
- White, D., Vennapusa, P., and Gieselman, H. (2011). *Field Assessment and Specification Review for Roller-Integrated Compaction Monitoring Technologies*. Iowa State University of Science and Technology.
- Wolfram (2012). Sums of sine waves with several step sizes. <http://demonstrations.wolfram.com/SumsOfSineWavesWithSeveralStepSizesSawtoothOrSquareApproxima/>. Sist besøkt 11.07.2012.

Bilag

Innholdsfortegnelse

Bilag I	Resultatoppsummering platebelastningsmålinger	I-1
Bilag II	Resultatoppsummering falloddsmålinger	II-1
Bilag III	Grafisk framstilling av resultater fra vals	III-1
	Antall overfarter	III-2
	CMV	III-4
Bilag IV	Grafisk framstilling av CMV-utvikling på felt med 12 overfarter	IV-1
Bilag V	Resultatoppsummering nivellement	V-1

Bilag I

Resultatoppsummering platebelastningsmålinger

Tiller, sortert kult 22/63 dato 01. juni 2012													
Belastning p [kN/m ²]	Setning s [mm]												
	Pkt. 2.1	Pkt. 2.2	Pkt. 2.3	Pkt. 4.1	Pkt. 4.2	Pkt. 4.3	Pkt. 6.1	Pkt. 6.2	Pkt. 6.3	Pkt. 8.1	Pkt. 8.2	Pkt. 8.3	
	Gips	Sand	Ingen	Gips	Ingen	Gips	Gips	Ingen	Gips	Gips	Ingen	Gips	
0	0,04	0,14	0,14	0,02	0,24	0,06	0,10	0,16	0,08	0,06	0,08	0,10	
50	0,16	0,18	0,32	0,14	0,28	0,18	0,14	0,18	0,12	0,08	0,10	0,12	
180	2,88	1,50	1,92	0,88	2,16	0,82	0,68	1,00	0,62	0,52	0,68	0,48	
300	5,36	2,40	2,76	1,52	3,00	1,26	1,10	1,50	0,92	0,84	1,10	0,74	
420	7,70	3,20	3,38	2,10	3,66	1,68	1,38	1,96	1,18	1,08	1,40	0,98	
600	10,14	4,18	4,30	2,98	4,52	2,20	1,82	2,50	1,56	1,44	1,88	1,26	
0	9,26	3,50	3,48	2,28	3,80	1,54	1,14	1,74	0,90	0,86	1,20	0,60	
50	9,50	3,70	3,68	2,42	3,96	1,68	1,22	1,86	1,04	0,96	1,34	0,74	
180	9,82	3,96	3,94	2,68	4,22	1,86	1,46	2,14	1,24	1,16	1,56	0,92	
300	10,02	4,14	4,14	2,84	4,38	2,04	1,60	2,30	1,36	1,28	1,70	1,06	
420	10,26	4,28	4,28	2,98	4,52	2,20	1,74	2,44	1,48	1,40	1,84	1,16	
600	10,80	4,58	4,58	3,26	4,86	2,46	1,98	2,72	1,66	1,60	2,06	1,36	
0	9,92	3,82	3,70	2,56	4,12	1,76	1,28	1,98	1,04	1,00	1,36	0,76	
E1	11,20	31,76	36,99	44,26	36,00	62,79	77,14	56,25	96,43	96,43	75,00	108,00	
E2	96,43	152,42	147,66	162,93	147,66	157,50	181,73	162,93	225,00	214,77	189,00	214,77	
E2/E1	8,61	4,80	3,99	3,68	4,10	2,51	2,36	2,90	2,33	2,23	2,52	1,99	

ELNESVÅGEN, 0/32 avstrødd med 0/16, dato 07. juni 2012										
Belastning p [kN/m ²]	Setning s [mm]									
	Punkt 1.1	Punkt 1.2	Punkt 2.1	Punkt 2.2	Punkt 3.1	Punkt 3.2	Gips	Ingen	Gips	Ingen
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,08	0,14	0,44	0,48	0,50	0,58	0,50	0,58	0,50	0,58
180	0,44	0,68	1,16	1,24	1,42	1,46	1,42	1,46	1,42	1,46
300	0,76	1,04	1,50	1,58	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
420	1,04	1,30	1,82	1,74	2,30	2,24	2,30	2,24	2,30	2,24
600	1,34	1,56	1,94	1,76	2,38	2,42	2,38	2,42	2,38	2,42
0	0,66	0,84	1,30	1,14	1,62	1,64	1,62	1,64	1,62	1,64
50	0,76	0,94	1,44	1,30	1,80	1,84	1,80	1,84	1,80	1,84
180	1,00	1,22	1,68	1,56	2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12
300	1,16	1,36	1,86	1,72	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
420	1,28	1,50	1,98	1,84	2,48	2,46	2,48	2,46	2,48	2,46
600	1,46	1,66	2,04	1,88	2,54	2,56	2,54	2,56	2,54	2,56
0	0,74	0,90	1,44	1,26	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
E1	90,00	87,10	81,82	108,00	61,36	69,23	61,36	69,23	61,36	69,23
E2	205,43	214,77	262,50	295,31	214,77	214,77	214,77	214,77	214,77	214,77
E2/E1	2,28	2,47	3,21	2,73	3,50	3,10	3,50	3,10	3,50	3,10

Tiller, frest asfalt, dato 07. juni 2012														
Belastning p [kN/m ²]	Setnings s [mm]													
	Punkt 1.1	Punkt 1.2		Punkt 2.1		Punkt 2.2		Punkt 3.1		Punkt 3.2		Punkt 4.1		Punkt 4.2
	Gips	Ingen	Gips	Ingen	Gips	Ingen	Gips	Ingen	Gips	Ingen	Gips	Ingen	Gips	Ingen
0	0,02	0,20	0,08	0,20	0,08	0,20	0,04	0,24	0,04	0,24	0,04	0,10	0,04	0,10
50	0,06	0,26	0,20	0,44	0,20	0,44	0,10	0,32	0,10	0,32	0,1	0,14	0,1	0,14
180	0,62	1,12	0,92	1,34	0,92	1,34	0,46	1,26	0,46	1,26	0,42	0,54	0,42	0,54
300	1,08	1,88	1,42	1,88	1,42	1,88	0,68	1,82	0,68	1,82	0,64	0,78	0,64	0,78
420	1,48	2,44	1,80	2,26	1,80	2,26	0,86	2,30	0,86	2,30	0,8	0,98	0,8	0,98
600	2,02	3,10	2,30	2,78	2,30	2,78	1,16	2,86	1,16	2,86	1,02	1,26	1,02	1,26
0	0,88	2,04	0,96	1,48	0,96	1,48	0,58	2,26	0,58	2,26	0,5	0,66	0,5	0,66
50	1,02	2,18	1,16	1,90	1,16	1,90	0,66	2,36	0,66	2,36	0,56	0,80	0,56	0,80
180	1,40	2,60	1,68	2,30	1,68	2,30	0,84	2,58	0,84	2,58	0,72	0,98	0,72	0,98
300	1,66	2,84	1,96	2,54	1,96	2,54	0,98	2,74	0,98	2,74	0,84	1,10	0,84	1,10
420	1,88	3,04	2,18	2,72	2,18	2,72	1,06	2,84	1,06	2,84	0,92	1,20	0,92	1,20
600	2,24	3,42	2,50	3,04	2,50	3,04	1,26	3,08	1,26	3,08	1,1	1,34	1,1	1,34
0	1,08	2,36	1,18	1,72	1,18	1,72	0,68	2,48	0,68	2,48	0,6	0,74	0,6	0,74
E1	62,79	40,91	61,36	58,70	61,36	58,70	135,00	51,92	135,00	51,92	142,11	122,73	142,11	122,73
E2	112,50	115,24	115,24	127,70	115,24	127,70	225,00	189,00	225,00	189,00	248,68	262,50	248,68	262,50
E2/E1	1,79	2,82	1,88	2,18	1,88	2,18	1,67	3,64	1,67	3,64	1,75	2,14	1,75	2,14

Bilag II

Resultatoppsummering falloddsmålinger

Målinger på nedre bærelag/avretting frest asfalt Ak

Punkt	Kraft [kN]	0,0		20,0		30,0		45,0		60,0		90,0		120,0		D0/(D0-D20)
		Def.(1), µm	Def.(2), µm	Def.(3), µm	Def.(4), µm	Def.(5), µm	Def.(6), µm	Def.(7), µm	D90	D0-D20						
Profil 1 (nord)	51,0	828,7	406,1	136,8	60,7	50,8	50,5	40,9	50,5	422,6	2,0					
	50,8	672,2	347,9	149,3	100,7	83,0	55,9	42,3	55,9	324,3	2,1					
Profil 2	51,0	863,2	432,3	179,4	84,7	64,6	58,4	44,3	58,4	430,9	2,0					
	50,2	714,8	329,6	176,2	111,6	91,9	62,7	45,1	62,7	385,2	1,9					
Profil 3	51,4	787,1	382,7	193,7	129,0	106,8	79,3	59,9	79,3	404,4	1,9					
	50,6	808,9	437,8	192,6	117,4	82,6	72,9	62,1	72,9	371,1	2,2					
Profil 4	50,7	878,0	393,1	166,4	101,2	95,5	79,0	58,0	79,0	484,9	1,8					
	51,5	1012,2	518,6	189,3	116,1	107,9	92,6	77,1	92,6	493,6	2,1					
Profil 5	51,5	1027,4	403,0	202,1	133,9	116,0	92,3	71,8	92,3	624,4	1,6					
	49,8	896,1	406,9	162,5	143,4	127,7	98,3	80,6	98,3	489,2	1,8					
Profil 6	50,7	1000,8	344,0	153,7	116,0	98,9	80,7	64,5	80,7	656,8	1,5					
(søt)	49,9	855,2	384,9	126,2	93,6	92,5	84,6	70,5	84,6	470,3	1,8					

Målinger på forsterkningslag av kult 22/63

Punkt	Kraft[kN]	0,0		20,0		30,0		45,0		60,0		90,0		120,0		D0/(D0-D20)
		Def.(1), µm	Def.(2), µm	Def.(3), µm	Def.(4), µm	Def.(5), µm	Def.(6), µm	Def.(7), µm	D90	D0-D20						
Profil 4.1	51,5	965,8	506,2	105,1	82,2	77,4	55,9	54,3	55,9	459,6	2,1					
	50,5	561,2	318,8	128,8	94,9	63,9	54,3	37,9	54,3	242,4	2,3					
	50,2	950,8	528,9	207,5	150,3	79,1	65,8	58,2	65,8	421,9	2,3					
Profil 4.2	49,4	819,0	589,8	148,0	75,7	81,8	68,0	54,7	68,0	229,2	3,6					
	52,8	974,4	389,9	68,8	53,8	29,3	46,5	39,4	46,5	584,5	1,7					
	49,9	935,6	364,5	64,2	99,0	42,6	57,7	54,1	57,7	571,1	1,6					

Bilag III

Grafisk framstilling av resultater fra vals -
Antall overfarter og CMV for hele området

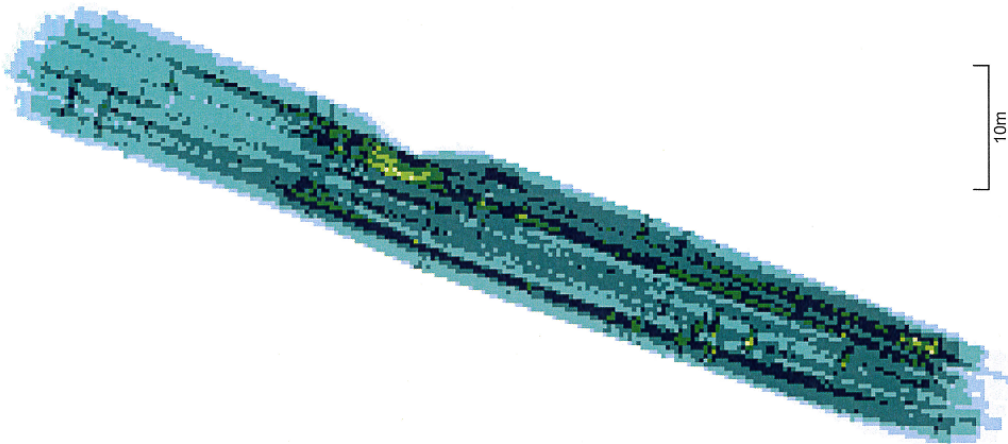
Pass Count Report

Data Model: Default data model
 Display: Pass Count
 Site: Tiller
 Date: 12. juli 2012

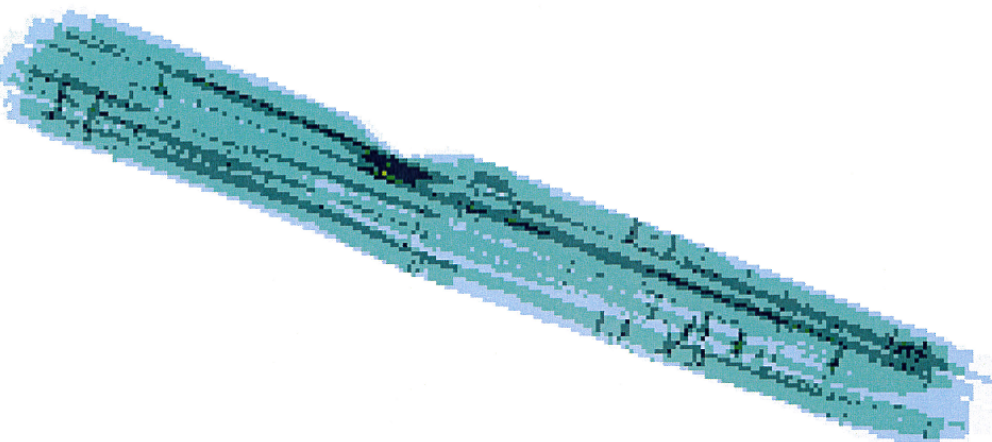
Pass Count Analysis

> 20	(0%)
18 - 20	(0%)
16 - 18	(0%)
14 - 16	(0%)
12 - 14	(1%)
10 - 12	(4%)
8 - 10	(16%)
6 - 8	(35%)
4 - 6	(32%)
2 - 4	(8%)
1 - 2	(5%)
Pass Target - 8	

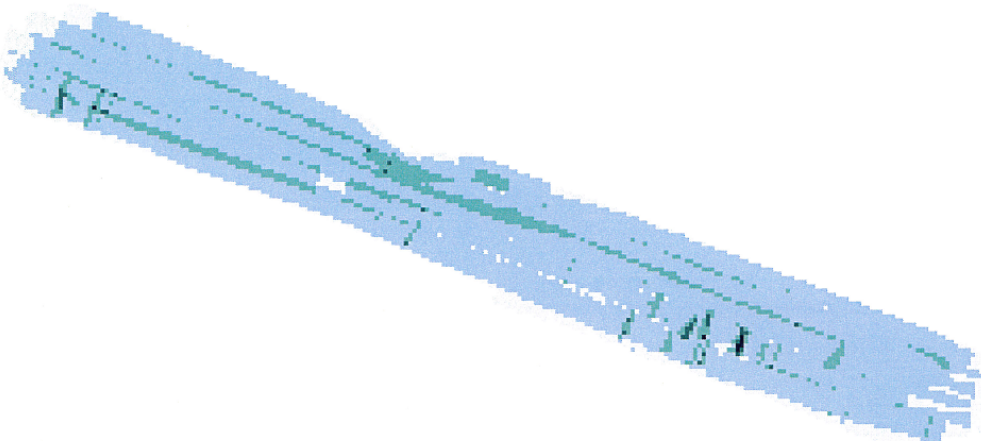
Seks overfarter



Fire overfarter



To overfarter



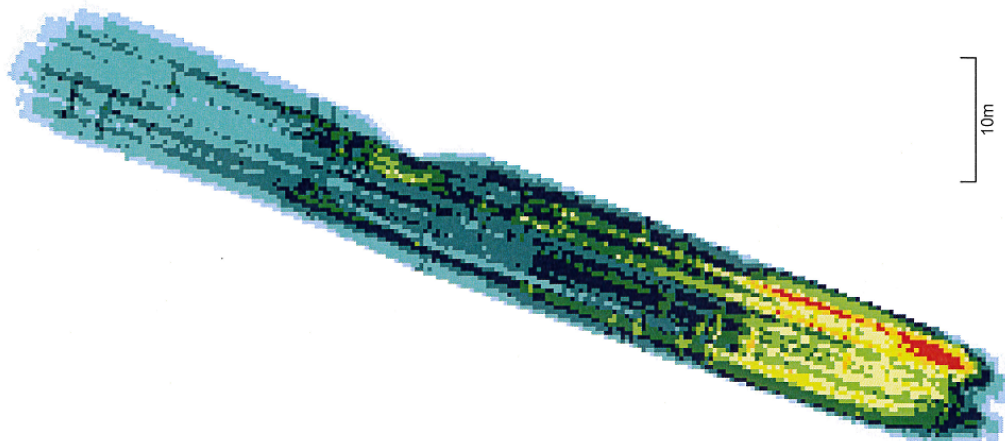
Pass Count Report

Data Model: Default data model
 Display: Pass Count
 Site: Tiller
 Date: 12. juli 2012

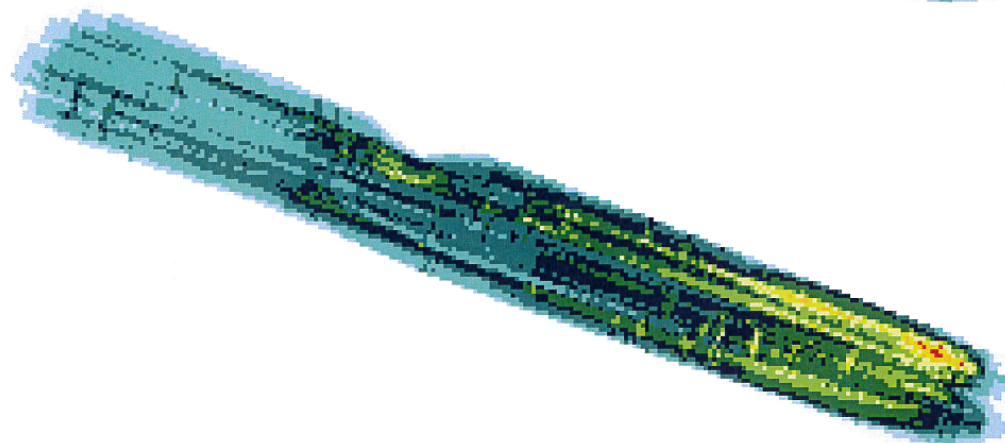
Pass Count Analysis

> 20	(1%)
18 - 20	(1%)
16 - 18	(3%)
14 - 16	(5%)
12 - 14	(7%)
10 - 12	(11%)
8 - 10	(17%)
6 - 8	(21%)
4 - 6	(23%)
2 - 4	(7%)
1 - 2	(4%)
Pass Target - 8	

