



Statisk pladebelastning, faldlod og minifaldlod

Resultater af sammenlignende målinger



Vejteknisk Institut
Eksternt notat 16
2003

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5
Postboks 235
4000 Roskilde
Telefon: 46 30 70 00
Telefax: 46 30 71 05

Titel	Statisk pladebelastning, faldlod og minifaldlod Resultater af sammenlignende målinger
Serie	Eksternt notat 16
Dato	Marts 2003
Forfattere	Gregers Hildebrand og Susanne Baltzer
Foto	Susanne Baltzer
Udgiver	Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut
Tryk	Elektronisk
ISBN	87-91177-18-9
ISSN	1395-5530

Eftertryk i uddrag er tilladt med kildeangivelse.

Trykte publikationer kan købes hos:

Schultz Information	Telefon	4322 7300
Herstedvang 4	Telefax	4363 1969
2620 Albertslund	e-mail	schultz@schultz.dk



Statisk pladebelastning, faldlod og minifaldlod

Resultater af sammenlignende målinger

Gregers Hildebrand

Susanne Baltzer

Vejteknisk Institut
Eksternt notat 16
2003

Indholdsfortegnelse

0. Resumé	7
1. Indledning	8
2. Baggrund	9
2.1 Bæreevnemålingernes rolle i anlægsfasen af et vejbyggeri	9
2.2 Vejreglernes krav i anlægsfasen	9
2.3 Vejdirektoratets eksisterende procedure	10
2.4 Formål med undersøgelse	10
3. Beskrivelse af udstyr	12
3.1 Statisk pladebelastning	12
3.2 Faldlod	14
3.3 Minifaldlod	16
3.3.1 Loadman	17
3.3.2 Keros Prima 100	19
3.3.3 Zorn ZFG 2000	22
3.3.4 Isotopsonde	24
4. Forsøgsbeskrivelse	26
4.1 Forsøgsstrækningen	26
4.2 Udførelse	26
4.2.1 Opdeling af strækningen i målepunkter	26
4.2.2 Kraftniveauer	27
4.2.3 Målinger	27
4.3 In situ densitets- og vandindholdsmålinger	29
4.4 Forventet materialestyrke	30
5. Overflademoduler	31
5.1 Beregning af E_0	31
5.2 E_0 bestemt fra tests med forskelligt udstyr	31
5.2.1 Statisk pladebelastning	32
5.2.2 Faldlod	32
5.2.3 Loadman minifaldlod	33
5.2.4 Keros Prima 100 minifaldlod	33
5.2.4 Zorn ZFG 2000 minifaldlod	34
5.3 Sammenligning af E_0 fra forskelligt udstyr	35
6. Sammenligning af overflademoduler	37
6.1 Ensartethed af forsøgsstrækningen	37
6.2 Sammenligning af overflademoduler	37
6.3 Måling i identiske punkter	40
7. Sammenligning af komprimeringsgrad	42
8. Konklusion	46
Litteratur	48
Bilag	
Bilag 1 Lagtykkelser, in situ vandindhold og øvrige resultater fra laboratorieforsøg.....	51

Bilag 2 Isotopsondemålinger	61
Bilag 3 Sammenligning af overflademodul og komprimeringsgrad, når vådensitet er korrigeret med vandindholdet 6 procent for alle målinger.	63

0. Resumé

Vejdirektoratet har sammenlignet resultaterne af bæreevnmålinger på stabilt grus ved hjælp af tre forskellige typer markforsøg: statisk pladebelastning, faldlod samt minifaldlod. Forsøget viser meget fin overensstemmelse mellem resultater fra statisk pladebelastningsforsøg og faldlod. Tre forskellige minifaldlod viste lovende resultater, men udstyrstypen har størst potentiale ved målinger på råjord og bundsikringsmaterialer samt på steder, hvor det ikke er muligt at anvende faldloddet.

Det primære formål med forsøget var at undersøge, hvorvidt udstyret til statisk pladebelastning kan erstattes af faldloddet. Baseret på beregninger af overflademodulet E_0 i belastningscentret ser det ud til, at der er en meget fin og direkte korrelation mellem resultaterne fra de to udstyr. En endelig vurdering må dog baseres på forsøg på flere underbundstyper, og samtidig bør undersøgelsen baseres på bestemmelse af E -værdier for bærelag, bundsikringslag og underbund.

Et feltforsøg viste, at faldloddet resulterer i overflademoduler, der er stort set identiske med resultaterne fra pladebelastningsudstyret, mens de tre minifaldlod giver overflademoduler, som i nogen eller begrænset grad ligner resultaterne fra pladebelastningsudstyret. Forsøgene viser, at minifaldloddet fra Keros Technology og i lidt mindre grad Loadman-udstyret stemmer nogenlunde overens med resultaterne fra pladebelastningsudstyr og faldlod. Overflademodulerne fra Zorn minifaldloddet er væsentligt lavere end bestemt med de øvrige udstyr.

På baggrund af det gennemførte forsøg konkluderes, at Vejdirektoratet bør satse på at anvende faldloddet som erstatning for pladebelastningsudstyret ved måling på færdige overflader af stabilt grus. Til gengæld forudses en betydelig anvendelse af minifaldlod ved målinger på råjord og bundsikringsmaterialer samt på steder, hvor man ikke kan anvende faldloddet. Det anbefales, at Vejdirektoratet undersøger, hvorledes minifaldlod kan spille en aktiv rolle i forbindelse med tilsynsopgaver ved anlæg af nye veje - eventuelt som supplement til eksisterende metoder.

1. Indledning

Anlæg af veje kræver blandt meget andet information om vejmaterialerne før, under og efter arbejdets udførelse. Grundig viden om vejmaterialerne i projekteringsfasen er en forudsætning for at planlægge et godt projekt, mens materialedata under selve byggeriet af vejen er afgørende for at behandle materialerne korrekt og dermed opnå den optimale kvalitet af byggeriet. Efter vejens åbning er information om vejmaterialernes tilstand vigtig for at kunne overvåge vejens nedbrydning og dermed planlægge vedligeholdelsesindsatsen.

Et nøjagtigt kendskab til bæreevnen af de ubundne befæstelseslag under vejens anlæg giver mulighed for optimering af vejens dimensionering. Desuden vil man med målinger under byggeriet af vejen kunne reducere omfanget af områder med bæreevneforhold, som afviger væsentligt fra den gennemsnitlige værdi, hvilket forventes at forøge vejens samlede levetid.

I dag justerer Vejdirektoratet dimensioneringen af større vejanlæg på basis af stivheden (E-værdien) af de ubundne befæstelseslag inklusive underbund på baggrund af statiske pladebelastningsforsøg på det færdige grusbærelag. Da Vejteknisk Instituts pladebelastningsudstyr er pensionsmodent ønskes det undersøgt om og i givet fald hvorledes de ønskede målinger kan gennemføres ved hjælp af faldlodsudstyr.

På baggrund af ovennævnte overvejelser har Vejteknisk Institut udført et forsøg til sammenligning af målinger på stabilt grus med statisk pladebelastnings- og faldlodsudstyr. Forsøget fandt sted ved Århus i oktober 2001. På grund af stor interesse for de såkaldte minifaldlod blandt såvel rådgivende ingeniører, entreprenører samt udstyrsleverandører deltog tre forskellige minifaldlod også i undersøgelsen.

Minifaldlod betegner bærbart udstyr, som på baggrund af en kendt lastpåvirkning fra en vægt droppet fra en givet højde giver et udtryk for underlagets bæreevne. Udstyrstypen har potentiale til at give simple og prisbillige målinger af bæreevnen af råjord og komprimerede sand- og grusmaterialer.

Denne rapport beskriver primært sammenligninger mellem resultater fra statisk pladebelastningsforsøg, faldlod og minifaldlod. Detaljerede sammenligninger mellem pladebelastningsudstyret og faldloddet gives i en separat rapport.

2. Baggrund

2.1 Bæreevne målingernes rolle i anlægsfasen af et vejbyggeri

Af tekniske og økonomiske årsager bygges de fleste moderne vejbefæstelser i flere lag med forskellige funktioner (Thagesen, 1998). Bundsikringslaget skal beskytte underbunden mod nedtrængende frost, sikre at vand fra underbunden ikke stiger op i grusbærelaget, og endelig skal det fordele trafikens belastning på den naturlige underbund. Bærelaget, som kan bestå af såvel grus som asfalt eller beton, skal primært optage trafikens belastning. Slidlaget, som samtidigt kan være bærende, skal primært give trafikanterne en sikker og komfortabel overflade at færdes på og sekundært forhindre vand i at trænge ned i vejens ubundne lag.

Ved dimensioneringen af vejbefæstelsen spiller vejmaterialernes E-værdi en meget vigtig rolle sammen med den forventede trafikale belastning på vejen. I projekteringsfasen fastlægges tykkelsen af de enkelte lag i befæstelsen ud fra en skønnet E-værdi for den naturlige underbund (baseret på resultaterne af den geologiske forundersøgelse) samt standard E-værdier for typiske bundsikrings-, bære-, og slidlagsmaterialer.

Under anlægget af vejen bør man imidlertid kontrollere, om de parametre, som lå til grund for dimensioneringen, også opnås i virkeligheden. Derfor bør der principielt udføres kontrollerende bæreevne målinger på overfladen af samtlige lag i befæstelsen i udførelsesfasen. Dette er dog ikke teknisk, praktisk eller økonomisk muligt. Den primære tekniske årsag er, at vejreglerne ikke stiller krav til opnåelse af E-værdier men derimod af komprimeringsgrader (se Afsnit 2.2). Desuden kan det være svært at udføre troværdige bæreevne målinger meget tæt på udførelsestidspunktet. E-værdien varierer med vandindhold (ubundne materialer) og temperatur (asfalt), hvorfor det ikke er hensigtsmæssigt at udføre bæreevne målinger på ubundne materialer, som stadig indeholder større vandmængder end dem, der vil findes på et senere tidspunkt, når en ligevægtstilstand har indstillet sig. Måling på ny asfalt er problematisk, da der kan gå op til 2-6 måneder, før asfalten er hærdnet og har opnået sin fulde styrke.

Blandt de praktiske årsager til manglende målinger kan nævnes, at det kan være meget vanskeligt at køre med måleudstyr på den naturlige underbund og i bundsikringsmaterialer.

De økonomiske årsager til, at man ikke udfører bæreevne målinger på samtlige befæstelseslag i anlægsfasen af større vejbyggerier, er eksempelvis tempoet, hvormed anlægsarbejder udføres, og erfaringen som siger at det ikke er nødvendigt.

2.2 Vejreglernes krav i anlægsfasen

Udbuds- og anlægfskrifterne for jordarbejder (Vejregelrådet, 1984), bundsikringslag af sand og grus (Vejregelrådet, 1998) henholdsvis ubundne bærelag af stabilt

grus (Vejreglerådet, 1998) stiller krav til den opnåede komprimering af de forskellige materialer. Komprimeringskravet formuleres oftest ved hjælp af komprimeringsgraden, K , der bestemmes som:

$$K = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d,\max}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

hvor

γ_d er tørdensitet i felten, og

$\gamma_{d,\max}$ er reference-tørdensiteten i laboratoriet.

Både γ_d og $\gamma_{d,\max}$ opgives normalt i ton/m^3 .

Tørdensiteten i felten, γ_d , bestemmes med isotopudstyr. For jordarbejder anvendes standard proctorforsøg til bestemmelse af referencedensiteten $\gamma_{d,\max}$, mens der for såvel bundsikringsmaterialer af sand og grus som for bærelagsmaterialer af stabilt grus benyttes vibrationsforsøg.

Kravet til en vis komprimeringsgrad skal forhindre sætninger i vejbefæstelsen.

Til bundsikrings- og bærelagsmaterialer stilles desuden krav til kornkurve, sand-ækvivalent og renhed og for stabilt grus stilles endvidere krav til andelen af knust materiale. For alternative materialer som forbrændingsslagger samt knust asfalt, beton og tegl stilles der udover de allerede nævnte krav supplerende krav til materialernes kemiske sammensætning og tekniske egenskaber. Det bemærkes, at isotopudstyr ikke kan anvendes i forbindelse med forbrændingsslagger på grund af slaggernes kemiske sammensætning.

Vejreglerne stiller ikke krav til opnåelse af bestemte E -værdier under anlægget af en vej.

2.3 Vejdirektoratets eksisterende procedure

Ved anlæg af nye statsveje stiller Vejdirektoratet krav til entreprenørers arbejde i henhold til Udbuds- og anlægfsforskrifterne for de forskellige materialetyper som anført ovenfor. Der stilles ikke krav til en opnået bæreevne (E -værdi).

Til kontrol af projekteringsfasens befæstelsesdimensionering udfører Vejdirektoratet på sine egne projekter bæreevne målinger på overfladen af det færdige grusbærelag. På baggrund heraf kan asfaltens tykkelse justeres indenfor rammerne af udbudsmaterialet. Bæreevne målingerne udføres i øjeblikket ved statisk pladebelastningsforsøg.

2.4 Formål med undersøgelse

I forbindelse med Vejdirektoratets undersøgelse af hvorvidt statisk pladebelastningsforsøg kan erstattes af målinger med faldlod blev der konstateret stor interesse blandt danske entreprenører og rådgivere for minifaldlod til vurdering af komprimering og bæreevne af ubundne vejmaterialer. Derfor blev de sammenlignende

målinger af pladebelastningsudstyr og faldlod på en af de anvendte forsøgsstrækninger suppleret med tre forskellige minifaldlod.

Denne rapport beskriver primært sammenligninger mellem pladebelastningsudstyr, faldlod og minifaldlod, mens sammenligningen af pladebelastnings- og faldlodsforsøg afrapporteres separat.

3. Beskrivelse af udstyr

Der blev ved undersøgelsen anvendt følgende måleudstyr, som beskrives nærmere i dette afsnit:

Statisk pladebelastningsudstyr (Vejdirektoratet)

Faldlod (Vejdirektoratet)

Minifaldlod

Loadman (Finland, repræsenteret ved fabrikanten AL-Engineering Oy)

Keros Prima 100 (Danmark, repræsenteret ved fabrikanten)

Zorn ZFG 2000 (Tyskland, repræsenteret af Gravquick A/S, Danmark)

Isotopsonde (Vejdirektoratet)

I supplement til feltforsøgene blev der udført referenceforsøg på Vejteknisk Instituts laboratorium.

3.1 Statisk pladebelastning

Pladebelastningsforsøget udføres ved at en kendt kraft overføres via en belastningsplade til vejoverfladen. Forsøget kan udføres med statisk eller dynamisk kraftpåvirkning. Vejteknisk Instituts pladebelastningsudstyr (Figur 1) er af den statiske type, mens faldloddet benyttes til dynamiske forsøg. Traditionelt har man udført pladebelastningsforsøg på overfladen af hvert lag i vejbefæstelsen og dermed bestemt overflademodulet E_0 for hvert lag. Denne metode er besværlig og desuden destruktiv, idet den normalt udføres når grusbærelaget er indbygget, hvilket betyder, at der skal graves et hul for at tillade måling på bundsikringslag og underbund.

Vejteknisk Institut udfører normalt pladebelastningsforsøget som tre-pladeforsøg, hvor en kraft på cirka 32,5 kN påføres cirkulære belastningsplader med diameter 600 mm, 450 mm henholdsvis 300 mm. For at opnå optimale målebetingelser, udføres forsøget med konstant kraft og faldende pladestørrelse, således at det påførte tryk er stigende. Tabel 1 viser sammenhængen mellem kraft, pladestørrelse og tryk.

Tabel 1. Sammenhæng mellem kraft, diameter af belastningsplade og tryk for tre-pladeforsøg.

Kraft (kN)	Pladediameter (mm)	Tryk (kPa)
32,5	600	115
	400	205
	300	460



Figur 1. Vejteknisk Instituts pladebelastningsbus under måling.

Forsøget udføres ved at den ønskede kraft hydraulisk overføres til belastningspladen, idet målekøretøjet yder modhold (Figur 2). Der anvendes fint, enskornet afretningssand under belastningspladen for at få fuld kontakt med underlaget. Når den ønskede kraft er opnået, fastholdes denne, og den lodrette deformation af vejoverfladen aflæses i centrum af belastningspladen. Dataopsamlingen foregår automatisk med hensyn til registrering af kraft og nedsynkning, mens eksempelvis permanent deformation må aflæses manuelt.

Dataanalysen er simpel. Med oplysning om den påførte kraft, den resulterende nedsynkning samt lagtykkelser for lagene i vejbefæstelsen, kan E-værdien for grusbærelag, bundsikringslag og naturlig underbund bestemmes. Analysemetoden, som er beskrevet af Nielsen (1975), udnytter, at tre-pladeforsøget bestemmer overflademodulet E_0 for tre forskellige pladediametre. Ved hjælp af Odemarks diagram kan E-værdien for tre lag bestemmes.

Tre-pladeforsøget er langsomt, idet det tager cirka 30 minutter per målepunkt. På grund af målekøretøjets størrelse er det følsomt overfor sidevind, hvilket kan være begrænsende for produktionen.

Pladebelastningsforsøg udføres primært på grusbærelag men kan også udføres på underbund samt bundsikringslag.



Figur 2. Detalje af pladebelastningsbus under måling. I midten ses belastningspladen på overfladen af et grusbærelag af stabilt grus. Det ses, at der anvendes afretningssand.

3.2 Faldlod

Faldloddet udfører dynamiske belastningsforsøg og anvendes primært til test på asfalt- eller betonoverflader på veje, som er færdigbyggede. Faldloddet vurderes at være det bedste eksisterende udstyr af sin art, og der findes mere end 300 udstyr over hele verden (COST 336, udateret).

Forsøgsudstyret (Figur 3 og 4) er monteret på en trailer og består af et vægtsystem, som udløses og falder på et buffersystem (fjeder-), som herefter overfører en veldefineret kraftpuls til en cirkulær belastningsplade. For at optimere kontakten mellem belastningsplade og vejoverflade kan faldloddet forsynes med forskellige plader, som enten kan være udelte eller inddelt i to eller flere mindre dele. De delte plader anvendes i tilfælde, hvor overfladen ikke er jævn. På overflader af ubundne materialer kan det overvejes at anvende afretningssand. Vejoverfladens lodrette, elastiske nedsynkning bestemmes i belastningscentret og i otte øvrige afstande op til 1,8 meter på en ret linie foran belastningspladen. Forsøget afvikles via en styrecomputer, som er placeret i målebilen. Styrecomputeren registrerer også resultatdata. En normal test består af fire slag: et indledende sætslag, som skal sikre, at belastningspladen er i kontakt med underlaget, efterfulgt af tre identiske slag med det ønskede kraftniveau.