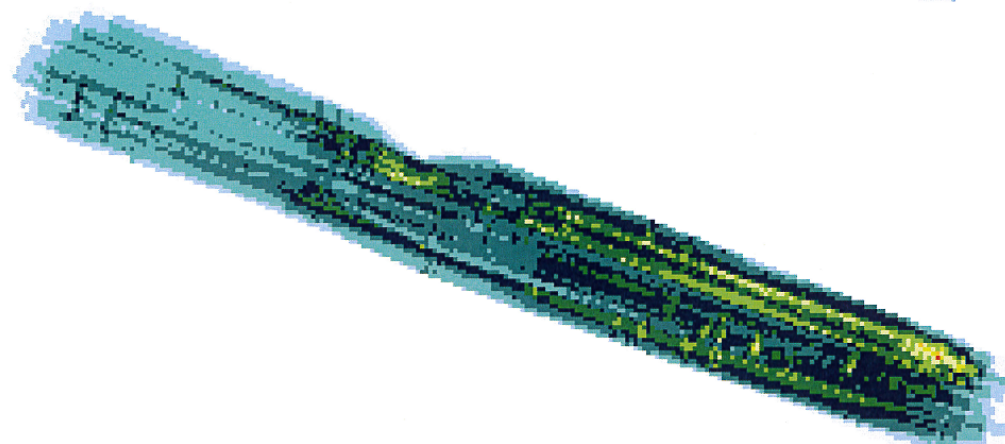
Tolv overfarter



Ti overfarter



Åtte overfarter



Compaction Report

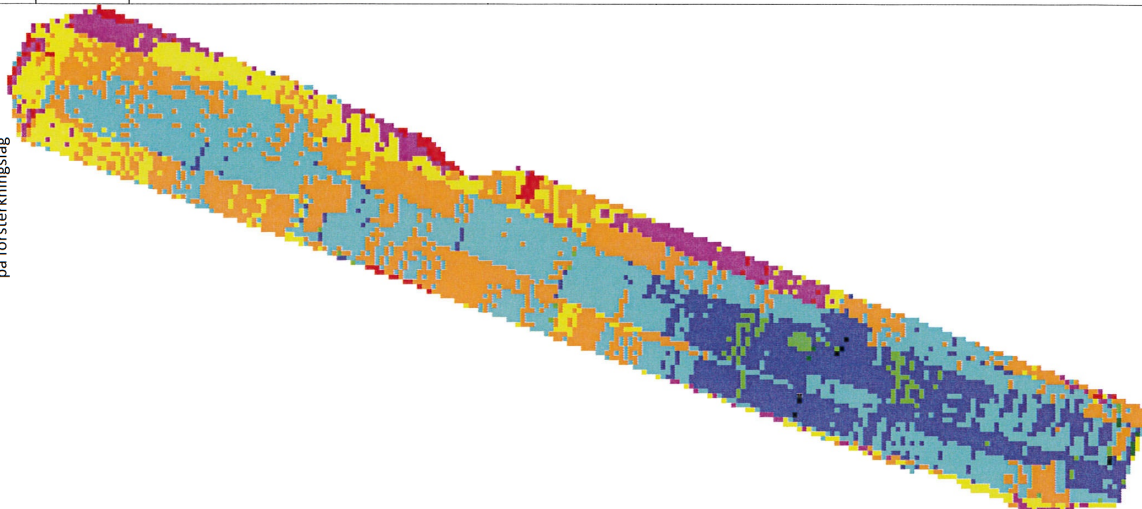
Data Model: Default data model
Display: CMV
Site: Tiller
Date: 12. juli 2012

Compaction Analysis

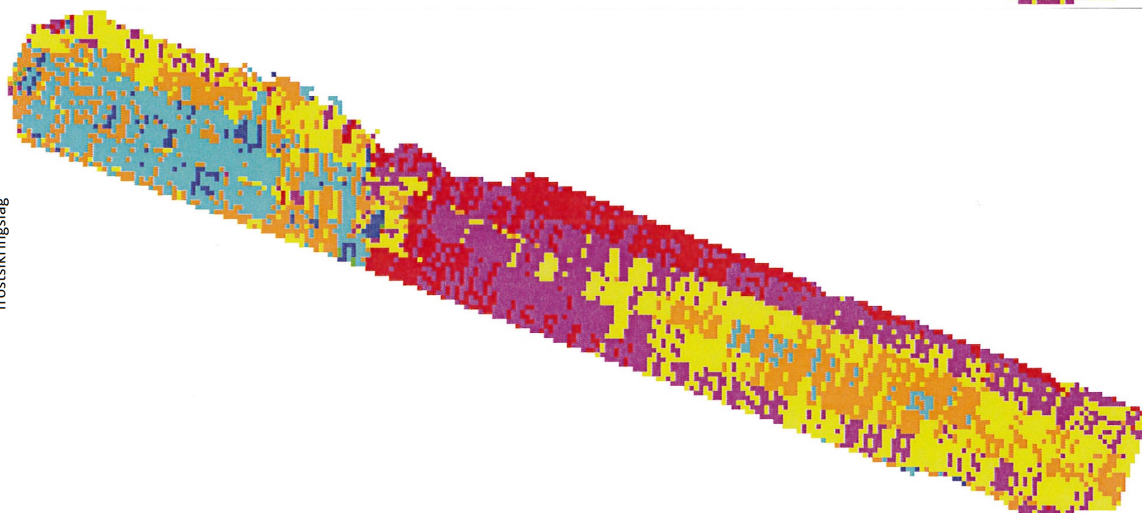
> 90,0	(0%)
80,0 - 90,0	(0%)
70,0 - 80,0	(1%)
60,0 - 70,0	(19%)
50,0 - 60,0	(36%)
40,0 - 50,0	(25%)
30,0 - 40,0	(11%)
20,0 - 30,0	(6%)
0,0 - 20,0	(1%)

10m

Etter valseprogram på forsterkningslag



Etter komprimering av frostsikringslag



Bilag IV

Grafisk framstilling av CMV-utvikling på felt med 12 overfarter

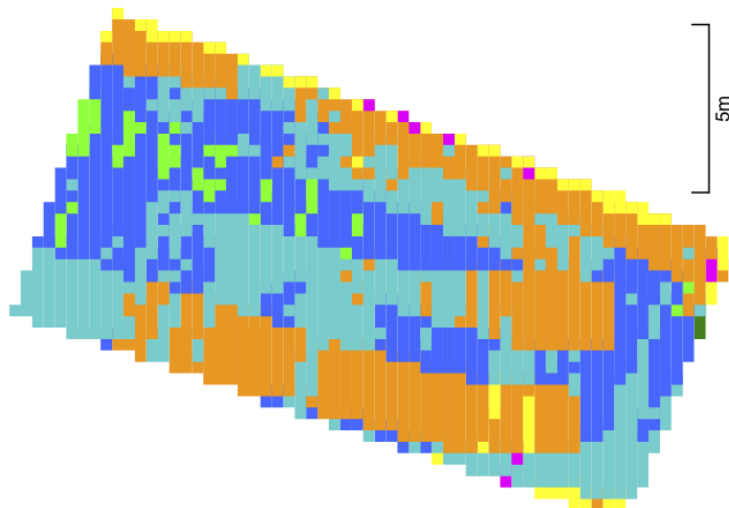
Compaction Report

Data Model: Default data model
 Display: CMV
 Site: Tiller
 Date: 12. juli 2012

Compaction Analysis

> 90,0	(0%)
80,0 - 90,0	(0%)
70,0 - 80,0	(3%)
60,0 - 70,0	(28%)
50,0 - 60,0	(32%)
40,0 - 50,0	(31%)
30,0 - 40,0	(4%)
20,0 - 30,0	(1%)
0,0 - 20,0	(0%)

Fire overfarer



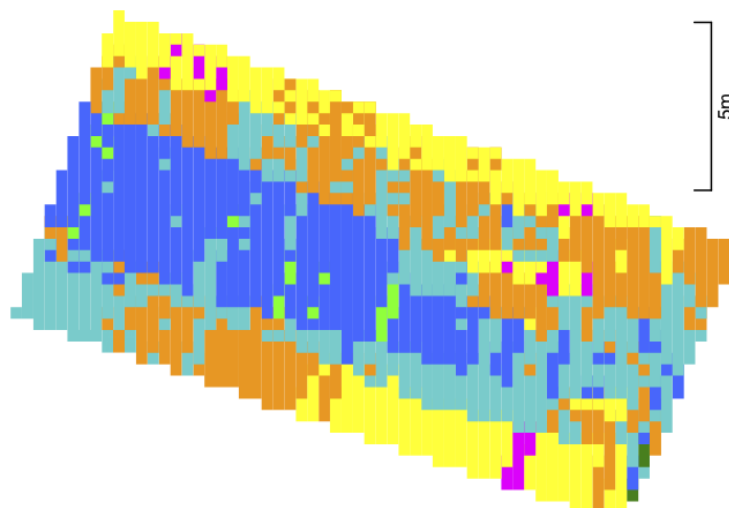
Compaction Report

Data Model: Default data model
 Display: CMV
 Site: Tiller
 Date: 12. juli 2012

Compaction Analysis

> 90,0	(0%)
80,0 - 90,0	(0%)
70,0 - 80,0	(1%)
60,0 - 70,0	(25%)
50,0 - 60,0	(26%)
40,0 - 50,0	(26%)
30,0 - 40,0	(20%)
20,0 - 30,0	(2%)
0,0 - 20,0	(0%)

To overfarer



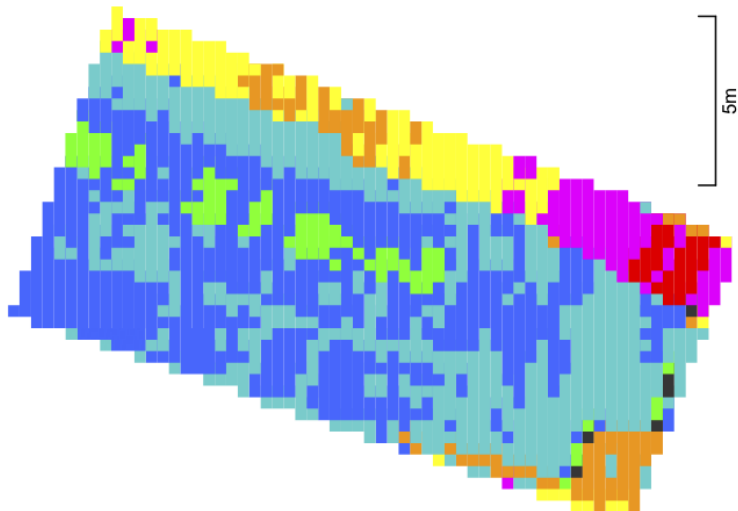
Compaction Report

Data Model: Default data model
Display: CMV
Site: Tiller
Date: 12. juli 2012

Compaction Analysis

> 90,0	(0%)
80,0 - 90,0	(0%)
70,0 - 80,0	(5%)
60,0 - 70,0	(38%)
50,0 - 60,0	(34%)
40,0 - 50,0	(6%)
30,0 - 40,0	(9%)
20,0 - 30,0	(5%)
0,0 - 20,0	(2%)

Åtte overfarter



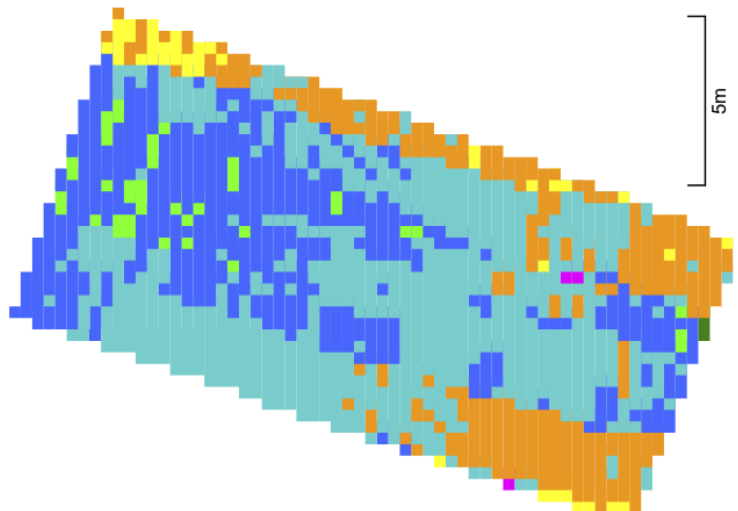
Compaction Report

Data Model: Default data model
Display: CMV
Site: Tiller
Date: 12. juli 2012

Compaction Analysis

> 90,0	(0%)
80,0 - 90,0	(0%)
70,0 - 80,0	(3%)
60,0 - 70,0	(31%)
50,0 - 60,0	(45%)
40,0 - 50,0	(19%)
30,0 - 40,0	(3%)
20,0 - 30,0	(0%)
0,0 - 20,0	(0%)

Seks overfarter



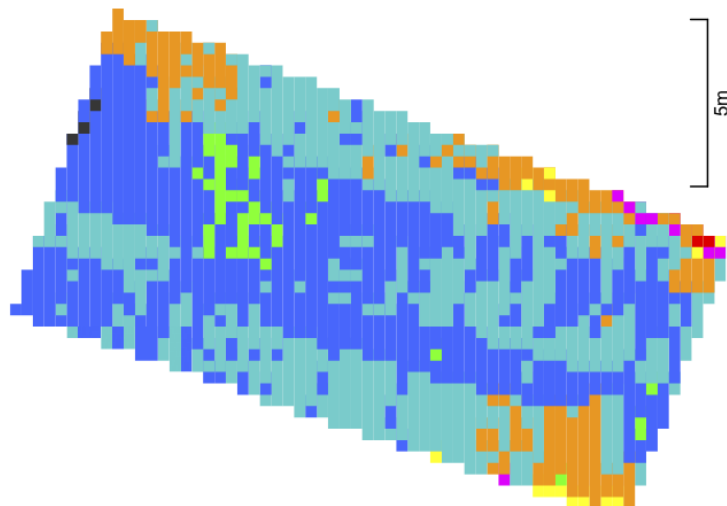
Compaction Report

Data Model: Default data model
 Display: CMV
 Site: Tiller
 Date: 12. juli 2012

Compaction Analysis

> 90,0	(0%)
80,0 - 90,0	(0%)
70,0 - 80,0	(3%)
60,0 - 70,0	(44%)
50,0 - 60,0	(41%)
40,0 - 50,0	(11%)
30,0 - 40,0	(1%)
20,0 - 30,0	(1%)
0,0 - 20,0	(0%)

Tolv overfarter



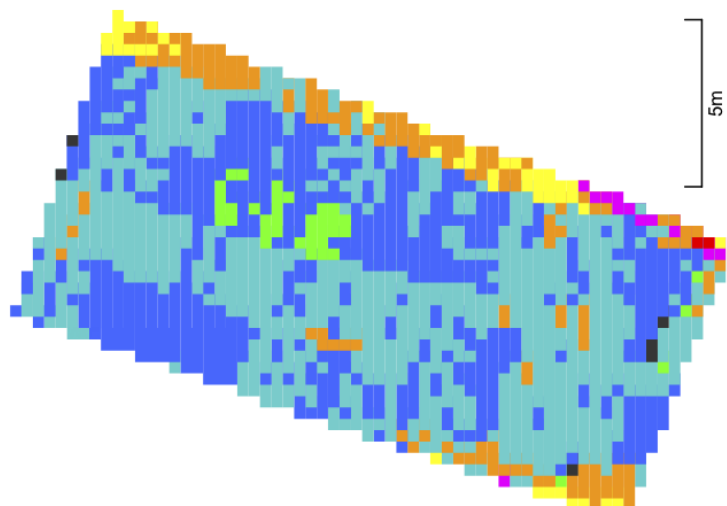
Compaction Report

Data Model: Default data model
 Display: CMV
 Site: Tiller
 Date: 12. juli 2012

Compaction Analysis

> 90,0	(0%)
80,0 - 90,0	(0%)
70,0 - 80,0	(2%)
60,0 - 70,0	(37%)
50,0 - 60,0	(47%)
40,0 - 50,0	(10%)
30,0 - 40,0	(3%)
20,0 - 30,0	(1%)
0,0 - 20,0	(0%)

Ti overfarter



Bilag V

Resultatoppsummering nivellement

Valsetest 1												
Setning målt i ti profiler med ti punkter hver.												
	Setning [mm]											
8800	Overfart 2	-0,014	-0,068	-0,022	-0,105	-0,021	-0,058	-0,026	-0,043	-0,027	-0,018	-0,010
	Overfart 4	-0,042	-0,034	-0,051	-0,017	0,002	-0,005	-0,026	-0,017	-0,022	-0,010	-0,018
	Overfart 6	0,006	-0,015	0,008	-0,025	-0,023	-0,025	-0,009	-0,018	-0,004	-0,018	-0,008
	Overfart 8	-0,029	-0,003	-0,027	-0,011	0,001	-0,010	-0,005	-0,008	-0,011	-0,008	-0,054
	Total setning	-0,079	-0,120	-0,092	-0,158	-0,041	-0,098	-0,066	-0,086	-0,064	-0,054	-0,027
8810	Overfart 2	-0,09	-0,021	-0,032	-0,024	-0,021	-0,032	-0,042	-0,065	-0,035	-0,027	-0,065
	Overfart 4	-0,006	-0,039	-0,03	-0,026	0	-0,01	-0,023	-0,025	-0,024	-0,065	-0,006
	Overfart 6	-0,01	-0,015	0,001	-0,01	-0,006	-0,026	-0,014	-0,008	-0,015	-0,006	-0,015
	Overfart 8	-0,045	-0,034	-0,003	-0,008	-0,009	0,002	-0,01	-0,003	-0,013	-0,015	-0,113
	Total setning	-0,151	-0,109	-0,064	-0,068	-0,036	-0,066	-0,089	-0,101	-0,087	-0,113	-0,05
8820	Overfart 2	-0,031	-0,032	-0,02	-0,005	-0,005	-0,007	-0,022	-0,056	-0,03	-0,05	-0,033
	Overfart 4	-0,024	-0,029	-0,032	-0,019	-0,014	-0,022	-0,02	-0,033	-0,027	-0,033	-0,025
	Overfart 6	-0,012	-0,009	-0,016	-0,007	-0,001	-0,003	-0,012	-0,009	-0,028	-0,025	-0,025
	Overfart 8	0,001	-0,019	-0,008	-0,022	-0,005	-0,006	-0,004	-0,004	-0,02	-0,02	-0,128
	Total setning	-0,066	-0,089	-0,076	-0,053	-0,025	-0,038	-0,058	-0,102	-0,105	-0,128	-0,056
8830	Overfart 2	-0,033	-0,017	-0,01	-0,008	-0,015	-0,027	-0,004	-0,045	-0,036	-0,056	-0,028
	Overfart 4	-0,022	-0,02	-0,016	-0,025	0	-0,016	-0,027	-0,024	-0,025	-0,028	-0,034
	Overfart 6	-0,007	-0,008	-0,025	-0,011	-0,006	-0,009	-0,01	-0,015	-0,011	-0,034	-0,004
	Overfart 8	-0,03	-0,017	-0,02	-0,002	-0,007	-0,005	-0,002	-0,012	-0,018	-0,004	-0,122
	Total setning	-0,092	-0,062	-0,071	-0,046	-0,028	-0,057	-0,043	-0,096	-0,09	-0,122	-0,099
8840	Overfart 2	-0,042	-0,028	-0,041	-0,019	-0,019	-0,006	-0,026	-0,053	-0,028	-0,099	-0,006
	Overfart 4	-0,032	-0,033	-0,033	-0,024	-0,024	-0,02	-0,02	-0,024	-0,016	-0,006	-0,022
	Overfart 6	-0,016	-0,017	-0,017	-0,011	-0,011	-0,007	-0,004	-0,006	-0,018	-0,022	-0,004
	Overfart 8	-0,005	0,007	-0,004	-0,012	-0,012	-0,004	-0,008	-0,006	-0,014	0,004	-0,123
	Total setning	-0,095	-0,071	-0,095	-0,066	-0,066	-0,037	-0,058	-0,089	-0,076	-0,123	-0,099