Ved brug af forskellige vægte og faldhøjder kan faldloddet påføre vejoverfladen kræfter fra 7 kN til 120 kN. Med en kraft på 50 kN og den normale pulslængde på 25-30 msek fås en belastning, som med hensyn til tid, kraft og areal svarer til påvirkningen fra et 5 tons tvillinghjul, der kører med en hastighed på 40-60 km/t.

Analysen af faldloddets resultater foregår normalt ved hjælp af en helt eller delvist analytisk beregningsmodel. Input til en sådan beregningsmodel (efterbehandlingsprogram) er den påførte kraft, radius i belastningsfladen, nedsynkningerne i forskellige afstande, samt lagtykkelser for de forskellige lag i vejbefæstelsen. På baggrund af disse input samt et sæt foreløbige E-værdier beregnes et sæt nedsynkninger, som sammenlignes med de målte, og på baggrund af denne sammenligning justeres E-værdierne, og en ny beregning af deflektionerne gennemføres. Denne procedure fortsættes, indtil en tilfredsstillende overensstemmelse mellem målte og beregnede nedsynkninger er opnået.



Figur 3. Vejteknisk Instituts Dynatest 8000 faldlod.

Faldlodsmålinger udføres hurtigt (cirka 2-3 minutter per målepunkt). Målingernes gennemførelse er ikke afhængig af vejret.



Figur 4. Faldloddet set fra siden med vægtsystem (i sænket position) over belastningspladen. Foran hjulet ses geofonerne, som registrerer vejoverfladens nedsynkning som følge af faldloddets belastning.

Ved de sammenlignende målinger anvendte Vejdirektoratet faldloddet i dets standardopsætning, da dette er at foretrække fremfor at benytte forskellige opsætninger afhængigt af formålet.

Vejdirektoratets Dynatest faldlod er leveret af Dynatest A/S, som tilbyder mere information på adressen: http://www.dynatest.com/hardware/fwd_hwd.htm

3.3 Minifaldlod

Minifaldlod er en fællesbetegnelse for bærbart udstyr, som fungerer ved at et lod lades falde fra en givet højde og ned på en belastningsplade af givet størrelse. Den påførte kraft måles med en kraftcelle eller vurderes ud fra faldhøjden, og den resulterende lodrette nedsynkning i centrum af belastningspladen registreres med en geofon eller et accelerometer. Hensigten med minifaldloddet er at tilbyde simple og prisbillige målinger af bæreevne og komprimering af eksempelvis vejbefæstelser.

Fordele ved minifaldlod er blandt andet:

- relativt billig anskaffelse
- let transport
- let betjening
- hurtig udførelse af måling
- simpel dataanalyse der giver hurtige resultater

Udstyrene er velegnede til brug på steder, der ikke eller kun vanskeligt kan befærdes med biler på grund af manglende bæreevne (eksempelvis opblødte materialer), eller manglende plads (ledningsgrave, byggegruber). Udstyrene er velegnede til kontrolformål på byggepladser, hvor man kan have udstyret stående og anvende det (hyppigt) efter behov uden at skulle tilkalde speciel assistance.

Den vigtigste hindring for udbredelsen af minifaldlod i Danmark er formentligt, at vejregler og lignende standarder ikke stiller krav til eftervisning af bæreevne men derimod til eftervisning af komprimering. Til sidstnævnte formål findes allerede ikke-destruktivt udstyr i form af isotopudstyr. Det taler dog til minifaldloddens fordel, at de i modsætning til isotopudstyr ikke benytter radioaktivt materiale, som kræver speciel uddannelse til brugerne, og som kan være vanskelige at have med på rejse. Desuden kan minifaldlod i modsætning til isotopudstyr anvendes til måling på forbrændingsslagger.

De tre minifaldlod, som nævnes i det følgende, og som deltog i feltforsøget i oktober 2001 ved Århus, blev udvalgt på grund af deres tilstedeværelse i Danmark på markedet for forsøgsudstyr.

3.3.1 Loadman

Det finske minifaldlod Loadman (Figur 5) er indkapslet i et rør, hvori befinder sig lod og accelerometer. Udvalgte tekniske data til beskrivelse af Loadman-udstyret er gengivet i Tabel 2.

Tabel 2. Loadman, teknisk information.

Totalvægt	16 kg
Højde	1,17 m
Diameter (udstyr)	132 mm
Pladediameter	132, 200, 300 mm
Faldvægt	10 kg
Faldhøjde	800 mm
Påført kraft	cirka 20 kN (variabel)
Måleområde - deflektion	100-5000 μm
Lastpulsens længde	10-30 msek
Varighed af måling	1 - 2 minutter



Figur 5. Loadman-minifaldloddet i brug.

Udstyret er udviklet til brug med 132 mm pladen, og 300 mm pladen anvendes primært til steder med meget store deflektioner. Resultater fra belastningspladen med diameter 132 mm siges at repræsentere det øverste lag og muligvis noget af det underliggende lag. Resultater fra målinger med pladen med diameter 300 mm siges at udtrykke en total (gennemsnitlig) bæreevne for det undersøgte system.

Udstyret betjenes fra toppen ved hjælp af trykknapper, som vist i Figur 6. På toppen af udstyret findes desuden et display, der viser de sidste måleresultater.

En måling består typisk af 5-6 slag, indtil nedsynkningen stabiliserer sig på et konstant niveau. Tabel 3 viser to værdier af overflademodulet E_0 i centrum af belastningspladen: E1, som er overflademodulet bestemt for det første slag i et målepunkt, og E2, som er gennemsnittet af de sidste to-tre slag, som har nået en stabil nedsynkning. Forholdet mellem E2 og E1 kaldes komprimeringsgrad. Data kan leveres elektronisk, som vist i Tabel 3.



Figur 6. Display og betjeningsknapper i toppen af Loadman-minifaldlodet.

Tabel 3. Resultatfil fra Loadman.

LOADMAN-RESULTS DEN 4 OKTOBER 2001 I DANMARK								OBS
PLATS	D=132 MM			D=300 MM				
	E1	"E2"	"E2/E1"	E1	"E2"	"E2/E1"		
1	63	119	1,89	49	95	1,92		
2	80	146	1,82	78	114	1,47		
3	48	106	2,21	45	82	1,80		
4	81	133	1,64	66	85	1,29		
5	80	136	1,71	81	96	1,19		
6	75	139	1,85	53	94	1,75		
7	71	120	1,70	53	73	1,38		
8	84	119	1,41	58	80	1,39		
9	58	92	1,59	63	89	1,40	grovt	
10	71	110	1,54	82	91	1,11	mjukt	

Loadman fremstilles af AL-Engineering i Finland. Firmaet har i øjeblikket ingen repræsentant i Danmark. Yderligere information om udstyret kan fås på følgende adresse: <http://www.al-engineering.fi/loadman.html>

3.3.2 Keros Prima 100

Det danske minifaldlod Keros Prima 100 ses på Figur 7, mens udvalgte tekniske detaljer fremgår af Tabel 4. Testen styres ved hjælp af en medbragt bærbar PC, som også opsamler data. Sidstnævnte betyder, at data let kan leveres i elektronisk form (Tabel 5).



Figur 7. Keros Prima 100-minifaldlodet ved forberedelse til måling. Nederst til højre ses udstyret med to ekstra geofoner.

Tabel 4. Data for Keros Prima 100 minifaldlod.

Totalvægt	17 kg
Højde	1,28 m
Pladediameter	100, 200, 300 mm
Faldvægt	10, 15, 20 kg
Faldhøjde	10 - 850 mm
Påført kraft	1-15 kN
Måleområde - deflektion	0-2200 μm
Lastpulsens længde	15-20 msek
Varighed af måling	5 - 10 minutter

Keros Prima 100 benytter som det eneste af de tre undersøgte minifaldlod en kraftcelle til registrering af den faktiske påførte kraft. En geofon i midten af belastningspladen anvendes til registrering af den maksimale nedsynkning. Det er endvidere muligt at benytte to ekstra geofoner (jf. Figur 7 og 8) udover centergeofonen. De to ekstra geofoner kan placeres et vilkårligt sted i forhold til minifaldlodet.

Tabel 5 viser påført kraft, kontaktryk, pulstid, samt maksimal nedsynkning og overflademodulet for hver af de tre geofoner.

Tabel 5. Resultatfil fra Keros Prima 100.