Valsetest 1												
Setning målt i ti profiler med ti punkter hver.												
	Setning [mm]											
8855	Overfart 2	-0,045	-0,032	-0,027	-0,022	-0,002	-0,016	-0,028	-0,035	-0,041	-0,067	
	Overfart 4	-0,02	-0,027	-0,027	-0,02	-0,008	-0,021	-0,013	-0,028	-0,032	-0,033	
	Overfart 6	-0,018	-0,011	-0,013	-0,01	-0,009	-0,003	-0,023	-0,006	-0,024	-0,03	
	Overfart 8	-0,024	-0,026	-0,009	-0,008	-0,006	-0,006	-0,002	-0,015	-0,01	-0,007	
	Total setning	-0,107	-0,099	-0,076	-0,06	-0,025	-0,046	-0,066	-0,084	-0,107	-0,137	
8865	Overfart 2	-0,024	-0,043	-0,023	-0,02	-0,022	-0,017	-0,017	-0,024	-0,011	-0,043	
	Overfart 4	-0,025	-0,027	-0,029	-0,022	-0,009	-0,02	-0,018	-0,027	-0,031	-0,036	
	Overfart 6	-0,013	-0,014	-0,017	-0,01	-0,017	-0,002	-0,008	-0,006	0,011	-0,007	
	Overfart 8	-0,004	-0,009	-0,012	-0,013	-0,012	-0,011	-0,011	-0,01	-0,031	-0,023	
	Total setning	-0,066	-0,093	-0,081	-0,065	-0,06	-0,05	-0,054	-0,067	-0,062	-0,109	
8875	Overfart 2	-0,048	-0,027	-0,027	-0,006	-0,031	-0,016	-0,032	-0,032	-0,023	-0,009	
	Overfart 4	-0,02	-0,012	-0,012	-0,02	-0,015	-0,013	-0,005	-0,005	-0,019	-0,021	
	Overfart 6	-0,011	-0,022	-0,022	-0,012	-0,014	-0,016	-0,029	-0,029	-0,007	-0,013	
	Overfart 8	-0,02	-0,001	-0,001	0,002	-0,001	0,003	0,001	0,001	-0,002	-0,008	
	Total setning	-0,099	-0,062	-0,062	-0,036	-0,061	-0,042	-0,065	-0,065	-0,051	-0,051	
8885	Overfart 2	-0,052	-0,038	-0,035	-0,026	-0,024	-0,019	-0,001	-0,034	-0,034	-0,039	
	Overfart 4	-0,026	-0,035	-0,025	-0,027	-0,004	-0,019	-0,016	-0,025	-0,025	-0,047	
	Overfart 6	0,005	-0,025	-0,011	-0,016	-0,016	-0,012	-0,019	-0,016	-0,016	-0,017	
	Overfart 8	-0,05	-0,002	-0,011	-0,007	-0,007	-0,006	-0,01	-0,005	-0,005	-0,001	
	Total setning	-0,123	-0,1	-0,082	-0,076	-0,051	-0,056	-0,046	-0,08	-0,08	-0,104	
8895	Overfart 2	-0,015	-0,044	-0,032	-0,024	-0,032	0	-0,032	-0,003	-0,022	-0,004	
	Overfart 4	0,008	-0,023	-0,02	-0,006	-0,016	-0,026	-0,02	-0,028	-0,014	-0,023	
	Overfart 6	-0,011	-0,012	-0,019	-0,023	-0,015	-0,016	-0,02	-0,009	-0,022	-0,018	
	Overfart 8	-0,096	-0,055	-0,031	-0,052	-0,056	-0,043	-0,026	-0,02	-0,154		
	Total setning	-0,114	-0,134	-0,102	-0,105	-0,119	-0,085	-0,098	-0,06	-0,212	-0,045	

Valsetest 2 Nivellement						
Setning målt i fem profiler med fem punkter hver.						
		Setning [mm]				
9055	Overfart 2	-0,007	-0,012	0,005	-0,013	-0,009
	Overfart 4	-0,005	-0,005	-0,011	-0,009	-0,021
	Overfart 6	-0,006	-0,007	-0,007	-0,006	0,004
	Overfart 8	-0,005	-0,005	0,002	-0,004	-0,011
	Total setning	-0,023	-0,029	-0,011	-0,032	-0,037
9065	Overfart 2	0,003	-0,023	-0,016	-0,014	-0,011
	Overfart 4	-0,009	-0,010	0,000	-0,008	-0,009
	Overfart 6	-0,012	-0,005	-0,011	-0,008	-0,012
	Overfart 8	0,000	-0,005	-0,008	-0,010	-0,011
	Total setning	-0,018	-0,043	-0,035	-0,040	-0,043
9075	Overfart 2	-0,051	-0,028	0,001	-0,039	-0,002
	Overfart 4	-0,001	-0,019	-0,008	-0,016	-0,013
	Overfart 6	-0,009	-0,007	0,000	-0,007	-0,011
	Overfart 8	0,002	-0,012	-0,004	-0,008	-0,005
	Total setning	-0,059	-0,066	-0,011	-0,070	-0,031
9085	Overfart 2	-0,056	-0,023	-0,018	-0,030	-0,030
	Overfart 4	-0,018	-0,016	-0,003	-0,015	-0,021
	Overfart 6	-0,003	-0,004	-0,015	-0,006	-0,004
	Overfart 8	-0,004	-0,004	-0,003	-0,002	-0,004
	Total setning	-0,081	-0,047	-0,039	-0,053	-0,059
9095	Overfart 2	-0,013	-0,009	-0,028	-0,051	-0,033
	Overfart 4	-0,018	-0,017	-0,040	-0,014	-0,012
	Overfart 6	-0,008	-0,010	-0,007	-0,007	-0,009
	Overfart 8	-0,011	-0,008	-0,007	-0,006	-0,001
	Total setning	-0,050	-0,044	-0,082	-0,078	-0,055

Vedlegg

Innholdsfortegnelse

Vedlegg A	Oppgavetekst	A-1
Vedlegg B	Resultater fra platebelastning	B-1
	Resultater fra platebelastning på forsøksfelt kult E6 Tiller 01. juni 2012	B-2
	Resultater fra platebelastning på frest asfalt E6 Tiller 07. juni 2012	B-14
	Resultater fra platebelastning på grus Fv663 Elnesvågen 07. juni 2012	B-22
Vedlegg C	Måledata fra falloddsmålinger	C-1
	Resultater fra seks falloddsmålinger på frest asfalt 24. mai 2012	C-2
	Resultater fra seks falloddsmålinger på forsøksfelt med kult 30. mai 2012	C-5
Vedlegg D	Utskrifter fra vals med enkel responsmåler	D-1
	Responsmålinger på kult 22/250 18. april 2012 (valsetest 1)	D-2
	Responsmålinger på kult 22/250 25. april 2012 (valsetest 2)	D-3
Vedlegg E	Program for fabrikkbesøk hos Dynapac 5. juni 2012	E-1

Vedlegg A

Oppgavetekst

MASTEROPPGAVE

(TBA4940 Veg, masteroppgave)

VÅREN 2012
for
Marit Fladvad

Continuous Compaction Control – Kontinuerlig komprimeringskontroll

BAKGRUNN

Riktig og homogen komprimering er avgjørende for at granulære materialer i bære- og forsterkningslag skal få tilsiktede egenskaper i den ferdige vegkonstruksjonen.

Moderne valsetog kan instrumenteres slik at responsen fra underlaget registreres kontinuerlig under komprimering. I tillegg kan valsetoget utstyres med GPS for å stedfeste komprimeringsarbeidet. Data fra denne registreringen er til stor hjelp for valseføringen for å utføre en best mulig komprimeringsjobb og kan i tillegg benyttes til å vurdere og dokumentere det utførte komprimeringsarbeidet.

OPPGAVE

Litteraturredel

- Viktighet av god komprimering av granulære lag.
- Gjennom litteratursøk skaffe oversikt over utstyr som finnes og hvordan dette kan brukes til hjelp i komprimeringsarbeidet.
- Skaffe oversikt og ulike forsøk som er gjennomført med bruk av valsemontert responsmåler og GPS i komprimeringsarbeid.
- Finne frem til beskrivelser på hvordan valsemontert responsmåler og GPS kan brukes i kvalitetskontroll og dokumentasjonsverktøy
 - Kontroll på antall overfarer
 - Kontroll på stivhet/kompaktering
- Krav og kontrollmetoder som brukes i dag. Påpeke evt. uklarheter og mangler.

Teoridel

- Forskjell på CCC og Intelligent CC
- Definisjon av CMV-verdi, amplitude, frekvens.
- Muligheter for justering av amplitude og frekvens.
- Hva blir målt. Måledybde, komprimeringsdybde
- Kalibrering



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Institutt for bygg, anlegg og transport

Page 2 of 4 pages

Feltforsøk

- Rapportere fra komprimeringsarbeider på E6, Tonstad i Trondheim kommune
- Beskrivelse av utstyr, instrumentering og forsøksopplegg.
- Erfaringer med bruk.
- Korrelasjon mellom valsemontert responsmåler og nivellement, platebelastning (og fallodd.)

Vurderings-/anbefalingsdel

- Tanker/anbefalinger i forhold til hvordan slikt utstyr kan brukes i Norge.
- Nytte for valsefører, entreprenør, effektiviseringsgevinst, dokumentasjon
- Behov for kurs og opplæring.
- Hva bør inngå i komprimeringsveiledning.

GENERELT

Opgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidingen og selvstendighet i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødige voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- forord
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- innholdsfortegnelse inklusive oversikt over figurer, tabeller og vedlegg
- om nødvendig en liste med beskrivelse av viktige betegnelser og forkortelser benyttet
- hovedteksten
- referanser til kildemateriale som ikke er av generell karakter, dette gjelder også for muntlig informasjon og opplysninger.
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.
- besvarelsen skal ha komplett paginering (sidenummerering).

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel. Arbeidet leveres da også med rapportforside og tittelside og om nødvendig med vedlegg som dokumenterer arbeid utført i prosessen med utforming av artikkelen.

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport». Finnes på <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ eksternt samarbeidspartner.

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og eksternt samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Institutt for bygg, anlegg og transport

Page 4 of 4 pages

det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.

Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursionsjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>.

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Innleveringsfrist:

Arbeidet med oppgaven starter 16. januar 2012

Etter innvilget søknad om utsettelse, skal besvarelsen leveres senest ved registrering i DAIM innen 16. juli 2012 kl 1500.

Faglærer ved instituttet: Inge Hoff

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: Jostein Aksnes, Statens Vegvesen

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 01.06.2012

Underskrift

Inge Hoff (sign)

Faglærer

Vedlegg B

Skjema fra platebelastningsmålinger

STATENS VEGVESEN	PLATEBELASTNING	Dato utført: 1-6-12
Blankett nr. 468		Sign.: O.H.R.
Fylke: S.T.	Veg nr.:	PKT. 2/1
Sted:	Km/Profil nr.:	
Parsell:	Oppdragsnr.:	

m/GIPS

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,04
50	0,16
180	2,88
300	3,36
420	7,70
600	10,14
0	9,26
50	9,50
180	9,82
300	10,02
420	10,26
600	10,80
0	9,92

Platediameter D 0,30 m
 Lag
 Værforhold SKYET OPPHOLD
 Temperatur 8 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

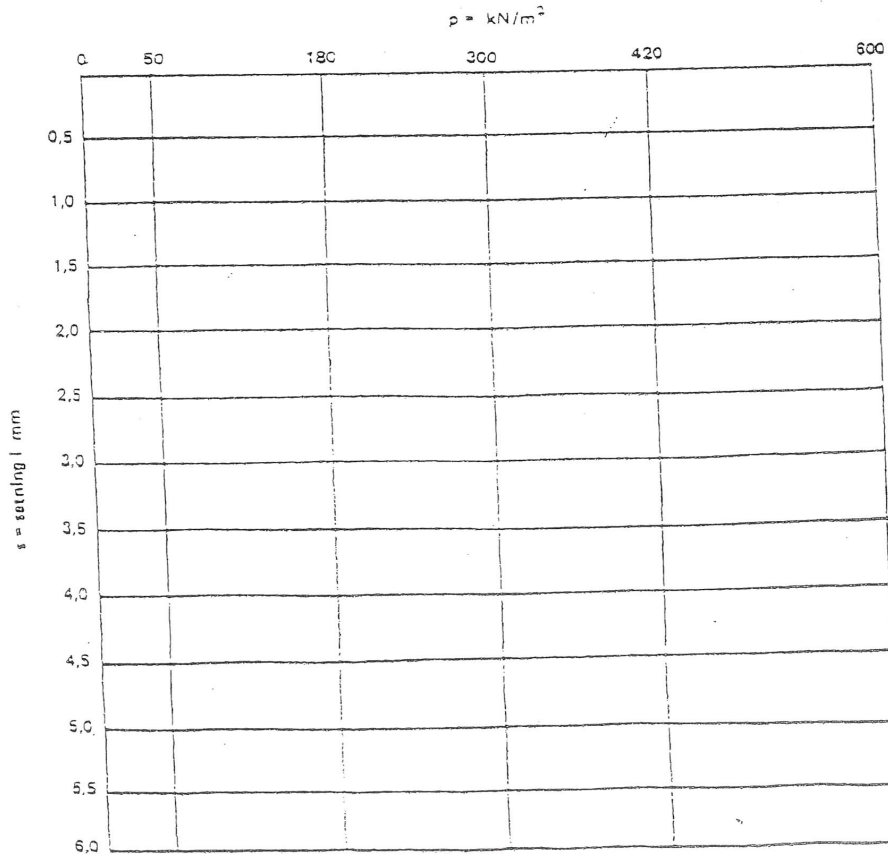
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevnelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{4,82} \times 0,30 = 11,2 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,98} \times 0,30 = 96,4 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = 8,60$$



3/79

STATENS VEGVESEN
Blankett nr. 468

PLATEBELASTNING

Date utført: 1-6-72
Sign.: O.H.R.

Fylke: Vag nr.: PKT. 2/2 m/sawa
Sred: Km/Profil nr.:
Parsell: Oppdragsnr.:

UTEN GIPS

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,14
50	0,18
180	1,50
300	2,40
420	3,20
600	4,18
0	3,50
50	3,70
180	3,90
300	4,14
420	4,28
600	4,58
0	3,82

Platediameter D 0,30 m
Lag
Værforhold SKYET OPPHOLD
Temperatur 8 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

For å få E-verdier i MN/m² brukes følgende benevnelser:

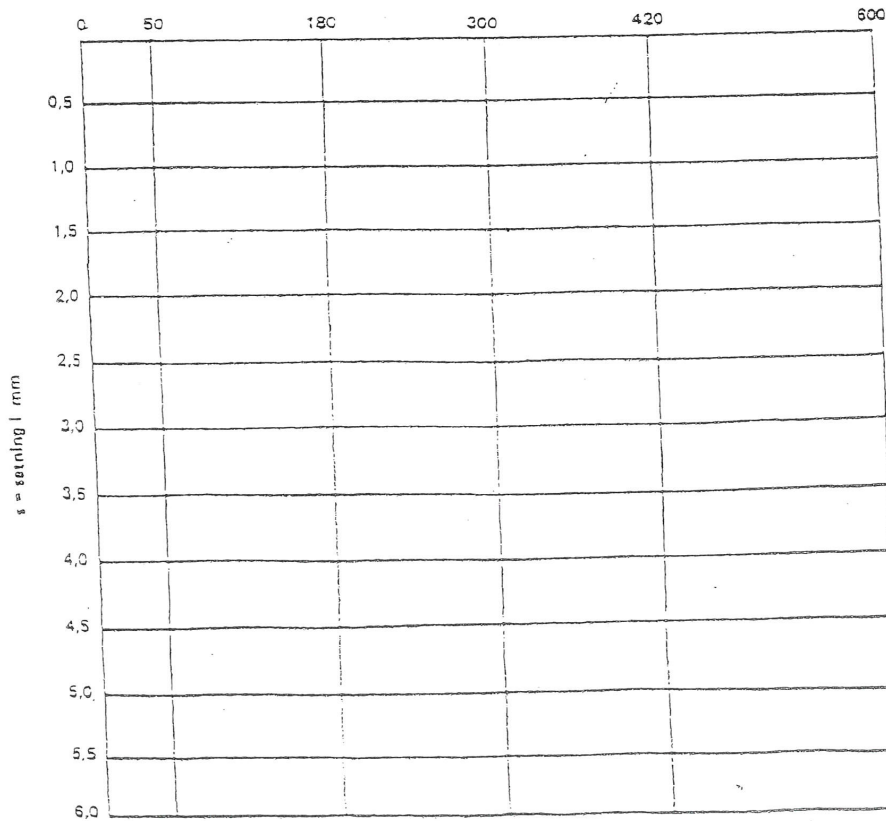
- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{1,70} \times 0,30 = 31,7 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,62} \times 0,30 = 152,4 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{m}{m_1} = 4,80$$

p = kN/m²



3/79

Kontinuerlig komprimeringskontroll

STATENS VEGVESEN PLATEBELASTNING Date utført: 1-6-12
 Blankett nr. 468 Sign.: Off. K.

Fylla SuT Veg nr. 72/2 Uten sand
 Sted Km/Profil nr. 72/2 Uten sand
 Parsell Oppdragsnr.