(c) Keros Technology 2000-2001

§			
Filename	Keros Prima 100.xls		
Client code			
Project number			
Name of client			
Date	4. okt 2001		
Prima 100 SN	S/N-0012200-ORC-0001		
Load plate radius (mm)	150		
Radial offset (cm)	R(1)	R(2)	R(3)
	0	30	60
£			
Point	1		
Pavement description			
Remarks			
Temperature	13		

Time (HMS)	Force (kN)	Press (kPa)	Pulse (ms)	D(1) (µm)	D(2) (µm)	D(3) (µm)	E(1) (MPa)	E(2) (MPa)	E(3) (MPa)
09:42:23	14,2	201,4	19,8	564	126	60	94	105	111
09:42:29	14,3	202,4	20	557	125	59	96	107	112
09:42:35	14,4	203,2	19,9	564	124	60	95	108	112
09:43:05	14,4	203,5	19,9	575	126	60	93	106	112
09:43:15	14,4	203,1	20	575	127	59	93	106	114



Figur 8. Detalje af Keros Prima 100-minifaldlod. Vægtklodsen står ovenpå buffersystemet og de to ekstra geofoner ses midt i billedet.

Keros Prima 100 fremstilles i Danmark af Keros Technology. Yderligere information om udstyret kan fås på følgende adresse: <http://www.keros.dk/Dansk/PRIMA100/>

3.3.3 Zorn ZFG 2000

Det tyske Zorn ZFG 2000 ses på Figur 9, og tekniske detaljer til beskrivelse af udstyret er vist i Tabel 6.



Figur 9. Zorn-minifaldloddet i brug. Til højre ses dataopsamlingsenhed.

Tabel 6. Data for Zorn ZFG 2000 minifaldlod.

Totalvægt	30 kg
Platediameter	150, 300 mm
Faldvægt	10, 15 kg
Påført kraft	(med 10 kg lod) 7,07 kN
Måleområde - deflektion	200 μ m - 30 mm
Lastpulsens længde	18 msek
Varighed af måling	3 - 4 minutter

Udstyret benytter et accelerometer til bestemmelse af den maksimale nedsynkning i centrum af belastningspladen. Loddet løftes manuelt, og måleresultaterne opsamles ved hjælp kontrolboksen i Figur 10, som også viser, at Zorn ZFG 2000 som det eneste af de tre minifaldlod udskriver testresultaterne løbende på en papirstrimmel.



Figur 10. Zorn-minifaldlod. Nærbillede af dataopsamlingsenhed med strimmel med måleresultater.

Data kan også leveres på elektronisk form som vist i Tabel 7.

Tabel 7. Resultatfil fra Zorn ZFG 2000.

Prüfstelle: Harlev Vest

Testprotokol

Prøven udført med let dynamisk pladebelastningsudstyr

Auftrags-Nr.: Vejdirektoratet
 Bauvorhaben: Vejstrækning
 Prüfling: Harlev Vest / Århus
 Bodenart: Bærelag
 Ausgleichsmaterial: Normalsand
 Wetter: Våd, byger og sol, temperatur 17 grader C
 Ausgeführt durch: GRAVQUICK A/S Konstantin Pedersen

Prüfpunkte:

Lfd.	Datum Zeit Nr.	Prüfpunktbeschreibung Bemerkungen	Geschwind. Einzelwerte [mm/s]	Geschwind. Mittelwert [mm/s]	Setzung Einzelwerte [mm]	Setzung Mittelwert [mm]	s/v [ms]	Evd [MN/m²]
1	4/10/01 9:13 1	<i>Bobbe 1</i>	167.7 166.3 161.4	165.1	0.480 0.482 0.466	0.476	2.883	47.3
2	4/10/01 9:17 2	<i>2</i>	151.1 131.5 128.4	137.0	0.416 0.371 0.366	0.384	2.803	58.6
3	4/10/01 9:22 3	<i>3</i>	147.4 145.8 141.7	145.0	0.583 0.376 0.379	0.379	2.614	59.4
4	4/10/01 9:28 4	<i>4</i>	147.1 147.3 146.6	147.0	0.444 0.429 0.439	0.437	2.973	51.5
5	4/10/01 9:35 5	<i>5</i>	175.0 159.6 162.4	165.7	0.448 0.391 0.413	0.417	2.517	54.0

Resultater fra Zorn ZFG 2000 omfatter nedsynkningshastighed (v), nedsynkning (s), komprimeringsværdi (s/v) og dynamisk overflademodul (E_{vd} : er identisk med E_0 nævnt tidligere).

Zorn ZFG 2000 fremstilles af Zorn Stendal i Tyskland. Firmaet repræsenteres i Danmark af Gravquick A/S. Yderligere information om udstyret kan fås på følgende adresse: <http://www.zorn-online.de/de/produkte/zfg2000/>

3.3.4 Isotopsonde

Troxler-isotopudstyret (Figur 11) benytter radioaktiv stråling til at foretage en ikke-destruktiv bestemmelse af tørdensitet, våddensitet, vandindhold og komprimeringsgrad i råjord samt sand- og grusmaterialer typisk i forbindelse med komprimeringskontrol. Målinger kan foretages i dybder under overfladen på 150 mm og 300 mm. Troxler-udstyret er beskrevet af blandt andre Leksø (1984).



Figur 11. Troxler-isotopudstyr.

Våddensiteten bestemmes ved at en gammakilde presses ned til en givet dybde (150 eller 300 mm) i materialet, hvorefter Troxler-apparatet på overfladen registrerer intensiteten af den udsendte stråling. Ved hjælp af en kalibreringsformel konverteres strålingsintensiteten til våddensitet.

Vandindholdsbestemmelsen sker ud fra antagelsen, at langsomme neutroner kun opstår ved sammenstød med brint, som kun forekommer bundet i vand. Målingen af vandindhold sker ved at Troxler-apparatet dels udsender neutroner fra overfladen af materialet og dels registrerer de reflekterede langsomme neutroner samme sted.

Med våddensitet og vandindhold bestemt ved måling, kan tørdensitet og komprimeringsgrad bestemmes, idet sidstnævnte dog kræver en referenceværdi for den maksimale tørdensitet opnået ved proctor- eller vibrationsforsøg i laboratoriet.

Isotopmetoden forudsætter tilstedeværelsen af et homogent materiale fra overfladen og som minimum ned til måledybden. Metoden er følsom overfor materialets kemiske sammensætning samt materialets overfladestruktur.

Fordelene ved isotopmetoden er blandt andet, at udstyret:

- er forholdsvis let at transportere
- er let og hurtigt at betjene
- giver hurtige resultater

Ulemper ved isotopmetoden er eksempelvis, at den:

- kræver sikkerhedskursus på grund af stråling (problem ved fragt)
- behøver laboratorie-referenceværdi for maksimal tørdensitet
- ikke kan benyttes ved måling på forbrændingsslagger

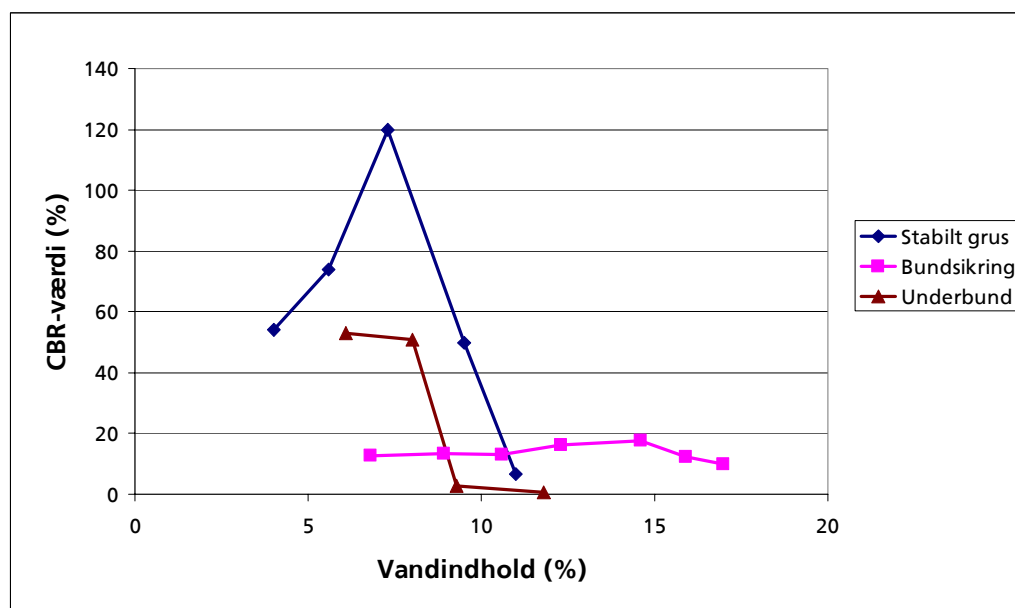
Troxler-isotopudstyret fremstilles i USA af firmaet Troxler Electronic Laboratories, Inc.. TF-Trading A/S repræsenterer Troxler i Danmark. Mere information om Troxlers isotopudstyr kan findes på adressen: <http://www.troxlerlabs.com/gauges.html>

4. Forsøgsbeskrivelse

4.1 Forsøgsstrækningen

Strækningen, som anvendtes til forsøget, var en kommunevej, der anlægges i forbindelse med bygning af en bro som del af motorvejen Århus-Silkeborg-Herning. Strækningen ligger nær Harlev, vest for Århus, og er cirka 400 meter lang med en projekteret vejbrede på 7 meter plus 1 meter i hver side til cykelsti. Vejen er bygget på en underbund af morænesand (meget gruset). Vebefæstelsen består af et cirka 30 cm tykt bundsikringslag af mellemkornet sand, og herover findes et cirka 25 cm tykt lag af stabilt grus.

Undersøgelserne blev foretaget på gruslaget. Efter målingerne blev der lavet fire opgravninger med cirka 75 meters mellemrum, for at få en præcis bestemmelse af lagtykkelser og dels for at udtage materiale til laboratorieforsøg. Sigteanalyse, proctor- og CBR-forsøg blev udført på blandede prøver bestående af materiale fra alle fire opgravninger. Lagtykkelser og resultater fra laboratorieforsøg findes i Bilag 1. Resultater fra CBR-forsøg er vist i Figur 12.



Figur 12. Resultater fra CBR-forsøg på stabilt grus, bundsikringsand samt moræneler. Optimalt vandindhold for de tre materialer er henholdsvis 8,5%, 13,5% og 7,0%.

4.2 Udførelse

4.2.1 Opdeling af strækningen i målepunkter

Strækningen blev opdelt i 40 tværsnit med cirka 7,5 meters mellemrum (mellem tværsnit 8 og 10 dog kun det halve). Hvert tværsnit bestod af 4-5 målepunkter med en indbyrdes afstand af cirka 1 meter. Figur 13 viser målepunkternes fordeling i feltet.

Faldlod og minifaldlod er hurtige udstyr og målte derfor i alle 40 tværsnit, mens pladebelastningsudstyret kun målte i hvert andet tværsnit for at kunne afslutte alle målinger på én dag. Det enkelte udstyrs placering i tværsnittet skiftede fra tværsnit til tværsnit, for at en eventuel forskel i komprimering på tværs af strækningen ikke skulle forveksles med en forskel mellem måleudstyr. Målepunkterne var afmærket med spraymaling, så udstyrene nemt kunne finde deres korrekte placering.

4.2.2 Kraftniveauer

Før forsøgets start var de forskellige udstyrs muligheder med hensyn til kraftniveau undersøgt, således at der i videst muligt omfang blev målt ved sammenlignelige kraftniveauer. Det var dog umuligt at opnå identiske niveauer, da minifaldlod ikke er beregnet til høje kraftniveauer. Tabel 8 viser en oversigt over anvendte kraftniveauer og pladestørrelser.

Tabel 8. Anvendte kraftniveauer.

Udstyr	Pladediameter (mm)	Kraft (kN)	Resulterende spænding (kPa)
Loadman	300	20	280
	132	20	1460
Zorn	300	7,1	100
Keros	300	6,4	90
	300	14,1	200
Faldlod	300	14,1	200
	300	21,2	300
	300	32,5	450
Statisk pladebelastning	600	32,5	115
	450	32,5	200
	300	14,1	200
	300	32,5	460

4.2.3 Målinger

Målingerne foregik torsdag den 4. oktober 2001. Pladebelastningsudstyret startede målingerne klokken 6.30 for at kunne nå alle 20 punkter på én dag. Faldloddet startede klokken 8.30, mens minifaldloddene startede kl. 9.15. Under målingerne blev vejrforholdene noteret.

Tværsnit	"Spør nr"				
	A	B	C	D	E
1		4	2	1	3
2	4	5	1	3	2
3	1	2	3	4	
4	2	3	4	5	1
5	3	1		2	4
6	5	3	1	2	4
7	4	2	3		1
8	3	4	5	1	2
9	1		2	4	3
10	2	1	4	3	5
11		4	2	1	3
12	4	5	1	3	2
13	1	2	3	4	
14	2	3	4	5	1
15	3	1		2	4
16	5	3	1	2	4
17	4	2	3		1
18	3	4	5	1	2
19	1		2	4	3
20	2	1	4	3	5
21		4	2	1	3
22	4	5	1	3	2
23	1	2	3	4	
24	2	3	4	5	1
25	3	1		2	4
26	5	3	1	2	4
27	4	2	3		1
28	3	4	5	1	2
29	1		2	4	3
30	2	1	4	3	5
31		4	2	1	3
32	4	5	1	3	2
33	1	2	3	4	
34	2	3	4	5	1
35	3	1		2	4
36	5	3	1	2	4
37	4	2	3		1
38	3	4	5	1	2
39	1		2	4	3
40	2	1	4	3	5

Udstyrskoder

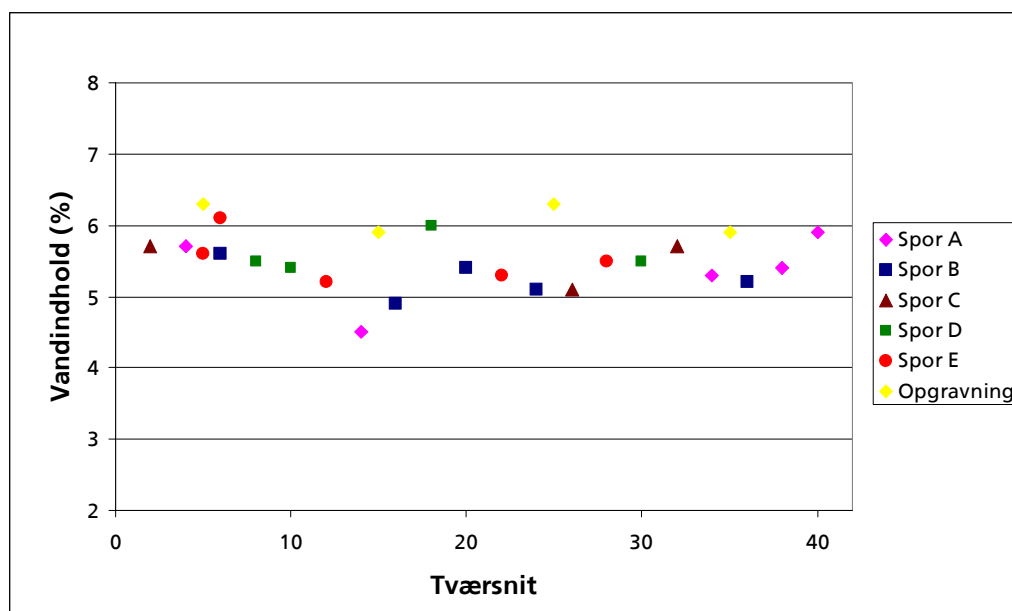
- 1 Loadman
- 2 Zorn
- 3 Keros
- 4 FWD
- 5 STP

 Isotopsonde
 Opgravning

Figur 13. Målepunkternes fordeling på målestrækningen.
 Tværsnittets stationering er angivet i forhold til starttværsnittet.

4.3 In situ densitets- og vandindholdsmålinger

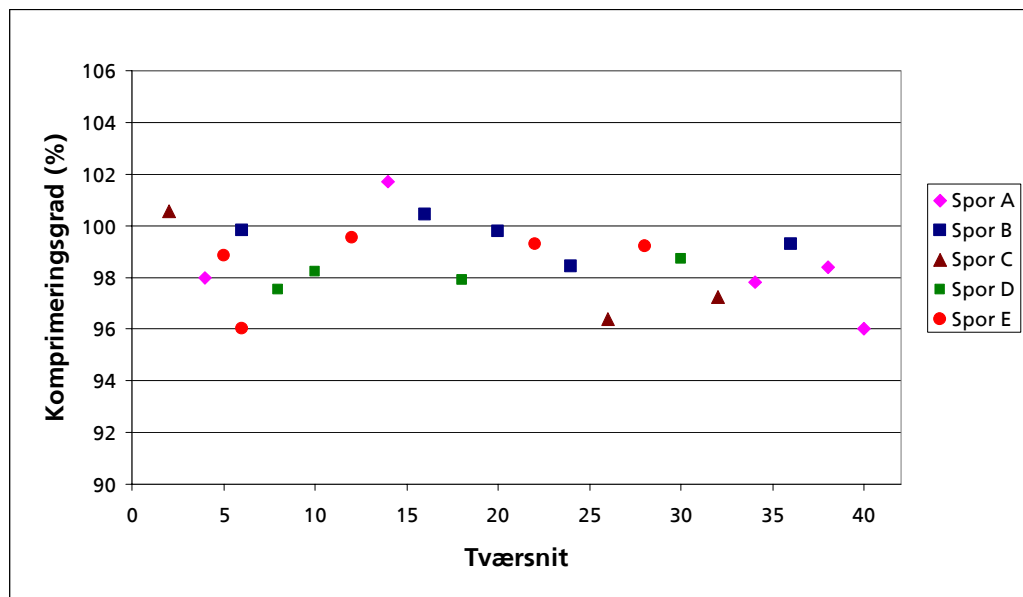
Umiddelbart efter målingerne blev strækningens vandindhold og komprimeringsgrad undersøgt ved isotopsondemålinger. Isotopsonden måler vandindholdet i de øverste 5-7 cm af overfladen, mens komprimeringsgraden måles på de øverste 15 cm. Det vil sige at begge målinger alene bestemmer værdier for gruslaget. I overensstemmelse med Figur 13 blev der gennemført isotopsondemålinger i hvert andet tværsnit, fordelt med tre til fem målinger i hvert spor. Målingerne blev foretaget i umiddelbar nærhed af minifaldloddenes målepunkter. Resultaterne er vist i Bilag 2. Figur 14 viser vandindholdet målt dels med isotopsonde, og dels bestemt på materialeprøverne taget fra stabilt gruslaget.