Platediameter D 0,30 m
 Lag SKYET OPPHOLD
 Værfornhold 8
 Temperatur 8 °C

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,74
50	0,32
180	1,92
300	2,76
420	3,38
600	4,30
0	3,48
50	3,68
180	3,94
300	4,14
420	4,28
600	4,58
0	3,70

$$E = \frac{3}{4} \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

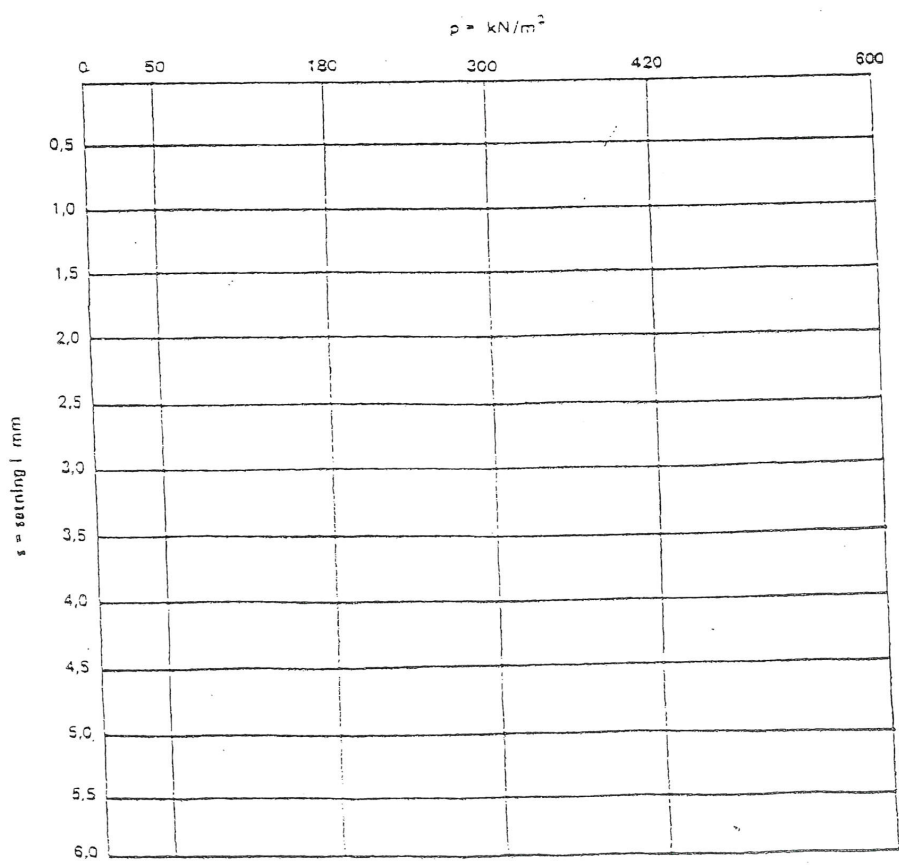
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benavnelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = \frac{3}{4} \frac{240}{1,46} \times 0,30 = 36,9 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = \frac{3}{4} \frac{420}{0,64} \times 0,30 = 147,6 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{E_2}{E_1} = 4,0$$



3/79

STATENS VEGVESEN PLATEBELASTNING Dato utført: L6-R
Sign.: O.H.R.

Blankett nr. 468 Veg nr.: PKT 4/1

Fylke: S.T. Km/Profil nr.:

Sted: Oppdragsnr.:

Parsell:

Platediameter D: 0,30 m

Lag: SPKEDT REGN

Værforhold: +8

Temperatur: +8 °C

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,02
50	0,14
180	0,88
300	1,52
420	2,10
600	2,98
0	2,28
50	2,42
180	2,68
300	2,84
420	2,98
600	3,26
0	2,56

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

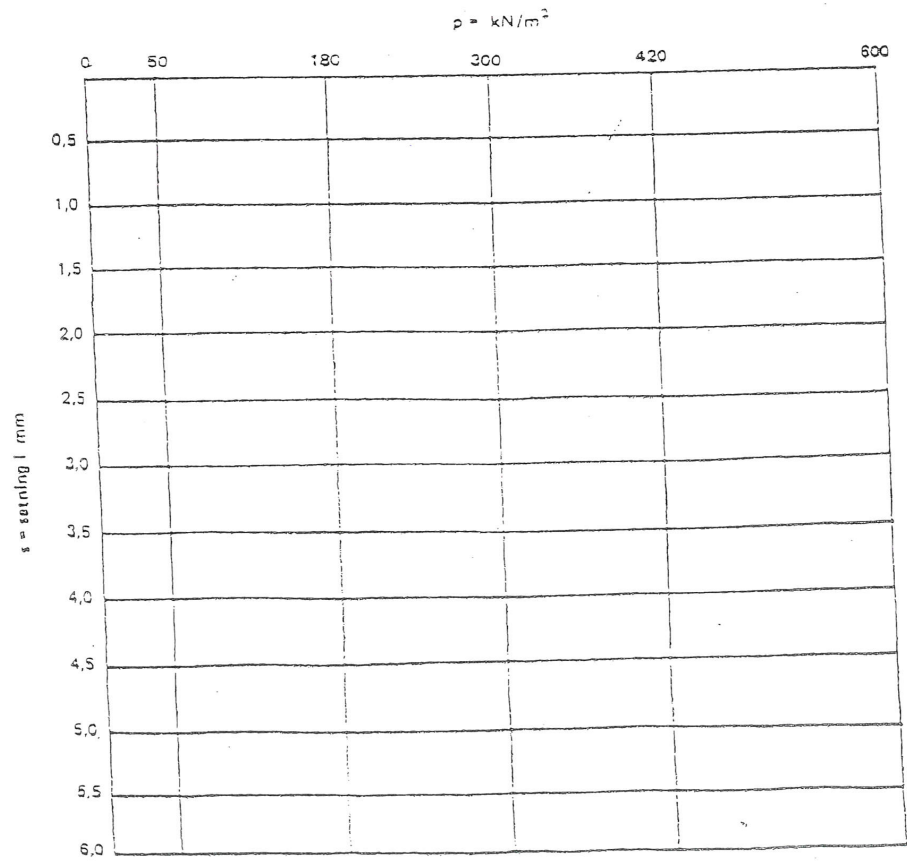
For å få E-verdian i MN/m² brukes følgende benevnelsar:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{1,22} \times 0,30 = 44,2 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,58} \times 0,30 = 162,9 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{m_2}{m_1} = 3,68$$



3/79

STATENS VEGVESEN
 Blankett nr. 468
 PLATEBELASTNING
 Date utført: L. G. R.
 Sign.: O. H. R.

Fylke: Veg nr.:
 Sted: Km/Profil nr.: PKT 4/2
 Parsell: Oppdragsnr.:

Platediameter $D = 0,30$ m
 Lag:
 Værfornhold: SPRETT REGN.
 Temperatur: +8 °C

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,24
50	0,28
180	2,16
300	3,00
420	3,66
600	4,52
0	3,80
50	3,96
180	4,22
300	4,38
420	4,52
600	4,86
0	4,12

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

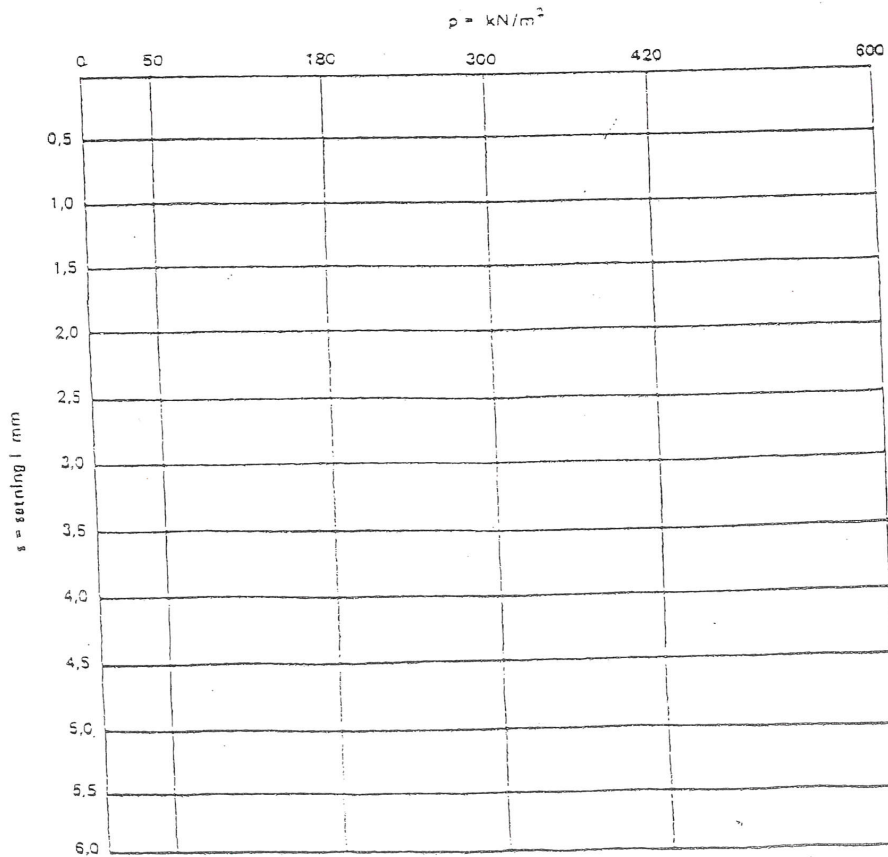
For å få E-verdier i MN/m² brukes følgende benavnelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{1,50} \times 0,30 = 36,0 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,64} \times 0,30 = 147,6 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{E_2}{E_1} = 4,1$$



3/79

STATENS VEGVESEN
Blankett nr. 468

PLATEBELASTNING

Date utført: 1-6-12
Sign.: O.H.R.

Fylke: _____ Væg nr.: PKT 4/3
Sted: _____ Km/Profil nr.: _____
Parsell: _____ Oppdragsnr.: _____

MED GIPS

Belastning p kN/m ²	Sætning s mm
0	0,06
50	0,18
180	0,82
300	1,26
420	1,68
600	2,20
0	1,54
50	1,68
180	1,86
300	2,04
420	2,20
600	2,46
0	1,76

Platediameter D 0,30 m
Lag _____
Værforhold SKYET OPPHOLD
Temperatur +8 °C

$$E = \frac{3}{4} \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benævnelse:

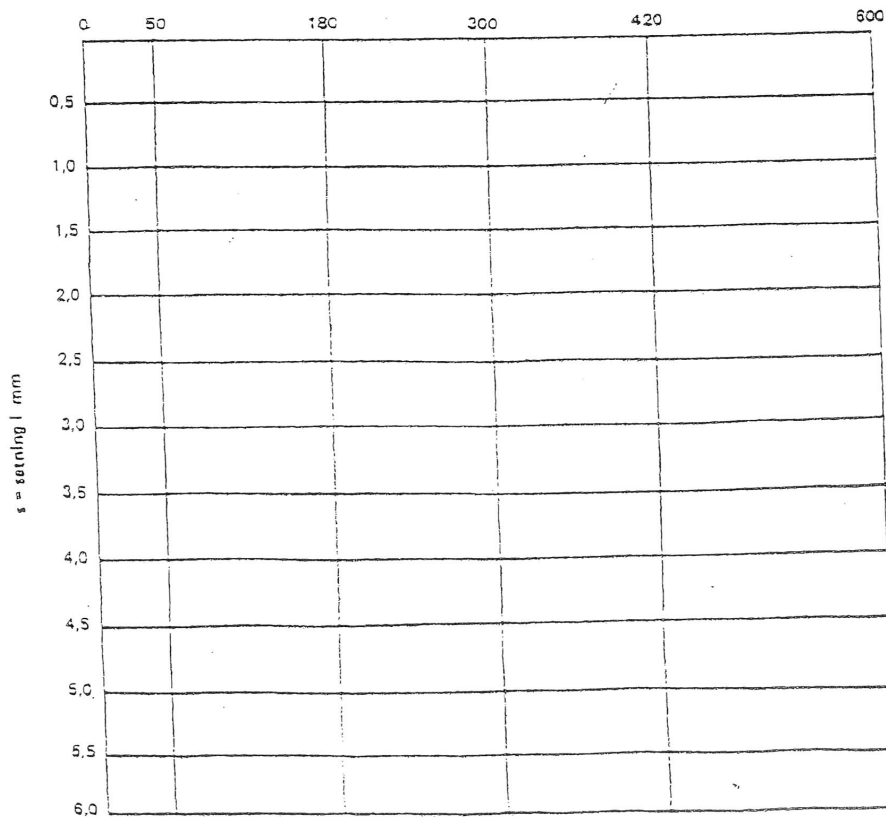
- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = sætning i mm

$$E_1 = \frac{3}{4} \frac{240}{0,86} \times 0,30 = 62,7 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = \frac{3}{4} \frac{420}{0,60} \times 0,30 = 157,5 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{m_2}{m_1} = 2,51$$

p = kN/m²



3/79

Kontinuerlig komprimeringskontroll

STATENS VEGVESEN	PLATEBELASTNING	Dato utført: <u>1-6-12</u>
Blankett nr. 468		Sign.: <u>O.H.R.</u>
Fylke: <u>SIT.</u>	Veg nr.:	<u>PKT 6/1</u>
Sted:	Km/Profil nr.:	
Parsell:	Oppdragsnr.:	

Platediameter D: 0,30 m
 Lag: SPRETT RE 6W
 Værforhold: + 8
 Temperatur: + 8 °C

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	<u>0,10</u>
50	<u>0,14</u>
180	<u>0,68</u>
300	<u>1,10</u>
420	<u>1,38</u>
600	<u>1,82</u>
0	<u>1,14</u>
50	<u>1,22</u>
180	<u>1,46</u>
300	<u>1,60</u>
420	<u>1,74</u>
600	<u>1,98</u>
0	<u>1,28</u>

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

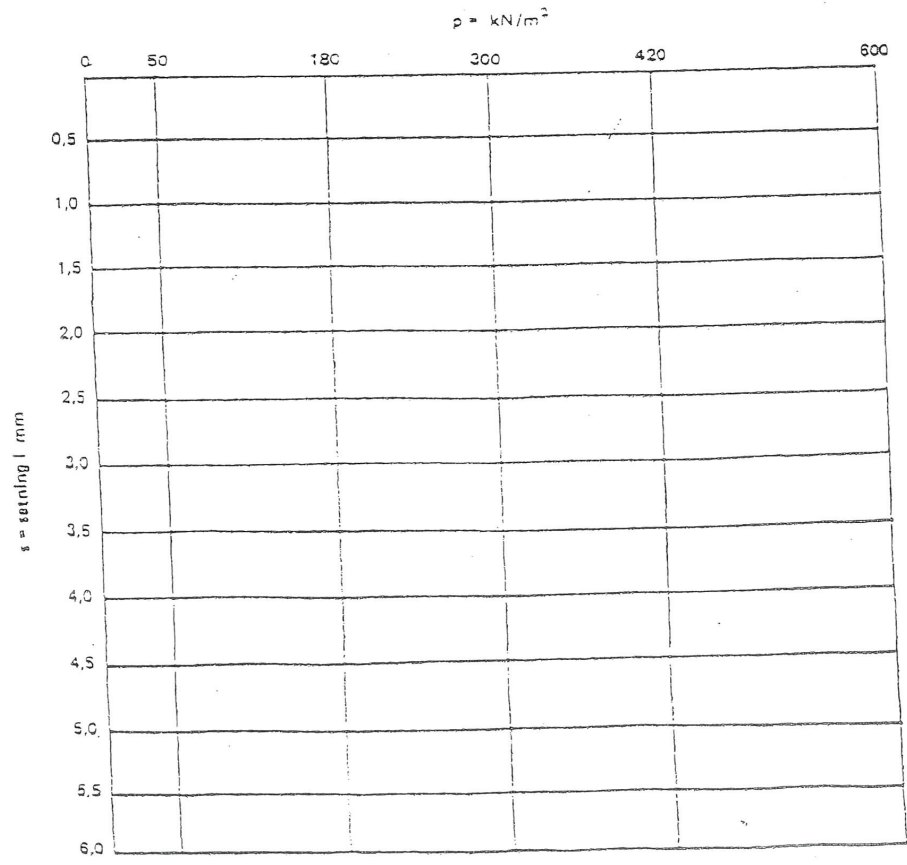
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benavnelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,70} \times 0,30 = 77,1 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,52} \times 0,30 = 181,7 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{m_2}{m_1} = 2,35$$



3/79

STATENS VEGVESEN
 Blankett nr. 468
 PLATEBELASTNING
 Date utført: 1-6-12
 Sign.: O.H.R.

Fylke: Vag nr.: PKT 6/2
 Sred: Km/Profil nr.:
 Parsell: Oppdragsnr.:

Platediameter D: 0,30 m
 Lag:
 Værforhold: SPREDT REGN
 Temperatur: 8 °C

Belastning p kN/m ²	Sætning s mm
0	0,16
50	0,18
180	1,00
300	1,50
420	1,96
600	2,50
0	1,74
50	1,86
180	2,14
300	2,30
420	2,44
600	2,72
0	1,98

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevnelser:

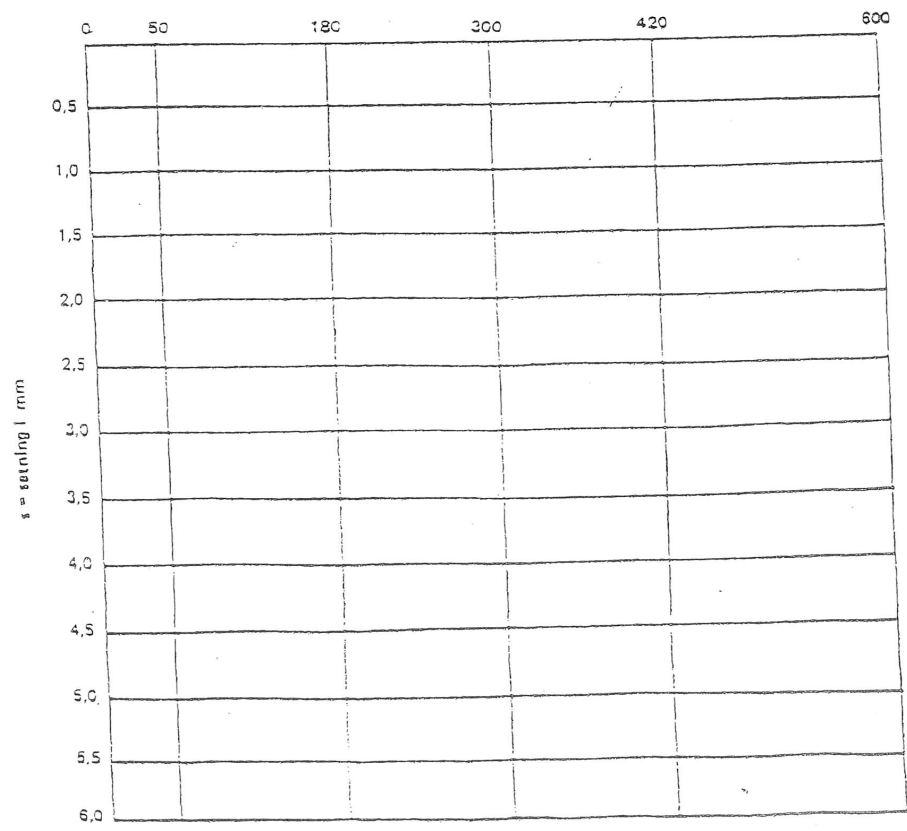
- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = sætning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,96} \times 0,30 = 56,2 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,58} \times 0,30 = 162,9 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{m_2}{m_1} = 2,89$$

p = kN/m²



3/79

STATENS VEGVESEN	PLATEBELASTNING	Date utført: <u>7-6-12</u>
Blankett nr. 468		Sign. <u>O.H.K.</u>
Fylke <u>SIT</u>		Veg nr. <u>PKT. 6/3</u>
Sted		Km/Profil nr.
Parsell		Oppdragsnr.

Platediameter D 0,30 m
 Lag
 Værfornhold SIKRET REGN
 Temperatur 8 °C

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	<u>0,08</u>
50	<u>0,12</u>
180	<u>0,62</u>
300	<u>0,92</u>
420	<u>1,18</u>
600	<u>1,56</u>
0	<u>0,90</u>
50	<u>1,04</u>
180	<u>1,24</u>
300	<u>1,36</u>
420	<u>1,48</u>
600	<u>1,66</u>
0	<u>1,04</u>

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

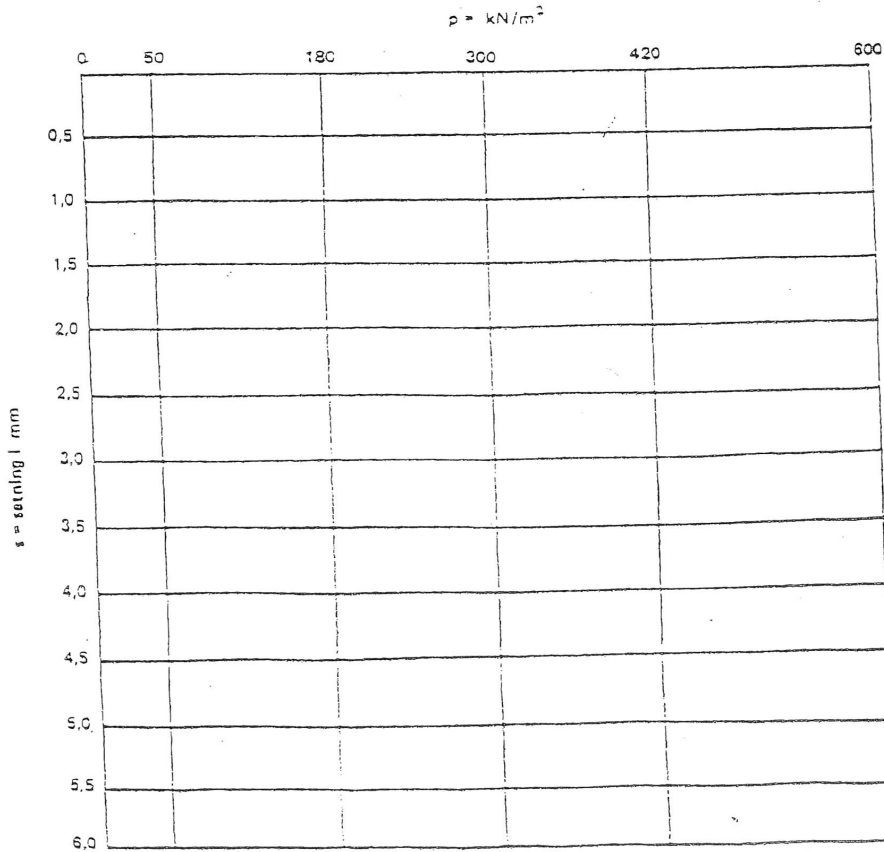
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevnelser:

- D = plattens diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,56} \times 0,30 = 96,4 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,42} \times 0,30 = 225 \text{ MN/m}^2$$

$$m_i = 2,33$$



3/79

STATENS VEGVESEN
 Blankett nr. 468
 Fylke: S.T.
 Sted: _____
 Parsell: _____

PLATEBELASTNING

Date utført: 1-6-12
 Sign.: O.H.R.

Veg nr.: _____
 Km/Profil nr.: PKF 8/1
 Oppdragsnr.: _____

Platediameter D 0,30 m
 Lag _____
 Værforhold SKYET OPPHOLD
 Temperatur 8 °C

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,06
50	0,08
180	0,52
300	0,84
420	1,08
600	1,44
0	0,86
50	0,96
180	1,16
300	1,28
420	1,40
600	1,60
0	1,00

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevelser:

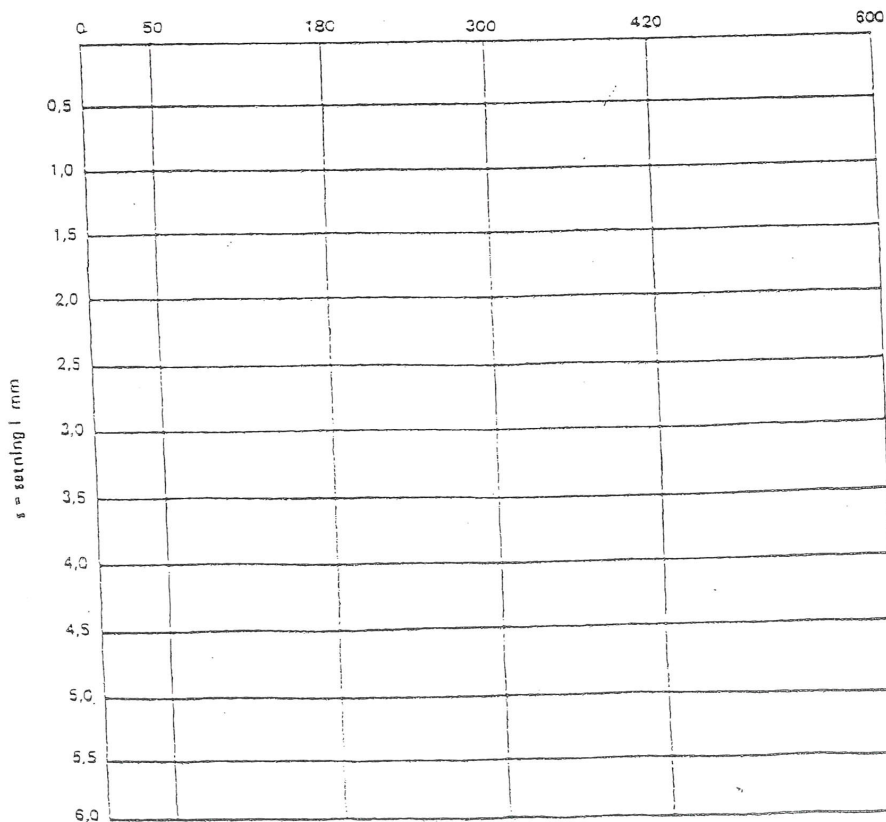
- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,56} \times 0,30 = 96,4 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,44} \times 0,30 = 214,7 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{m_2}{m_1} = 2,22$$

p = kN/m²



3/79

STATENS VEGVESEN	PLATEBELASTNING	Dato utført: <u>1-6-12</u>
Blankett nr. 468		Sign.: <u>O.H.R.</u>

Fylke: <u>S.T.</u>	Veg nr.: <u>PKT. 8/2</u>
Sted: _____	Km/Profil nr.: _____
Parsell: _____	Oppdragsnr.: _____

Platediameter D: 0,30 m
 Lag: _____
 Værforhold: SIKRETT REGN
 Temperatur: + 8 °C

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	<u>0,08</u>
50	<u>0,10</u>
180	<u>0,68</u>
300	<u>1,10</u>
420	<u>1,40</u>
600	<u>1,88</u>
0	<u>1,20</u>
50	<u>1,34</u>
180	<u>1,56</u>
300	<u>1,70</u>
420	<u>1,84</u>
600	<u>2,06</u>
0	<u>1,36</u>

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

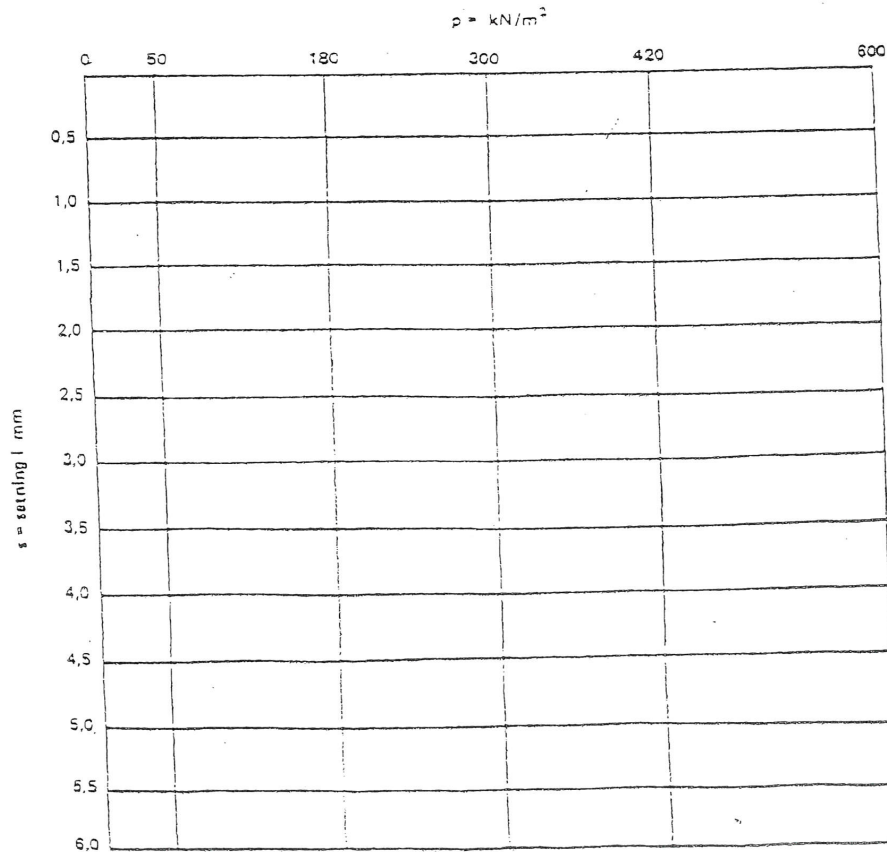
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benavnelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,72} \times 0,30 = 75 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,50} \times 0,30 = 189 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{m_2}{m_1} = 2,52$$



3/79

STATENS VEGVESEN	PLATEBELASTNING	Date utført: 1-6-12
Blankett nr. 468		Sign.: O.H.R.
Fylke: S.T.	Veg nr.:	
Sted:	Km/Profil nr. PKT 8/3	
Parsell:	Oppdragsnr.:	

Platediameter D 0,30 m
 Lag: SPRETT REGN
 Værforhold: 8
 Temperatur: 8 °C

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,10
50	0,12
180	0,18
300	0,24
420	0,28
600	0,36
0	0,60
50	0,24
180	0,32
300	1,06
420	1,16
600	1,36
0	0,76

$$E = \frac{3}{4} \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benavneiser:

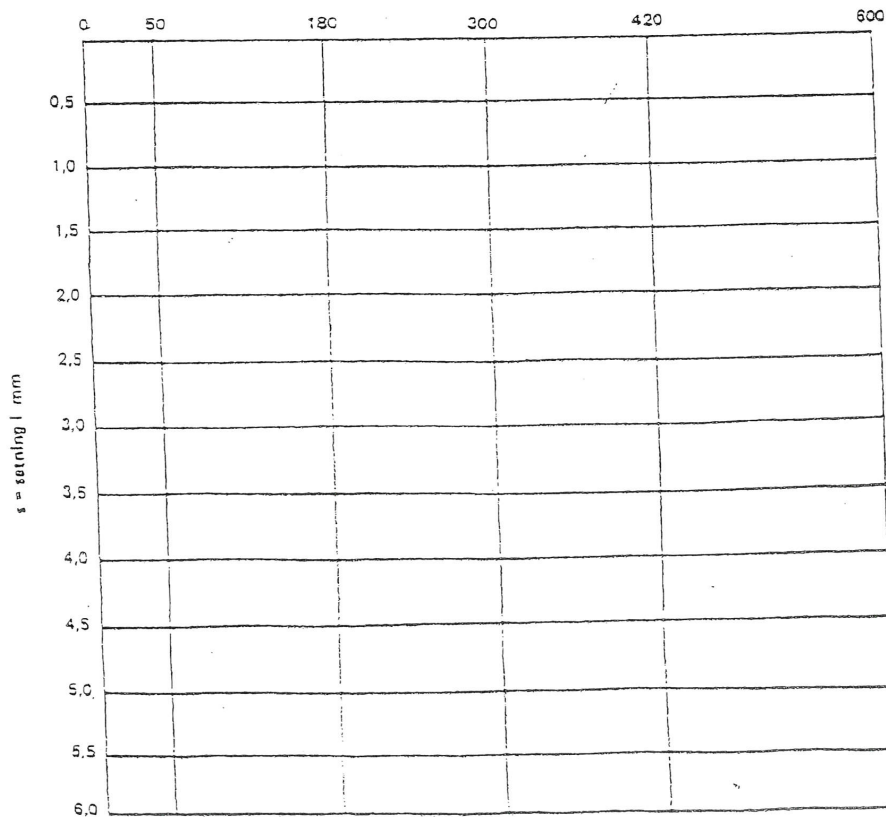
- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = \frac{3}{4} \frac{240}{0,50} \times 0,30 = 108 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = \frac{3}{4} \frac{420}{0,44} \times 0,30 = 214,7 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{E_2}{E_1} = 1,98$$

p = kN/m²



3/79

STATENS VEGVESEN	PLATEBELASTNING	Date utført: <u>7-6-2012</u>
Blankett nr. 462		Sign. <u>D.H.R.</u>
Fylke: <u>S.T.</u>		Veg nr.: <u>EV 006</u>
Sted: <u>SENTERVEGEN - TONSTAD</u>		Km/Profil nr.: <u>8780-V</u>
Parsell: <u>M/GIPS</u>		Oppdragsnr.:

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,02
50	0,06
180	0,62
300	1,08
420	1,48
600	2,02
0	0,88
50	1,02
180	1,40
300	1,66
420	1,88
600	2,24
0	1,08

Platediameter D 0,30 m
 Lag
 Værforhold PENT
 Temperatur 14 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

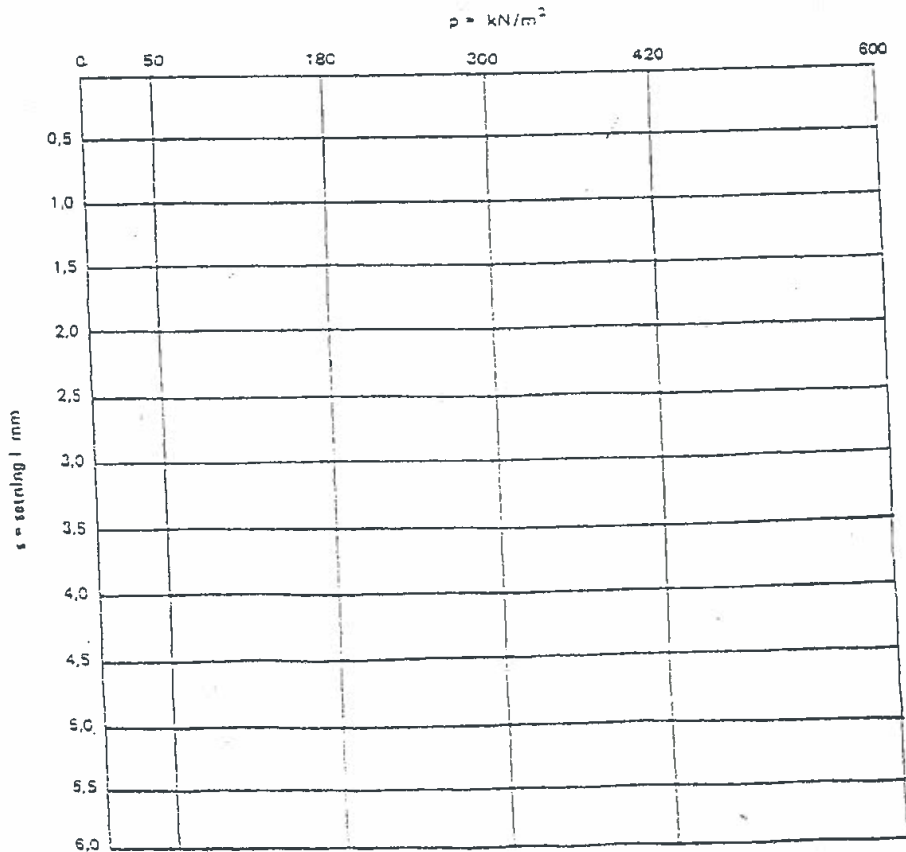
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,86} \times 0,30 = 62,7 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,84} \times 0,30 = 112,5 \text{ MN/m}^2$$

$$m \frac{E_1}{E_2} = 1,79$$



3/79

STATENS VEGVESEN	PLATEBELASTNING	Date utført: <u>7-6-2012</u>
Blankett nr. 468		Sign. <u>O.H.R.</u>
Fylke <u>S.T.</u>		Veg nr. <u>E1906</u>
Sted <u>JENTERVEGEN - TONSTAD</u>		Km/Profil nr. <u>8780 V</u>
Parcell		Oppdragsnr.

U/GIPS

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	<u>0,20</u>
50	<u>0,26</u>
180	<u>1,12</u>
300	<u>1,88</u>
420	<u>2,44</u>
600	<u>3,10</u>
0	<u>2,09</u>
50	<u>2,18</u>
180	<u>2,60</u>
300	<u>2,84</u>
420	<u>3,04</u>
600	<u>3,42</u>
0	<u>2,36</u>

Platediameter D 0,30 m
 Lag
 Værforhold PENT
 Temperatur 14 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

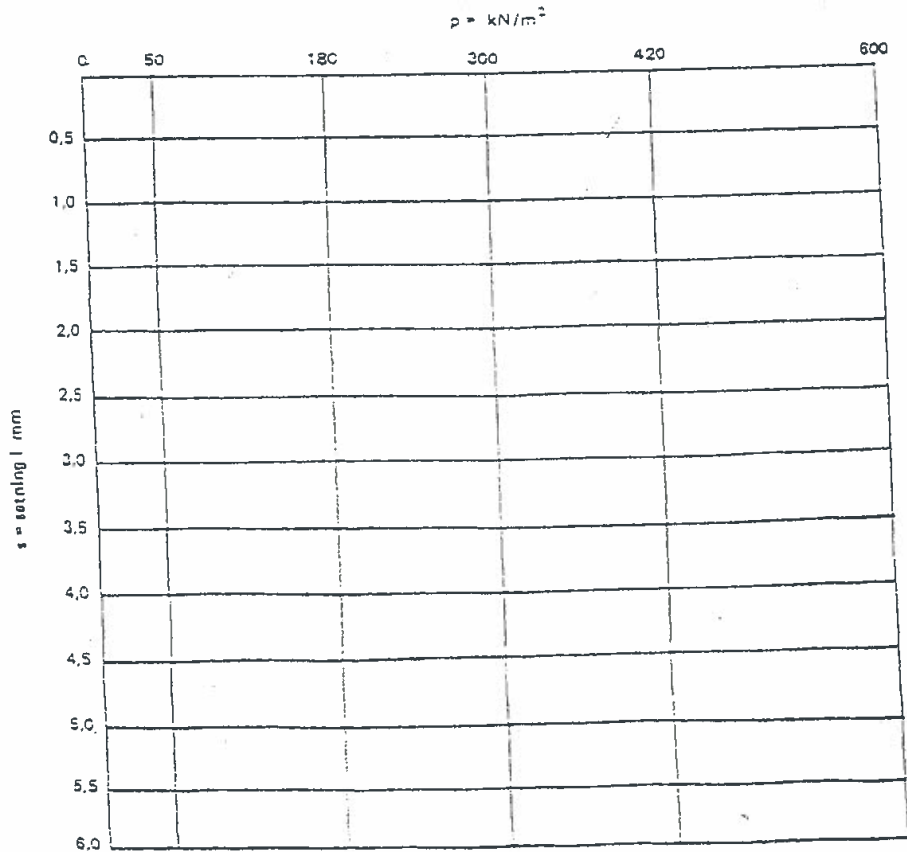
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{1,32} \times 0,30 = 40,9 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,82} \times 0,30 = 115,2 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{E_2}{E_1} = 2,81$$



3/79

STATENS VEGVESEN
Blankett nr. 468

PLATEBELASTNING

Date utført: 7-6-2012
Sign. O.H.R.