Figur 14. Vandindhold i stabilt grus.

Vandindholdet ligger (med enkelte afvigende målinger) mellem 5-6 procent på hele strækningen. Det laboratoriebestemte vandindhold er cirka $\frac{1}{2}$ procent højere end vandindhold målt med isotopsonde. Forskellen kan tillægges forskellen i målemetode, idet det sædvanligvis konstateres, at isotopudstyret resulterer i lidt højere vandindhold end laboratorieforsøg. Sidstnævnte kan derfor betegnes som reference.

Figur 15 viser, at forsøgsstrækningens komprimeringsgrad ligger mellem 96 og 101 procent. Der er nogen variation langs strækningen, men det er ikke klart, om nogle spor er bedre komprimeret end andre. Det ser dog ud til at spor B og D er komprimeret mere ensartet end de øvrige spor, idet komprimeringsgraden for disse spor ligger indenfor et bånd på to procent.



Figur 15. Komprimeringsgrad bestemt ved isotopsondemålinger.

4.4 Forventet materialestyrke

Traditionelt kan råjords E-modul skønnes ud fra CBR-værdien ved formlen:

$$E = 10 \cdot \text{CBR-værdi} \quad (2)$$

Der blev udført CBR-forsøg på materialeprøverne fra forsøgsstrækningen (jf. Figur 12). På baggrund af resultaterne af disse forsøg, in situ vandindholdet bestemt på materialeprøverne samt Formel 2 er det forsøgt at give et bud på E-modulet af de tre materialer (Tabel 9).

Tabel 9. Laboratiemæssigt skøn over materialestyrke.

	In situ vandindhold* (%)	CBR ved in situ vandindhold (%)	E (MPa)
Stabilt grus	6,1	80	800
Bundsikringslag	5,9	12	120
Råjord	7,5	50	500

* In situ vandindhold som gennemsnit af værdier for alle fire tværsnit.

Tabellens E-værdier er for stabilt grus og råjord noget højere end traditionelt forventet for disse materialer, men værdierne afspejler i høj grad den forskel i materialernes styrke, som også fornemmedes ved opgravningen. Det stabile grus og råjorden var meget hårde at grave i, mens bundsikringslaget var blødt og nemt at grave igennem.

5. Overflademoduler

5.1 Beregning af E_0

Overflademodulet E_0 benyttes ofte som en indikator for det gennemsnitlige E-modul for en lagdelt vejbefæstelse. E_0 er især velegnet til at skønne E-værdien af underbundsmaterialer. Formel 1 og 2 (Ullidtz, 1987) er udledt af Boussinesqs formler for et uendeligt halvrum og beskriver bestemmelse af E_0 ud fra belastningsforsøg ved hjælp af en cirkulær belastningsplade:

$$E_0(0) = \frac{2 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot a}{d(0)} \quad (3)$$

$$E_0(r) = \frac{(1 - \nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot a^2}{r \cdot d(r)} \quad (4)$$

hvor

ν er Poissons forhold,
 a er radius i belastningsfladen,
 r er afstanden fra centrum af belastningsfladen,
 $d(r)$ er den lodret overfladedefleksion i afstand r ,
 σ_0 er kontaktrykket.

Formel 3 benyttes for r lig med nul, mens Formel 4 anvendes for alle øvrige værdier af r .

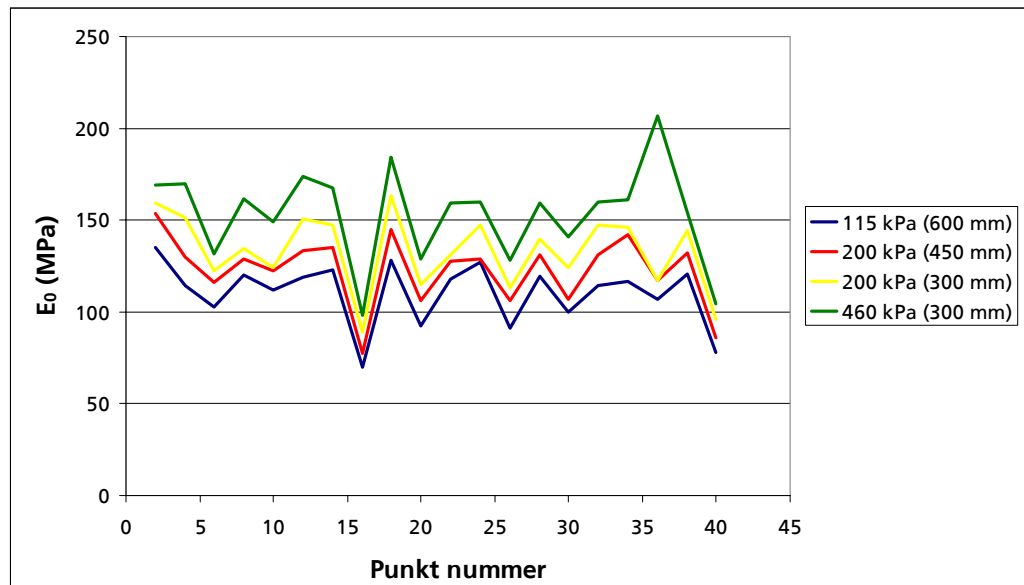
5.2 E_0 bestemt fra tests med forskelligt udstyr

For tests med statisk pladebelastningsudstyr, faldlod og de tre minifaldlod er overflademodulet E_0 beregnet i belastningscentret ved hjælp af Formel 3 på baggrund af testresultater opnået ved målinger ifølge Figur 13. Det vil sige, at alle udstyr har målt i skiftende spor langs hele strækningen, og at pladebelastningsbussen kun målte i hvert andet tværsnit.

Ved beregningen af E_0 er overalt valgt et Poissons forhold på 0,5. Denne værdi blev valgt, fordi nogle udstyr benytter denne værdi og automatisk beregner E_0 hermed. Ubundne materialer som grus og sand vil ofte have et Poissons forhold på omkring 0,35 - 0,45, men da formålet her er at sammenligne forskellige typer udstyr, har værdien af ν ingen praktisk betydning, så længe den er ens for alle udstyr.

5.2.1 Statisk pladebelastning

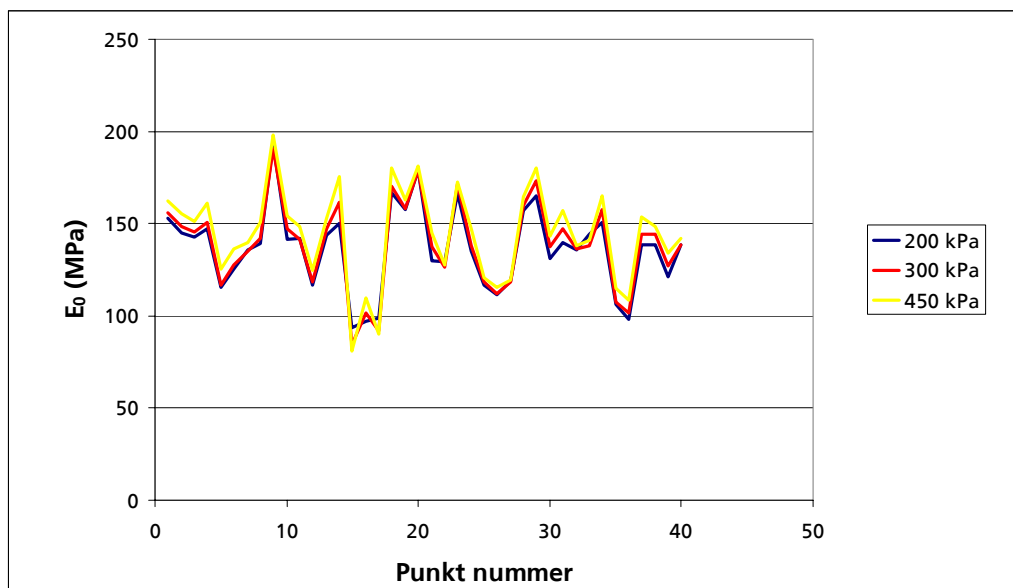
Pladebelastningsforsøgene foregik jf. Tabel 8 ved spændingsniveauerne 115 kPa, 200 kPa og 460 kPa med pladestørrelserne 150 mm, 300 mm samt 600 mm diameter. Figur 16 viser E_0 for de fire spændingsniveauer, som blev anvendt med pladebelastningsudstyret. Det fremgår af figuren, at E_0 stiger med stigende spændingsniveau, og at de fire kurver viser stort set identiske forløb (bortset fra punkt nummer 36).



Figur 16. Overflademoduler i belastningscentret bestemt fra målinger med statisk pladebelastningsudstyr. Målinger ved tre spændingsniveauer 115, 200 og 460 kPa med pladediametrene 300, 450 og 600 mm.

5.2.2 Faldlod

Faldlodsforsøgene foregik ved spændingsniveauerne 200 kPa, 300 kPa og 450 kPa med pladediameteren 300 mm. Figur 17 viser E_0 for alle tre spændingsniveauer, og figuren viser en meget svag tendens til stigende overflademodul med stigende spænding. I praksis er der dog ingen forskel mellem E_0 for de forskellige spændingsniveauer.



Figur 17. Overflademoduler i belastningscentret bestemt fra målinger med faldlod. Målinger ved tre spændingsniveauer 200, 300 og 450 kPa med pladediameter 300 mm.