Fylke: S.T.
Sted: SENTER VEGGEN-TONSTAD.
Parsell: M/GIPS

Veg nr.: EV 006
Km/Profil nr.: 8780.4
Oppdragsnr.:

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,08
50	0,20
180	0,92
300	1,42
420	1,80
600	2,30
0	0,96
50	1,16
180	1,68
300	1,96
420	2,18
600	2,50
0	1,18

Platediameter D: 0,30 m
Lag:
Værforhold: PENT
Temperatur: 14 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevnelser:

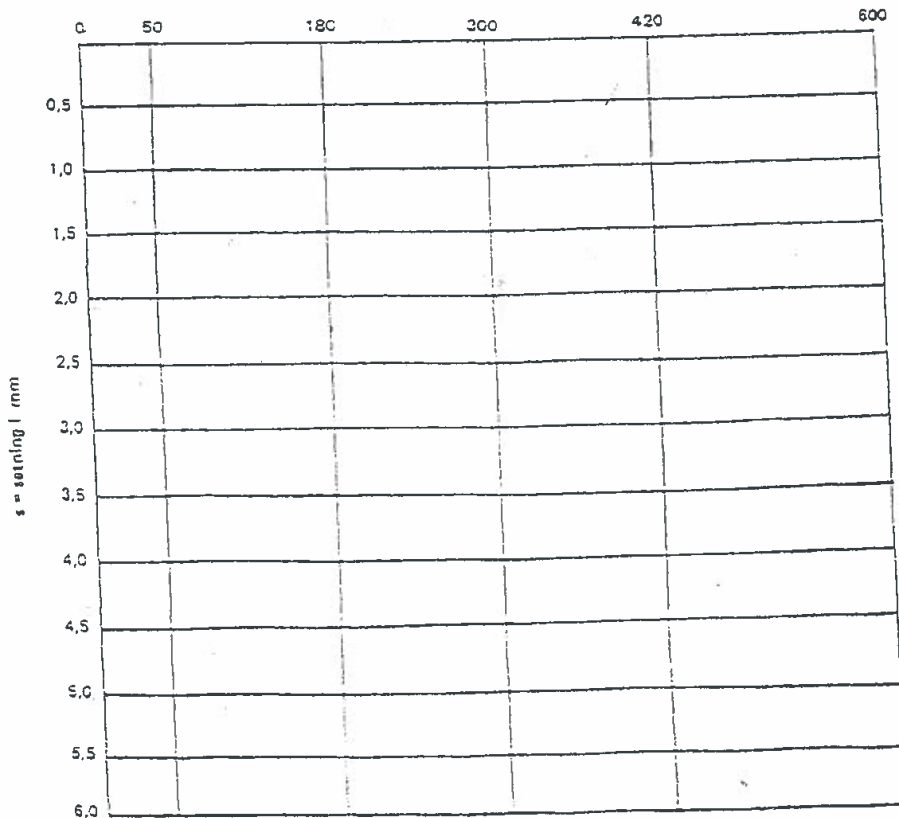
- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,88} \times 0,30 = 61,3 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,82} \times 0,30 = 115,2 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{m}{m} = 1,87$$

p = kN/m²



3/79

STATENS VEGVESEN
Blankett nr. 462

PLATEBELASTNING

Date utført: 7-6-2012
Sign. O.H.R.

Fylke: S.T.
Sted: SENTERVEGEN - TONSTAD
Parsell:

Veg nr.: EV 006
Km/Profil nr.: 8780-H
Oppdragsnr.:

U/GIPS

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,20
50	0,44
180	1,34
300	1,88
420	2,56
600	2,78
0	1,48
50	1,90
180	2,30
300	2,54
420	2,72
600	3,04
0	1,72

Platediameter D: 0,30 m
Lag:
Værforhold: Pent
Temperatur: 14 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevelser:

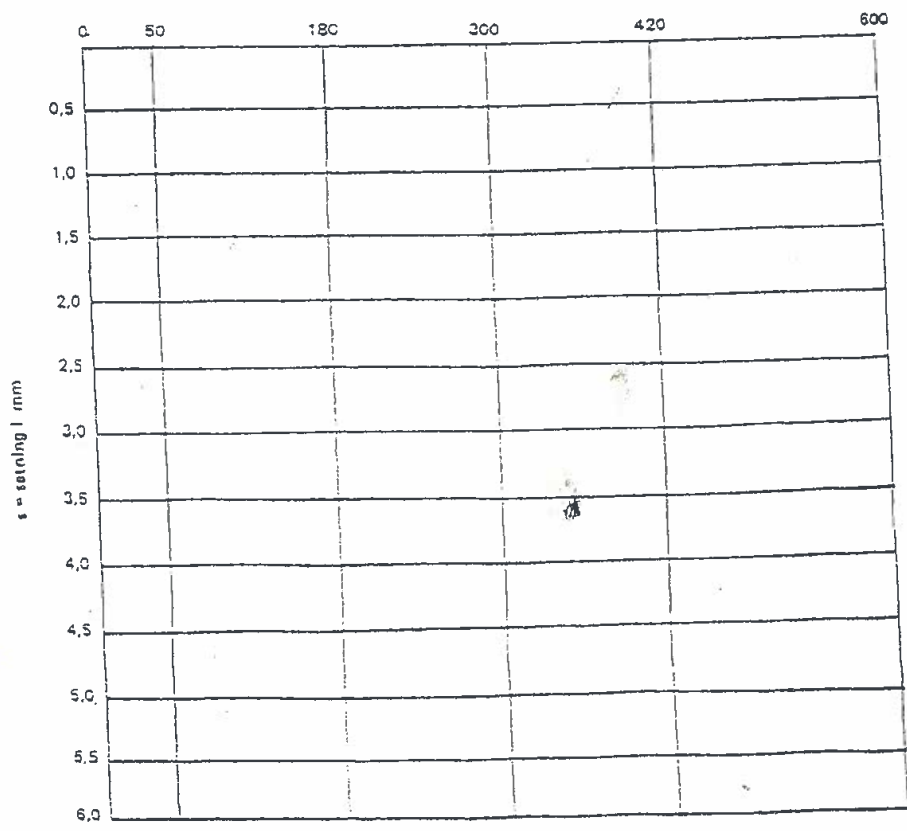
- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,92} \times 0,30 = 58,6 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,74} \times 0,30 = 127,7 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,17$$

p = kN/m²



3/79

STATENS VEGVESEN PLATEBELASTNING Date utført: 7-6-2012
 Blankett nr. 468 Sign. O.H.R.

Fylke: S.I.T. Veg nr. EV 006
 Sted: E6 SENTENVEGEN - TONSTAD Km/Profil nr. 8870 - V
 Parse: Oppdragsnr.

M/GIPS

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,04
50	0,10
180	0,46
300	0,88
420	0,86
600	1,16
0	0,58
50	0,66
180	0,84
300	0,98
420	1,06
600	1,26
0	0,68

Platediameter D 0,30 m
 Lag
 Værforhold SENT
 Temperatur 14 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

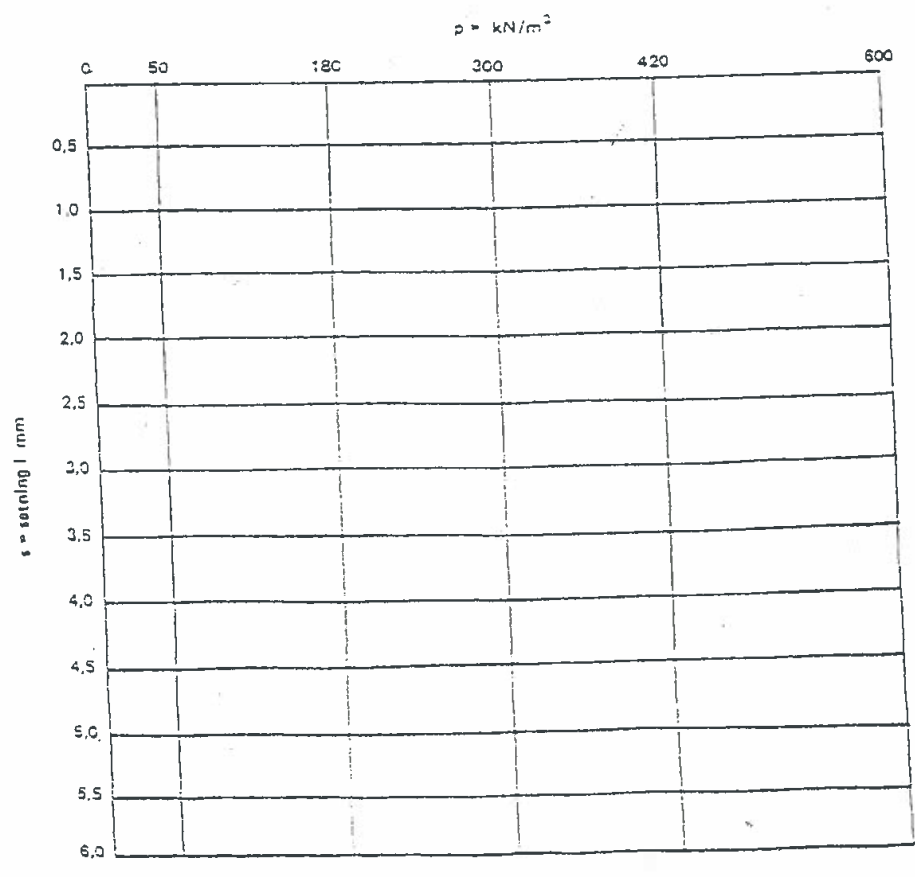
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevnelser:

- D = plattens diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,140} \times 0,30 = 135,0 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,42} \times 0,30 = 225,0 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{m}{m} = 1,66$$



3/79

STATENS VEGVESEN	PLATEBELASTNING	Date utført: 7-6-2012
Blankett nr. 468		Sign. O.H.R.
Fylke: S.T.		Veg nr. EV 006
Sted: SENTBRVEGEN - TØNSTAD		Km/Profil nr. 8870-V
Parsell:		Oppdragsnr.:

UTEN GIPS

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,24
50	0,32
180	1,26
300	1,82
420	2,30
600	2,86
0	2,26
50	2,36
180	2,58
300	2,74
420	2,84
600	3,08
0	2,48

Platediameter D 0,30 m
 Lag
 Værforhold PENT
 Temperatur 14 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

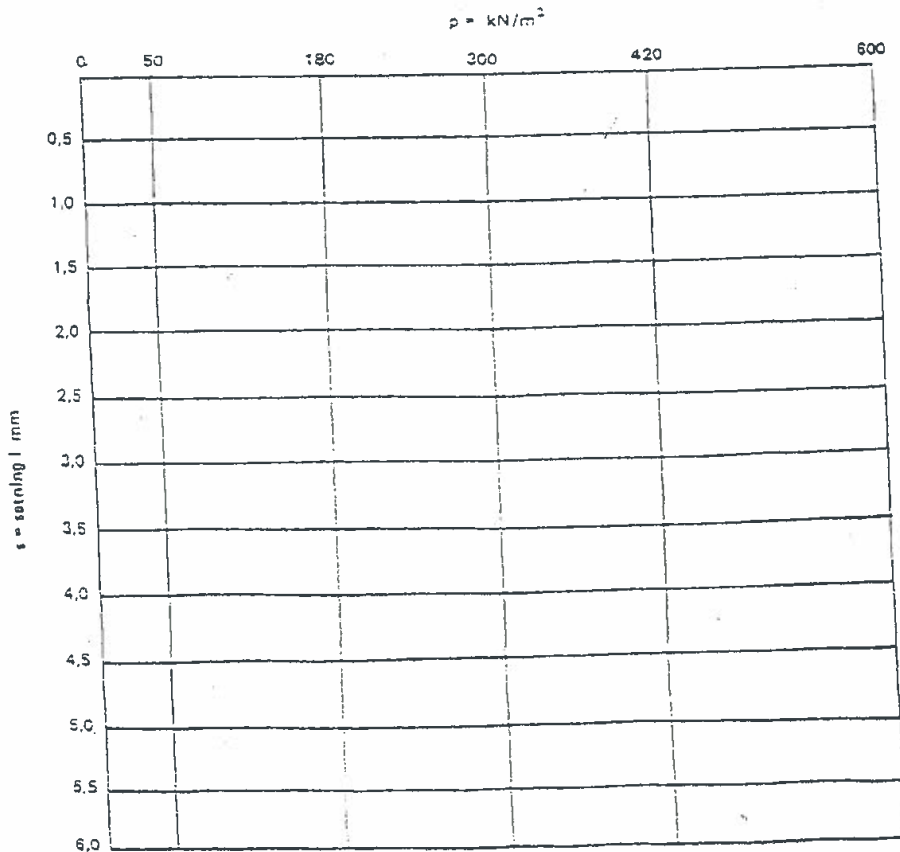
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{1,04} \times 0,30 = 51,9 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,50} \times 0,30 = 189 \text{ MN/m}^2$$

$$E_m = 3,64$$



3/79

STATENS VEGVESEN PLATEBELASTNING Dato utført: 7-6-2012
 Blankett nr. 468 Sign. O.H.R.

Fylke: S.T. Veg nr.: EV 006
 Sted: Km/Profil nr.: 8870-H
 Parsell: SENTERVEGEN - TOLSTAD Oppdragsnr.:

M/GIPS

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,04
50	0,10
180	0,42
300	0,84
420	0,80
600	1,03
0	0,50
50	0,56
180	0,72
300	0,84
420	0,92
600	1,10
0	0,60

Platediameter D 0,30 m
 Lag
 Værforhold PENIT
 Temperatur + 14 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

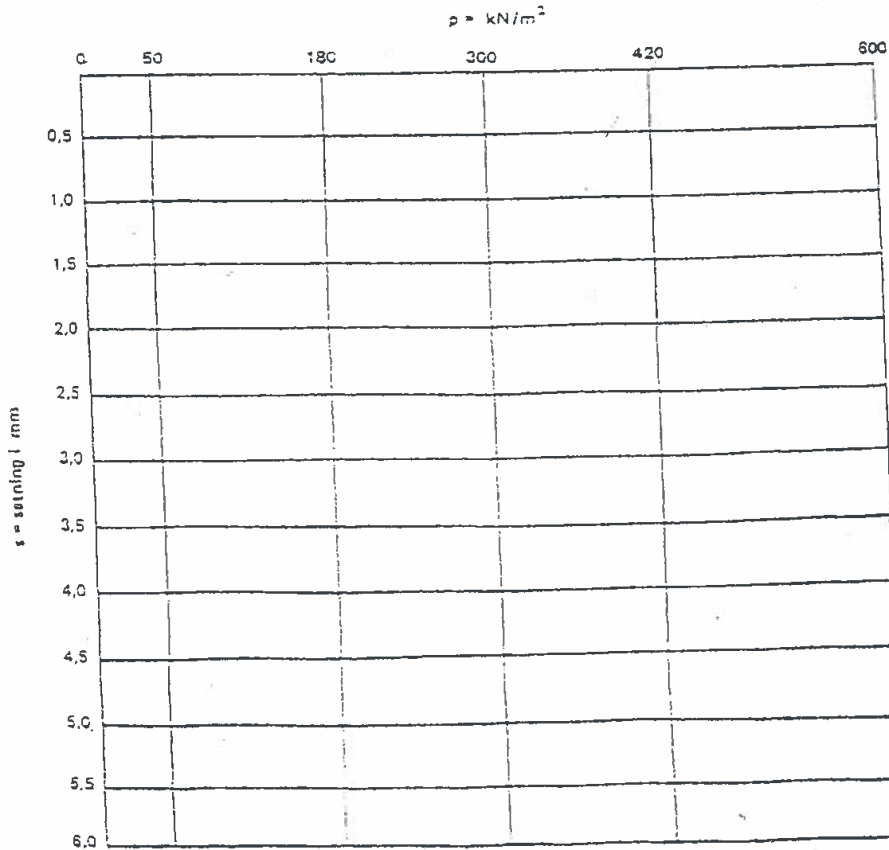
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevnelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,38} \times 0,30 = 142,1 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,38} \times 0,30 = 248,6 \text{ MN/m}^2$$

$$m_i = 1,74$$



3/79

STATENS VEGVESEN PLATEBELASTNING Dato utført: 7-6-2012
 Blankett nr. 462 Sign. O.H.R.

Fylke: S.T. Veg nr. EV 006
 Sted: Km/Profil nr. 8870-H
 Parsell: SENTERVEGEN - TONSTAD. Oppdragsnr.