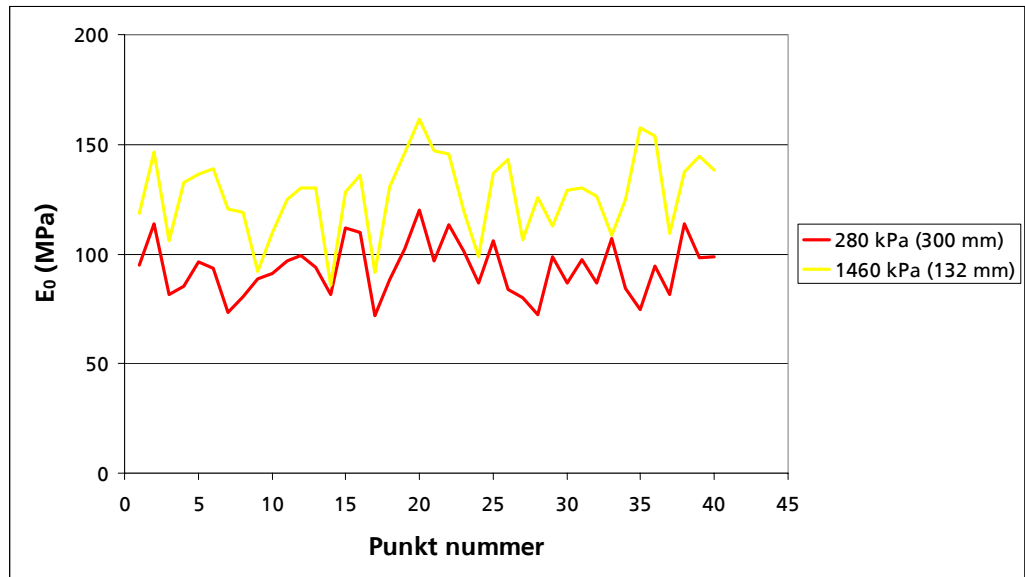
5.2.3 Loadman minifaldlod

Jævnfør Tabel 8 udførte Loadman minifaldloddet tests ved spændingsniveauerne 280 kPa og 1460 kPa med pladediameterne 132 mm og 300 mm. Figur 18 viser E_0 for de to testserier. Der ses en klar tendens til stigende overflademodul med stigende spændingsniveau. Kurveforløbet for de to tests er relativt ens, idet de samme karakteristiske punkter kan findes på begge kurver.

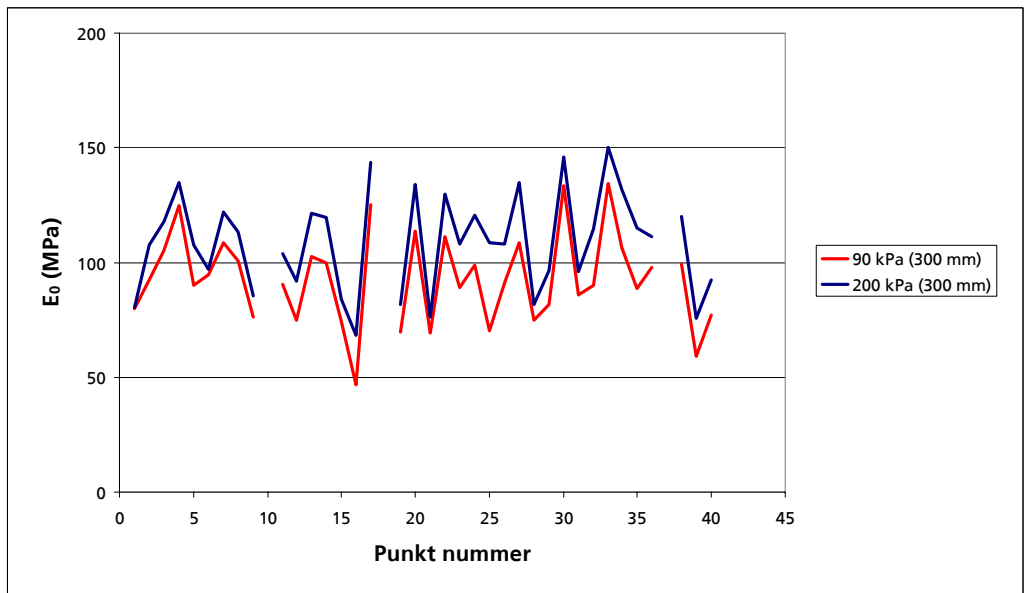
5.2.4 Keros Prima 100 minifaldlod

Keros Prima 100 minifaldloddet gennemførte tests ved to spændingsniveauer 90 kPa og 200 kPa med pladediameteren 300 mm. Figur 19 viser E_0 for de to testserier. Der ses en tendens til stigende overflademodul med stigende spændingsniveau. Kurveforløbet for de to tests er stort set ens både for høje og lave værdier af E_0 . Det bemærkes, at måling med Keros Prima 100 i punkterne 10, 18 og 37 var ustabile, og resultater fra disse punkter er derfor ikke afreporteret.

Efter at have set måleresultaterne fra alle udstyr meddelte Keros, at man havde foretaget en ny kalibrering af sit udstyr. Den nye kalibrering viste, at kraftcellen på det udstyr, som blev anvendt ved forsøget som afreporteres her, havde vist 18% for lavt i forhold til det korrekte. Data i denne rapport er ikke korrigeret for denne fejlvisning men anvender udelukkende de resultater, som blev oplyst til Vejdirektoratet umiddelbart efter forsøget i oktober 2001.



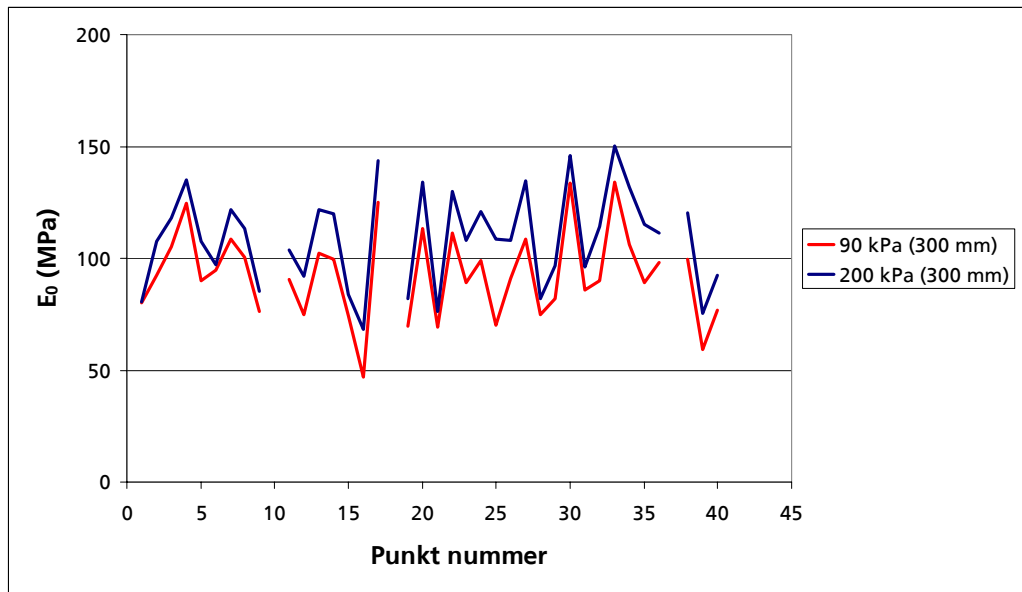
Figur 18. Overflademoduler i belastningscentret bestemt fra målinger med Loadman-minifaldlod. Målinger ved to spændingsniveauer 280 og 1460 kPa med pladediametrene 132 mm og 300 mm.



Figur 19. Overflademoduler i belastningscentret bestemt fra målinger med Keros Prima 100-minifaldlod. Målinger ved to spændingsniveauer 90 og 200 kPa med pladediameter 300 mm.

5.2.4 Zorn ZFG 2000 minifaldlod

Zorn ZFG 2000 minifaldloddet testede ved spændingsniveauet 100 kPa med en belastningsplade med diameter 300 mm. Figur 20 viser E₀ for testen. Overflademodulet ses at variere indenfor intervallet fra 40 MPa til 70 MPa.