V/GIPS

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0,10
50	0,14
180	0,54
300	0,78
420	0,98
600	1,26
0	0,66
50	0,80
180	0,98
300	1,10
420	1,20
600	1,34
0	0,74

Platediameter D 0,30 m
 Lag
 Værforhold PENT
 Temperatur 14 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

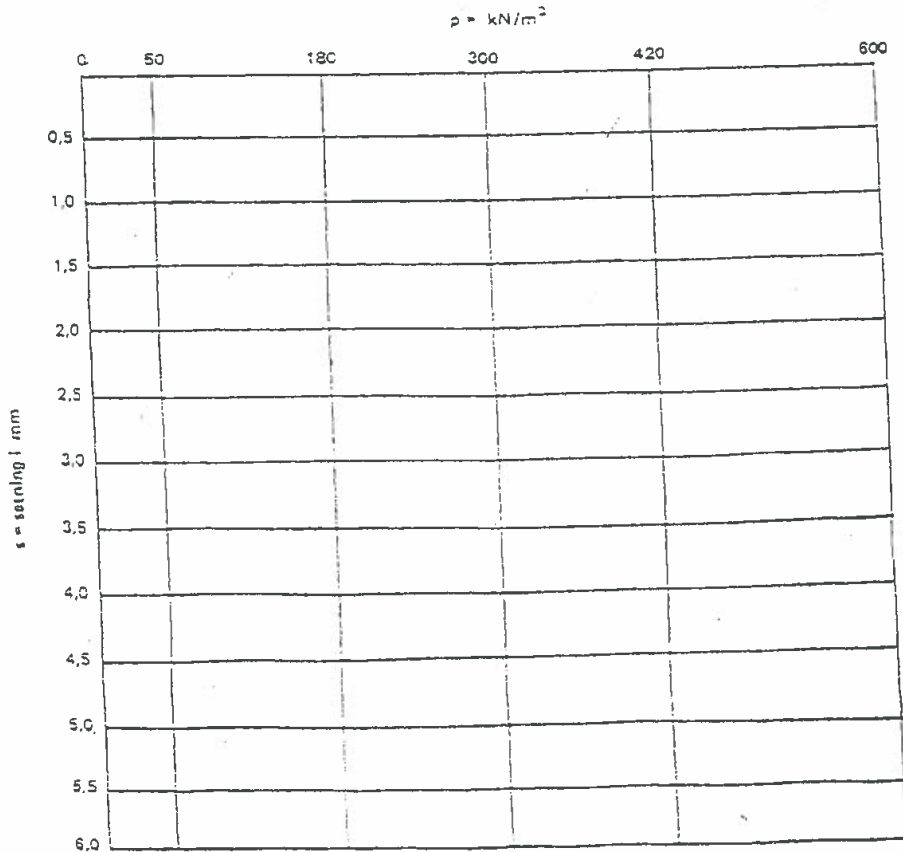
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{240}{0,44} \times 0,30 = 122,7 \text{ MN/m}^2$$

$$E_2 = 3/4 \frac{420}{0,36} \times 0,30 = 262,5 \text{ MN/m}^2$$

$$E_m = 2,13$$



3/79

STATENS VEGVESEN Blankett nr. 468	PLATEBELASTNING	Date utført: 7/6-12 Sign: P.F.
Aylke: MR Sted: Rundkjøring Elnesvegen Parsell:	Veg nr.: Fv. 663 Km/Profil nr.: Oppdragsnr.:	

NR.1

Platediameter D: 0,3 m
Lag: Toppe Forsterkningslag Ek 0,32 avstredt m 0/16
Værlørd: Sol
Temperatur: 18°C

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0
50	0,04
180	0,22
300	0,38
420	0,52
600	0,67
0	0,33
50	0,38
180	0,50
300	0,58
420	0,64
600	0,73
0	0,37

uten gips
Flyttet 2m

0
0,07
0,34
0,52
0,65
0,78
0,42
0,47
0,61
0,68
0,75
0,83
0,45

$$\epsilon = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

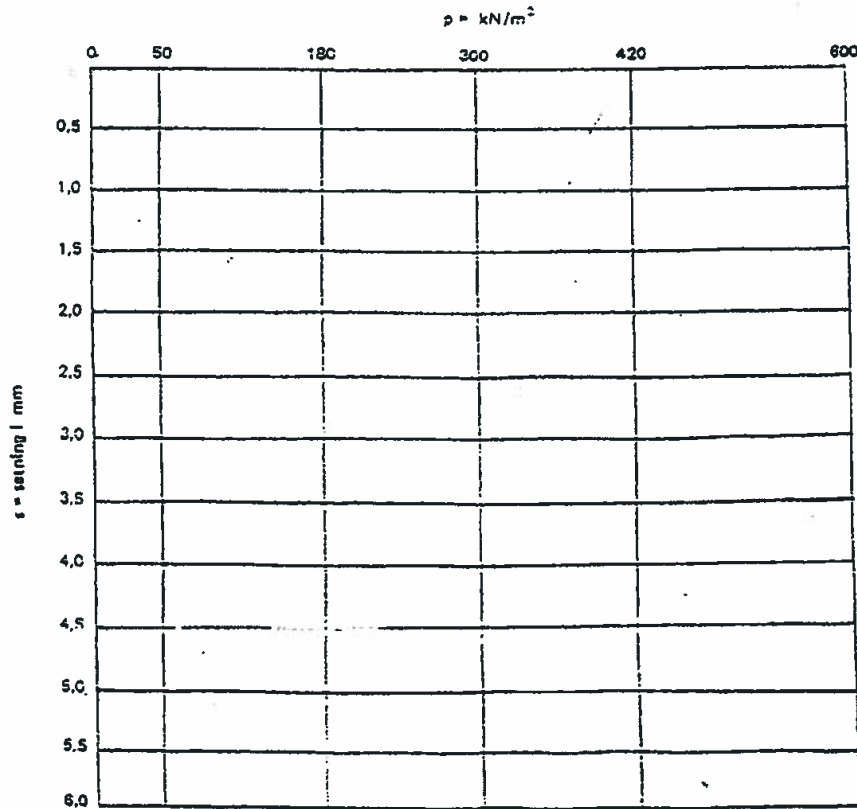
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevnelse:

D = platen diameter i m
Δp = belastning på platen i kN/m²
Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \times \dots = 90,0 \text{ MN/m}^2 (87,1)$$

$$E_2 = 3/4 \times \dots = 205,4 \text{ MN/m}^2 (211,8)$$

$$\frac{E_2}{E_1} = 2,3 (2,5)$$



3/79

STATENS VEGVESEN
 Blankett nr. 468
 PLATEBELASTNING
 Date utført: 7/6-12
 Sign.: PF

Fylke: M.R.
 Sted: Rundkjøring, Elverøyen
 Parsell:
 Veg nr.: F.v. 663
 Km/Profil nr.:
 Oppdragsnr.:

NR. 2

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0
50	0,22
180	0,58
300	0,75
420	0,91
600	0,97
0	0,65
50	0,72
180	0,84
300	0,93
420	0,99
600	1,02
0	0,72

uten gips
 Flyttel 2m

0
 0,24
 0,62
 0,79
 0,87
 0,88
 0,57
 0,65
 0,78
 0,86
 0,92
 0,94
 0,63

Platediameter D: 0,3 m
 Lag: Topp. Forsterkningslag FK0/32 avtvedd m 0/16
 Værlorhold: Sol
 Temperatur: 18 °C

$$\epsilon = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

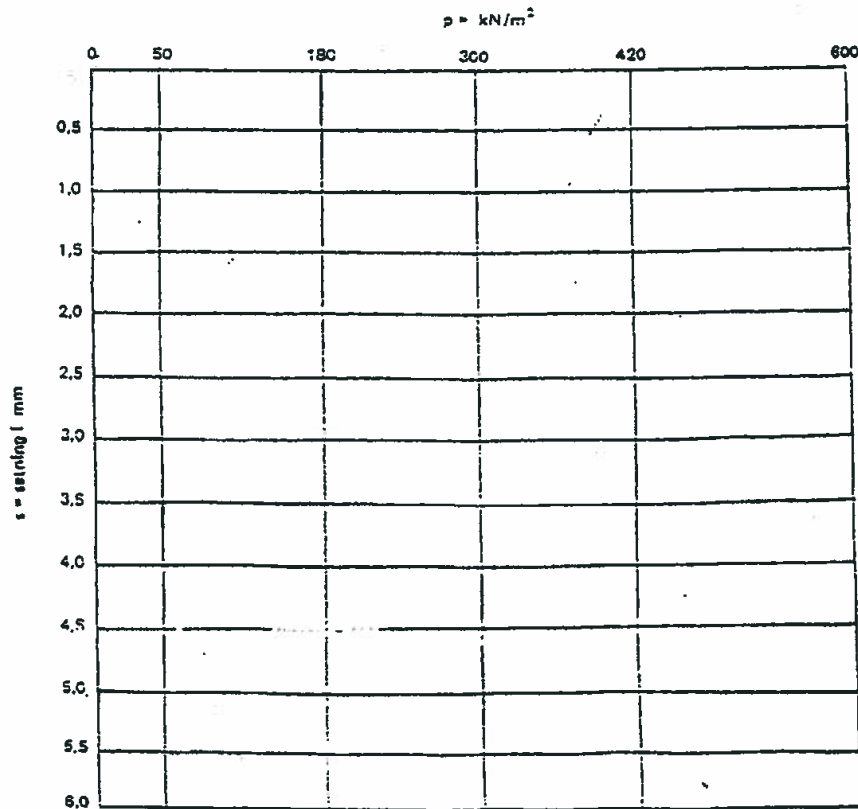
For å få ϵ -verdien i MN/m² brukes følgende benevelser:

- D = platen diameter i m
- Δp = belastning på platen i kN/m²
- Δs = setning i mm

$$\epsilon_1 = 3/4 \times \dots = 81,8 \text{ MN/m}^2 (108,0)$$

$$\epsilon_2 = 3/4 \times \dots = 265 \text{ MN/m}^2 (295,3)$$

$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = 3,2 (2,7)$$



3/79

STATENS VEGVESEN Blankett nr. 468	PLATEBELASTNING	Date utført <u>7/6-12</u> Sgn. <u>P.F.</u>
Fylke <u>MR</u> Sted <u>Rundkjøring, Elvasvågen</u> Parzell	Veg nr. <u>Fv 663</u> Km/Profil nr. Oppdragsnr.	

NR. 3

Belastning p kN/m ²	Setning s mm
0	0
50	0,25
180	0,71
300	0,95
420	1,15
600	1,19
0	0,81
50	0,90
180	1,05
300	1,15
420	1,24
600	1,27
0	0,90

uten gips
Flyttet 2m

0
0,29
0,73
0,95
1,12
1,21
0,82
0,92
1,06
1,15
1,23
1,28
0,90

Platediameter D 0,3 m
Lag Topp. fordekningslag, Fk 0/32 med m 0/16
Vårforhold Sol
Temperatur 18 °C

$$E = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D$$

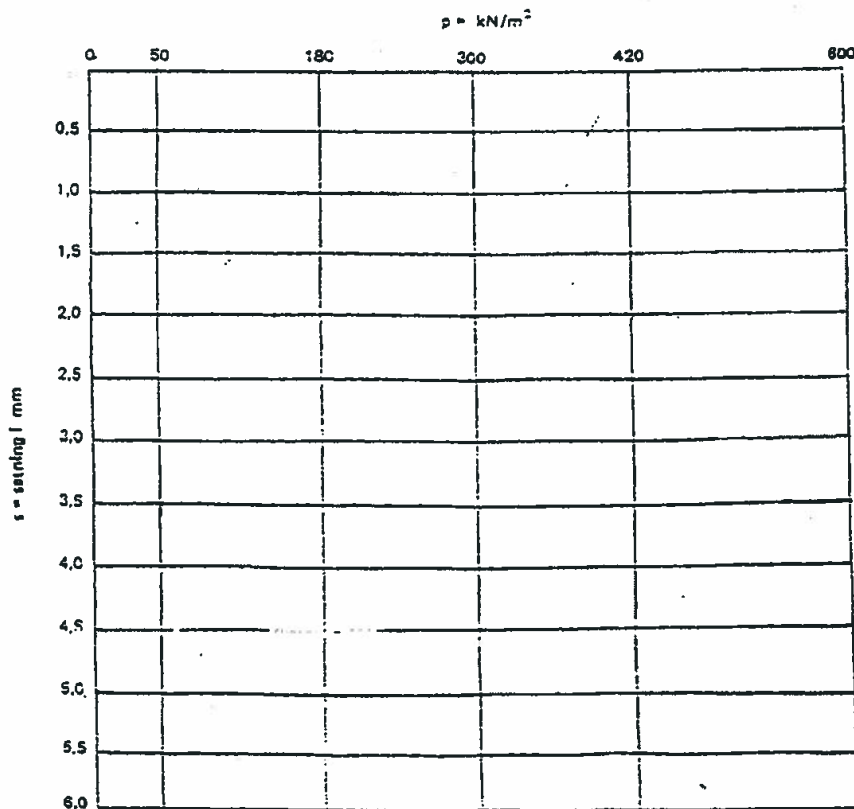
For å få E-verdien i MN/m² brukes følgende benevnelser:

D = platen diameter i m
Δp = belastning på platen i kN/m²
Δs = setning i mm

$$E_1 = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D = 61,4 \text{ MN/m}^2 (69,2)$$

$$E_2 = 3/4 \frac{\Delta p}{\Delta s} \times D = 214,8 \text{ MN/m}^2 (214,8)$$

$$\frac{E_2}{E_1} = 3,5 (3,1)$$



3/79

Vedlegg C

Måledata fra falloddsmålinger

Sør-Trøndelag, Trondheim kommune
 Ny E6 v/Tonstad
Profil 1

Ytre spor, 2. slag i målepunktet.
 Målt: 24.05.2012
 Operatør: Ottar B
 Måleutstyr: Fallodd Dynatest 8002-064
 Platediameter 300 mm.
 Bæreevneformel: Grus

Bæreevne (T) pr. km, felt 1				
Punkt	Middel	Min	Max	10%
1	9,7	9,7	9,7	9,7
2	10,9	10,9	10,9	10,9
Tot.	10,3	9,7	10,9	9,8

Punkt	Slag	Avstand Hp	Meter	Felt	Spør	DTemp[C]	LTemp[C]	Kraft[kN]	Def(1), µm	Def(2), µm	Def(3), µm	Def(4), µm	Def(5), µm	Def(6), µm	Def(7), µm	Bæreevne D90	D0-D20	D0/(D0-D20)	F-diff		
0	2	1.000	10	1000	Right-1	1	Ytre	26,6	34,7	828,7	406,1	136,8	60,7	50,8	50,5	40,9	9,7	50,5	422,6	2,0	23,5
1	2	2.000	10	2000	Right-1	1	Ytre	32,9	32,9	672,2	347,9	149,3	100,7	83,0	55,9	42,3	10,9	55,9	324,3	2,1	13,3
NV/DB:									Pos(1), cm	Pos(2), cm	Pos(3), cm	Pos(4), cm	Pos(5), cm	Pos(6), cm	Pos(7), cm						
									0,0	20,0	30,0	45,0	60,0	90,0	120,0						

Sør-Trøndelag, Trondheim kommune
 Ny E6 v/Tonstad
Profil 2

Ytre spor, 2. slag i målepunktet.
 Målt: 24.05.2012
 Operatør: Ottar B
 Måleutstyr: Fallodd Dynatest 8002-064
 Platediameter 300 mm.
 Bæreevneformel: Grus

Bæreevne (T) pr. km, felt 1				
Punkt	Middel	Min	Max	10%
1	9,4	9,4	9,4	9,4
2	10,4	10,4	10,4	10,4
Tot.	9,9	9,4	10,4	9,5

Punkt	Slag	Avstand Hp	Meter	Felt	Spør	DTemp[C]	LTemp[C]	Kraft[kN]	Def(1), µm	Def(2), µm	Def(3), µm	Def(4), µm	Def(5), µm	Def(6), µm	Def(7), µm	Bæreevne D90	D0-D20	D0/(D0-D20)	F-diff		
0	2	1.000	10	1000	Right-1	1	Ytre	35,1	35,1	863,2	432,3	179,4	84,7	64,6	58,4	44,3	9,4	58,4	430,9	2,0	25,5
1	2	2.000	10	2000	Right-1	1	Ytre	34,4	34,4	714,8	329,6	176,2	111,6	91,9	62,7	45,1	10,4	62,7	385,2	1,9	17,1
NV/DB:									Pos(1), cm	Pos(2), cm	Pos(3), cm	Pos(4), cm	Pos(5), cm	Pos(6), cm	Pos(7), cm						
									0,0	20,0	30,0	45,0	60,0	90,0	120,0						

Sør-Trøndelag, Trondheim kommune
Ny E6 v/Tonstad

Profil 3

Ytre spor, 2. slag i målepunktet.
Målt: 24.05.2012
Operatør: Ottar B
Måleutstyr: Fallodd Dynatest 8002-064
Platediameter 300 mm.
Bæreevneformel: Grus

Bæreevne (T) pr. km, felt 1				
Punkt	Middel	Min	Max	10%
1	10,0	10,0	10,0	10,0
2	9,7	9,7	9,7	9,7
Tot.	9,9	9,7	10,0	9,8

Punkt	Slag	Avstand	Hp	Meter	Felt	NVDB-	Spør	DTemp[°C]	LTemp[°C]	Kraft[kN]	Def.(1), µm	Def.(2), µm	Def.(3), µm	Def.(4), µm	Def.(5), µm	Def.(6), µm	Def.(7), µm	Bæreevne	D90	D0-D20	D0/(D0-D20)	F-diff	
0	2	1,000	10	1000	Right-1	1	Ytre	35,6	29,3	51,4	787,1	382,7	193,7	129,0	106,8	79,3	59,9	10,0	79,3	404,4	1,9	20,7	
1	2	2,000	10	2000	Right-1	1	Ytre	33,9	29,6	50,6	808,9	437,8	192,6	117,4	82,6	72,9	62,1	9,7	72,9	371,1	2,2	22,7	
											Pos.(1), cm	Pos.(2), cm	Pos.(3), cm	Pos.(4), cm	Pos.(5), cm	Pos.(6), cm	Pos.(7), cm						
											0,0	20,0	30,0	45,0	60,0	90,0	120,0						

Sør-Trøndelag, Trondheim kommune
Ny E6 v/Tonstad

Profil 4

Ytre spor, 2. slag i målepunktet.
Målt: 24.05.2012
Operatør: Ottar B
Måleutstyr: Fallodd Dynatest 8002-064
Platediameter 300 mm.
Bæreevneformel: Grus

Bæreevne (T) pr. km, felt 1				
Punkt	Middel	Min	Max	10%
1	9,3	9,3	9,3	9,3
2	8,6	8,6	8,6	8,6
Tot.	8,9	8,6	9,3	8,7

Punkt	Slag	Avstand	Hp	Meter	Felt	NVDB-	Spør	DTemp[°C]	LTemp[°C]	Kraft[kN]	Def.(1), µm	Def.(2), µm	Def.(3), µm	Def.(4), µm	Def.(5), µm	Def.(6), µm	Def.(7), µm	Bæreevne	D90	D0-D20	D0/(D0-D20)	F-diff	
0	2	1,000	10	1000	Right-1	1	Ytre	27,8	29,4	50,7	878,0	393,1	166,4	101,2	95,5	79,0	58,0	9,3	79,0	484,9	1,8	26,5	
1	2	2,000	10	2000	Right-1	1	Ytre	25,4	29,3	51,5	1012,2	518,6	189,3	116,1	107,9	92,6	77,1	8,6	92,6	493,6	2,1	32,3	
											Pos.(1), cm	Pos.(2), cm	Pos.(3), cm	Pos.(4), cm	Pos.(5), cm	Pos.(6), cm	Pos.(7), cm						
											0,0	20,0	30,0	45,0	60,0	90,0	120,0						

Sør-Trøndelag, Trondheim kommune
 Ny E6 v/Tonstad
Profil 5

Ytre spor, 2. slag i målepunktet.
 Målt: 24.05.2012
 Operatør: Ottar B
 Måleutstyr: Fallodd Dynatest 8002-064
 Platediameter 300 mm.
 Bæreevneformel: Grus

Bæreevne (T) pr. km, felt 1				
Punkt	Middel	Min	Max	10%
1	8,5	8,5	8,5	8,5
2	9,1	9,1	9,1	9,1
Tot.	8,8	8,5	9,1	8,6

Punkt	Slag	Avstand	Hp	Meter	Felt	NVDB-	Spor	DTemp[°C]	LTemp[°C]	Kraft[kN]	Def.(1), µm	Def.(2), µm	Def.(3), µm	Def.(4), µm	Def.(5), µm	Def.(6), µm	Def.(7), µm	Bæreevne	D90	D0-D20	D0/(D0-D20)	F-diff	
0	2	1.000	10	1000	Right-1	1	Ytre	25,5	29,2	51,5	1027,4	403,0	202,1	133,9	116,0	92,3	71,8	8,5	92,3	624,4	1,6	33,0	
1	2	2.000	10	2000	Right-1	1	Ytre	24,7	29,6	49,8	896,1	406,9	162,5	143,4	127,7	98,3	80,6	9,1	98,3	489,2	1,8	26,3	
											Pos.(1), cm	Pos.(2), cm	Pos.(3), cm	Pos.(4), cm	Pos.(5), cm	Pos.(6), cm	Pos.(7), cm						
											0,0	20,0	30,0	45,0	60,0	90,0	120,0						

Sør-Trøndelag, Trondheim kommune
 Ny E6 v/Tonstad
Profil 6

Ytre spor, 2. slag i målepunktet.
 Målt: 24.05.2012
 Operatør: Ottar B
 Måleutstyr: Fallodd Dynatest 8002-064
 Platediameter 300 mm.
 Bæreevneformel: Grus

Bæreevne (T) pr. km, felt 1				
Punkt	Middel	Min	Max	10%
1	8,6	8,6	8,6	8,6
2	9,3	9,3	9,3	9,3
Tot.	9,0	8,6	9,3	8,7

Punkt	Slag	Avstand	Hp	Meter	Felt	NVDB-	Spor	DTemp[°C]	LTemp[°C]	Kraft[kN]	Def.(1), µm	Def.(2), µm	Def.(3), µm	Def.(4), µm	Def.(5), µm	Def.(6), µm	Def.(7), µm	Bæreevne	D90	D0-D20	D0/(D0-D20)	F-diff	
0	2	1.000	10	1000	Right-1	1	Ytre	24,6	29,4	50,7	1000,8	344,0	153,7	116,0	98,9	80,7	64,5	8,6	80,7	656,8	1,5	32,5	
1	2	2.000	10	2000	Right-1	1	Ytre	24,7	30	49,9	855,2	384,9	126,2	93,6	92,5	84,6	70,5	9,3	84,6	470,3	1,8	26,0	
											Pos.(1), cm	Pos.(2), cm	Pos.(3), cm	Pos.(4), cm	Pos.(5), cm	Pos.(6), cm	Pos.(7), cm						
											0,0	20,0	30,0	45,0	60,0	90,0	120,0						

Sør-Trøndelag, Trondheim kommune
 NY E6 v/Tonstad
Profil 4

Ytre spor, 2. slag i målepunktet.
 Målt: 30.05.2012
 Operatør: Ottar B
 Måleutstyr: Fallodd Dynatest 8002-064
 Platediameter 300 mm.
 Bæreevneformel: Grus

Bæreevne (T) pr. km, felt 1			
km	Middel	Min	Max
1	8,9	8,9	8,9
2	12,1	12,1	12,1
3	8,8	8,8	8,8
Tot.	9,9	8,8	12,1

Punkt	Slag	Avstand	Hp	Meter	Felt	NVDB-	Spor	DTemp[C]	LTemp[C]	Krafti[kN]	Pos.(1), cm				F-diff							
											Pos.(2), cm	Pos.(3), cm	Pos.(4), cm	Pos.(5), cm								
0	2	1.000	10	1000	Right-1	1	Ytre	14	13	51,5	965,8	506,2	105,1	82,2	77,4	55,9	54,3	8,9	55,9	459,6	2,1	30,1
1	2	2.000	10	2000	Right-1	1	Ytre	13,2	10,6	50,5	561,2	316,8	128,8	94,9	63,9	54,3	37,9	12,1	54,3	242,4	2,3	4,1
2	2	3.000	10	3000	Right-1	1	Ytre	13,6	10,1	50,2	950,8	528,9	207,5	150,3	79,1	65,8	58,2	8,8	65,8	421,9	2,3	30,6
											0,0	20,0	30,0	45,0	60,0	90,0	120,0					

Sør-Trøndelag, Trondheim kommune
 NY E6 v/Tonstad
Profil 4-2

Ytre spor, 2. slag i målepunktet.
 Målt: 30.05.2012
 Operatør: Ottar B
 Måleutstyr: Fallodd Dynatest 8002-064
 Platediameter 300 mm.
 Bæreevneformel: Grus

Bæreevne (T) pr. km, felt 1			
Punkt	Middel	Min	Max
1	9,5	9,5	9,5
2	8,9	8,9	8,9
3	8,9	8,9	8,9
Tot.	9,1	8,9	9,5

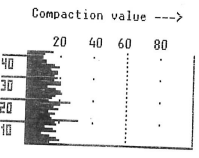
Punkt	Slag	Avstand	Hp	Meter	Felt	NVDB-	Spor	DTemp[C]	LTemp[C]	Krafti[kN]	Pos.(1), cm				F-diff							
											Pos.(2), cm	Pos.(3), cm	Pos.(4), cm	Pos.(5), cm								
0	2	1.000	10	1000	Right-1	1	Ytre	14	12,5	49,4	819,0	589,8	148,0	75,7	81,8	68,0	54,7	9,5	68,0	229,2	3,6	24,4
1	2	2.000	10	2000	Right-1	1	Ytre	13,9	10,7	52,8	974,4	389,9	68,8	53,8	29,3	46,5	39,4	8,9	46,5	584,5	1,7	29,4
3	2	3.000	10	3000	Right-1	1	Ytre	12,5	10,4	49,9	935,6	364,5	64,2	99,0	42,6	57,7	54,1	8,9	57,7	571,1	1,6	30,1
											0,0	20,0	30,0	45,0	60,0	90,0	120,0					

Vedlegg D

Utskrifter fra vals med enkel responsmåler

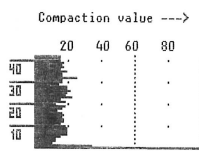
110 m
UGLKEK CFM V1.05

Measurement values 11
Distance: 42 m
Compaction set: 60
Compaction avg: 16
Compaction min: 9
Compaction max: 31
Jump avg: 0
Jump min: 0
Jump max: 2
Frequency avg: 29 Hz
Frequency min: 29 Hz
Frequency max: 29 Hz
Amplitude avg: 1.6 mm
Amplitude min: 1.6 mm
Amplitude max: 1.8 mm
Speed avg: 0.9 km/h
Speed min: 0.8 km/h
Speed max: 1.0 km/h



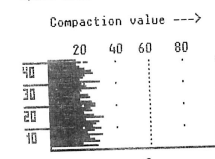
UGLKEK CFM V1.05

Measurement values 4
Distance: 42 m
Compaction set: 60
Compaction avg: 17
Compaction min: 10
Compaction max: 34
Jump avg: 0
Jump min: 0
Jump max: 1
Frequency avg: 28 Hz
Frequency min: 20 Hz
Frequency max: 29 Hz
Amplitude avg: 1.6 mm
Amplitude min: 1.6 mm
Amplitude max: 2.7 mm
Speed avg: 0.9 km/h
Speed min: 0.5 km/h
Speed max: 1.0 km/h



UGLKEK CFM V1.05

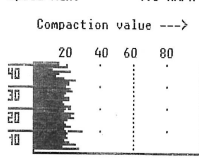
Measurement values 7
Distance: 41 m
Compaction set: 60
Compaction avg: 23
Compaction min: 0
Compaction max: 32
Jump avg: 0
Jump min: 0
Jump max: 2
Frequency avg: 29 Hz
Frequency min: 0 Hz
Frequency max: 30 Hz
Amplitude avg: 0.8 mm
Amplitude min: 0.0 mm
Amplitude max: 1.0 mm
Speed avg: 0.9 km/h
Speed min: 0.9 km/h
Speed max: 1.1 km/h



LAV

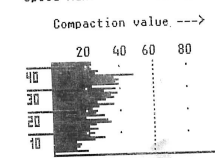
UGLKEK CFM V1.05

Measurement values 5
Distance: 41 m
Compaction set: 60
Compaction avg: 19
Compaction min: 0
Compaction max: 29
Jump avg: 0
Jump min: 0
Jump max: 1
Frequency avg: 28 Hz
Frequency min: 0 Hz
Frequency max: 29 Hz
Amplitude avg: 1.5 mm
Amplitude min: 0.0 mm
Amplitude max: 1.7 mm
Speed avg: 0.9 km/h
Speed min: 0.5 km/h
Speed max: 1.0 km/h



UGLKEK CFM V1.05

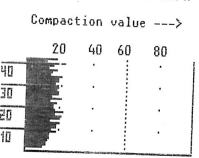
Measurement values 8
Distance: 42 m
Compaction set: 60
Compaction avg: 26
Compaction min: 0
Compaction max: 48
Jump avg: 0
Jump min: 0
Jump max: 3
Frequency avg: 29 Hz
Frequency min: 0 Hz
Frequency max: 30 Hz
Amplitude avg: 0.9 mm
Amplitude min: 0.0 mm
Amplitude max: 1.1 mm
Speed avg: 1.0 km/h
Speed min: 0.6 km/h
Speed max: 1.1 km/h



LAV

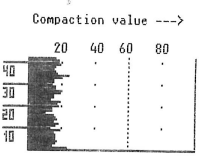
UGLKEK CFM V1.05

Measurement values 2
Distance: 42 m
Compaction set: 60
Compaction avg: 16
Compaction min: 0
Compaction max: 23
Jump avg: 0
Jump min: 0
Jump max: 1
Frequency avg: 28 Hz
Frequency min: 0 Hz
Frequency max: 29 Hz
Amplitude avg: 1.5 mm
Amplitude min: 0.0 mm
Amplitude max: 1.6 mm
Speed avg: 0.9 km/h
Speed min: 0.5 km/h
Speed max: 1.0 km/h



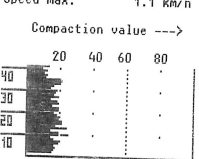
UGLKEK CFM V1.05

Measurement values 6
Distance: 42 m
Compaction set: 60
Compaction avg: 16
Compaction min: 10
Compaction max: 24
Jump avg: 0
Jump min: 0
Jump max: 1
Frequency avg: 28 Hz
Frequency min: 22 Hz
Frequency max: 29 Hz
Amplitude avg: 1.6 mm
Amplitude min: 1.6 mm
Amplitude max: 2.0 mm
Speed avg: 0.9 km/h
Speed min: 0.8 km/h
Speed max: 1.1 km/h



UGLKEK CFM V1.05

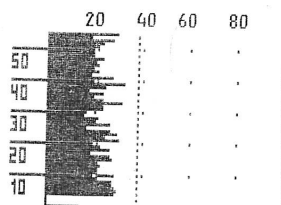
Measurement values 3
Distance: 41 m
Compaction set: 60
Compaction avg: 16
Compaction min: 0
Compaction max: 25
Jump avg: 0
Jump min: 0
Jump max: 1
Frequency avg: 28 Hz
Frequency min: 0 Hz
Frequency max: 30 Hz
Amplitude avg: 1.5 mm
Amplitude min: 0.0 mm
Amplitude max: 1.7 mm
Speed avg: 0.9 km/h
Speed min: 0.9 km/h
Speed max: 1.1 km/h



UØLKEL CFM V1.05

Measurement values
 Distance: 55 m
 Compaction set: 38
 Compaction avg: 21
 Compaction min: 0
 Compaction max: 32
 Jump avg: 0
 Jump min: 0
 Jump max: 1
 Frequency avg: 28 Hz
 Frequency min: 0 Hz
 Frequency max: 30 Hz
 Amplitude avg: 0.9 mm
 Amplitude min: 0.0 mm
 Amplitude max: 1.1 mm
 Speed avg: 1.9 km/h
 Speed min: 1.2 km/h
 Speed max: 4.2 km/h

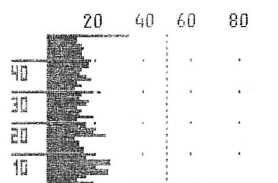
Compaction value --->



UØLKEL CFM V1.05

Measurement values
 Distance: 48 m
 Compaction set: 50
 Compaction avg: 16
 Compaction min: 11
 Compaction max: 34
 Jump avg: 1
 Jump min: 0
 Jump max: 4
 Frequency avg: 28 Hz
 Frequency min: 26 Hz
 Frequency max: 30 Hz
 Amplitude avg: 1.7 mm
 Amplitude min: 1.6 mm
 Amplitude max: 1.9 mm
 Speed avg: 2.0 km/h
 Speed min: 1.7 km/h
 Speed max: 2.3 km/h

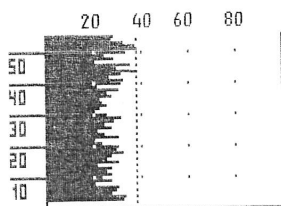
Compaction value --->



UØLKEL CFM V1.05

Measurement values
 Distance: 55 m
 Compaction set: 38
 Compaction avg: 26
 Compaction min: 0
 Compaction max: 38
 Jump avg: 0
 Jump min: 0
 Jump max: 2
 Frequency avg: 29 Hz
 Frequency min: 0 Hz
 Frequency max: 30 Hz
 Amplitude avg: 0.9 mm
 Amplitude min: 0.0 mm
 Amplitude max: 1.1 mm
 Speed avg: 2.1 km/h
 Speed min: 0.4 km/h
 Speed max: 5.0 km/h

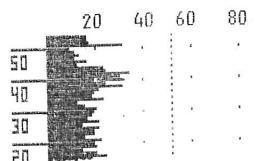
Compaction value --->



UØLKEL CFM V1.05

Measurement values
 Distance: 54 m
 Compaction set: 52
 Compaction avg: 20
 Compaction min: 0
 Compaction max: 38
 Jump avg: 1
 Jump min: 0
 Jump max: 4
 Frequency avg: 28 Hz
 Frequency min: 0 Hz
 Frequency max: 29 Hz
 Amplitude avg: 1.7 mm
 Amplitude min: 0.0 mm
 Amplitude max: 1.9 mm
 Speed avg: 2.3 km/h
 Speed min: 0.0 km/h
 Speed max: 5.4 km/h

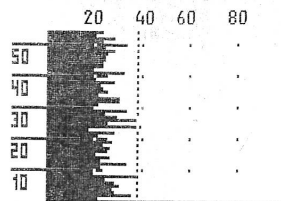
Compaction value --->



U&L&KEL CFM 01.05

Measurement values
 Distance: 54 m
 Compaction set: 38
 Compaction avg: 25
 Compaction min: 17
 Compaction max: 39
 Jump avg: 0
 Jump min: 0
 Jump max: 1
 Frequency avg: 30 Hz
 Frequency min: 30 Hz
 Frequency max: 30 Hz
 Amplitude avg: 1.0 mm
 Amplitude min: 1.0 mm
 Amplitude max: 1.1 mm
 Speed avg: 2.3 km/h
 Speed min: 0.0 km/h
 Speed max: 5.3 km/h

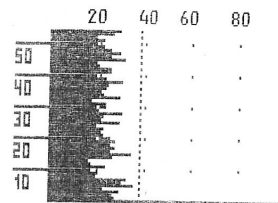
Compaction value --->



U&L&KEL CFM 01.05

Measurement values
 Distance: 54 m
 Compaction set: 38
 Compaction avg: 24
 Compaction min: 16
 Compaction max: 35
 Jump avg: 0
 Jump min: 0
 Jump max: 2
 Frequency avg: 30 Hz
 Frequency min: 30 Hz
 Frequency max: 30 Hz
 Amplitude avg: 0.9 mm
 Amplitude min: 0.9 mm
 Amplitude max: 1.0 mm
 Speed avg: 1.7 km/h
 Speed min: 0.0 km/h
 Speed max: 3.9 km/h

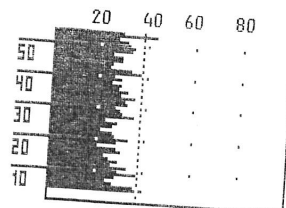
Compaction value --->



U&L&KEL CFM 01.05

Measurement values
 Distance: 54 m
 Compaction set: 38
 Compaction avg: 27
 Compaction min: 0
 Compaction max: 43
 Jump avg: 0
 Jump min: 0
 Jump max: 2
 Frequency avg: 28 Hz
 Frequency min: 0 Hz
 Frequency max: 30 Hz
 Amplitude avg: 1.0 mm
 Amplitude min: 0.0 mm
 Amplitude max: 1.2 mm
 Speed avg: 2.1 km/h
 Speed min: 0.0 km/h
 Speed max: 5.9 km/h

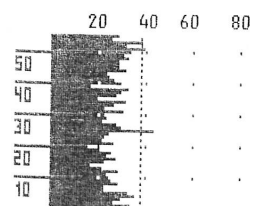
Compaction value --->



U&L&KEL CFM 01.05

Measurement values
 Distance: 55 m
 Compaction set: 38
 Compaction avg: 26
 Compaction min: 15
 Compaction max: 43
 Jump avg: 0
 Jump min: 0
 Jump max: 2
 Frequency avg: 30 Hz
 Frequency min: 30 Hz
 Frequency max: 30 Hz
 Amplitude avg: 1.1 mm
 Amplitude min: 1.0 mm
 Amplitude max: 1.2 mm
 Speed avg: 2.3 km/h
 Speed min: 0.5 km/h
 Speed max: 5.8 km/h

Compaction value --->



Vedlegg E

Program for fabrikkbesøk hos Dynapac 5. juni 2012

PROGRAM

för våra gäster från Norge den 5 juni, 2012.

Gäster: Marit Flatvad Statens Vegvesen
Brynhild Snilsberg Statens Vegvesen
Jostein Aksnes Statens Vegvesen
Ole Hovdenes Atlas Copco Construction
Technique Scandinavia

Tisdagen den 5 juni

08.30 Presentation av Dynapac samt Statens Vegvesen,
Norge

09.30 Fabriksrunda samt besök i Packhallen

11.30 Packningsmätarens funktion samt framtida
yttäckande packningskontrollmetoder

12.20 Lunch

13.00 Fortsättning framtida yttäckande
packningskontrollmetoder

15.00 Avslutning

Vi hoppas att våra gäster får en trevlig vistelse i
Karlskrona.