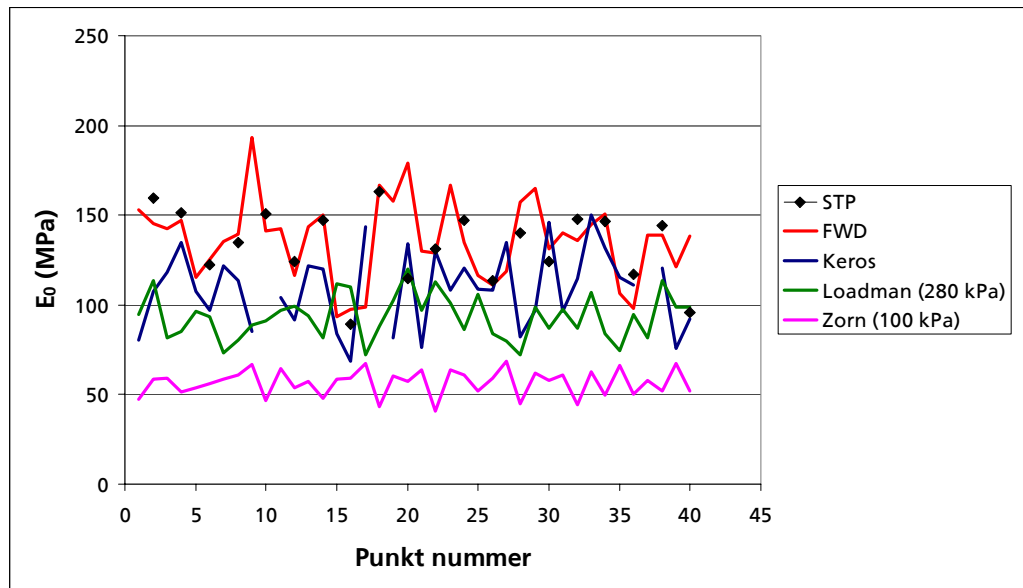
Figur 20. Overflademoduler i belastningscentret bestemt fra målinger med Zorn ZFG 2000 minifaldlod. Målinger ved spændingsniveau 100 kPa med pladediameter 300 mm.

5.3 Sammenligning af E_0 fra forskelligt udstyr

På baggrund af overflademodulerne bestemt for hvert enkelt udstyr (Afsnit 5.2) viser Figur 21 en sammenligning af E_0 fra de forskellige udstyr. Sammenligningen er foretaget ved et kontaktryk på 200 kPa, en pladediameter på 300 mm og et Poissons forhold på 0,5. Pladebelastningsudstyret, faldloddet samt Keros Prima 100 havde data for disse betingelser, mens Loadman benyttede et kontaktryk på 280 kPa, og Zorn ZFG 2000 testede ved et kontaktryk på 100 kPa. Der skal erindres om, at de forskellige udstyr testede i varierende målespor, så der må forventes en vis variation mellem E_0 -værdier i specifikke målestationer, hvorimod strækningens gennemsnit bør være ens for de fem udstyr.

Figur 21 viser en meget fin overensstemmelse mellem E_0 -værdier for pladebelastningsudstyret og faldloddet. Der er en vis sammenhæng dels mellem pladebelastning og faldlod på den ene side og minifaldloddene Keros Prima 100 og Loadman på den anden side. Zorn ZFG 2000 minifaldloddet giver betydeligt lavere E_0 -værdier end de øvrige udstyr, og udstyret har den laveste variation langs målestrækningen.

Yderligere sammenligninger af minifaldloddene vil blive foretaget i Kapitel 6.



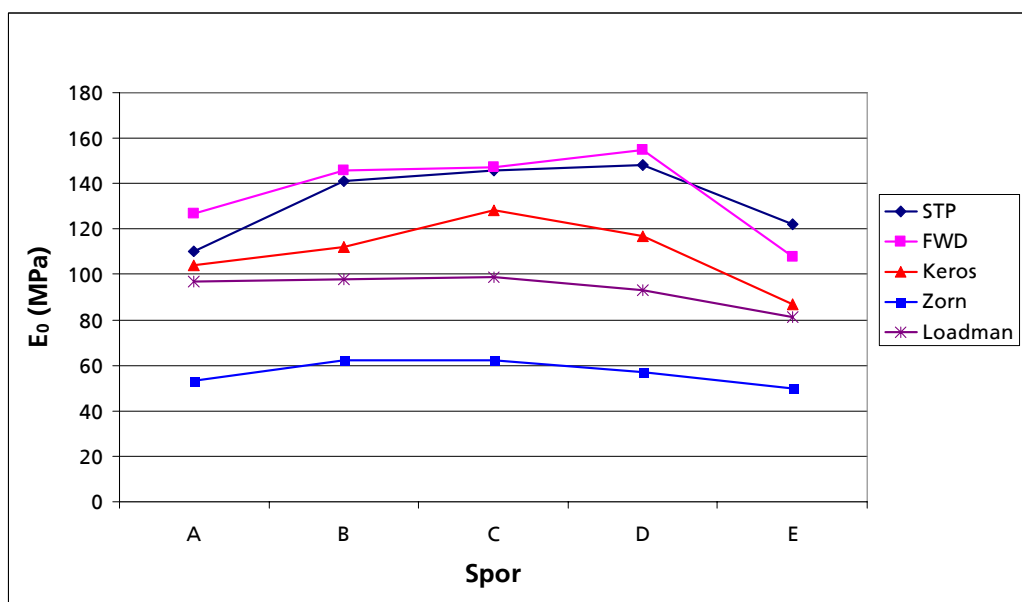
Figur 21. Sammenligning af overflademoduler bestemt med forskellige udstyr ved spændingsniveau 200 kPa og pladediameter 300 mm. Loadman og Zorn er aftestet ved andre lastniveauer.

6. Sammenligning af overflademoduler

6.1 Ensartethed af forsøgsstrækningen

Allerede under målingerne blev det konstateret at strækningen var bæreevnmæssigt uensartet, således at den var stærkest på midten og svagest i siderne. Figur 22 viser for hvert udstyr et tværprofil bestående af gennemsnittet af alle overflademoduler (ved lastniveauer som i Tabel 10) i hvert spor. Figuren bekræfter, at strækningen er svagest langs kanterne, men viser også at bæreevnen af de tre midterste spor er omtrent den samme.

Bæreevnmålingerne tyder på, at der er en strukturel forskel på tværs af den undersøgte strækning, mens der ikke er grund til at antage, at der eksisterer en uensartethed på langs af strækningen (jf. Figur 21). På baggrund heraf er det muligt at foretage analyser på spor-niveau.



Figur 22. Gennemsnitlige overflademoduler for hvert målespor.

6.2 Sammenligning af overflademoduler

Som beskrevet tidligere var det umuligt for alle udstyrene at måle ved de samme lastniveauer. De mest sammenlignelige lastniveauer, når alle udstyr skal sammenlignes, er:

Tabel 10. Lastniveauer anvendt ved sammenligninger og i Figur 21 og 22.

Udstyr	Plade diameter (mm)	Kraft (kN)	Resulterende spænding (kPa)
Loadman	300	20	280
Zorn	300	7,1	100
Keros	300	14,1	200
Faldlod	300	14,1	200
Statisk pladebelastning	300	14,1	200

Statistisk analyse af dataene (både for et spor ad gangen og for de tre midterste spor samlet) viser, hvad man umiddelbart kan se af Figur 21 og 22; at måling med faldlod og statisk pladebelastning resulterer i ens overflademoduler, som desuden resulterer i de højeste værdier blandt udstyrene. Zorn giver markant laveste overflademoduler (trykket er også det laveste), mens Keros måler lidt højere værdier end Loadman (statistisk test med signifikansniveau 0,05).

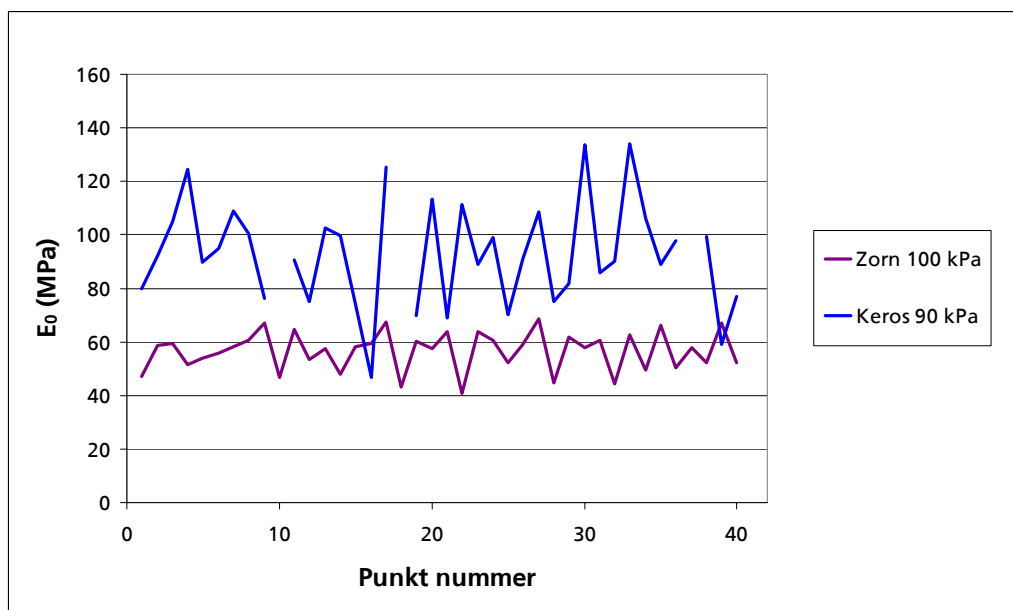
Figur 21 antyder en forskel i "følsomhed" (spredning på overflademoduler) for de forskellige udstyr. Der er ikke målt i nøjagtigt samme punkter, hvilket gør en egentlig vurdering usikker, men for overflademodulerne i spor B, C og D fås værdierne for gennemsnit og spredning som vist i Tabel 11. Spredningen bør vurderes som procent af middelværdien, hvilket antyder at Keros minifaldloddet er et relativt følsomt udstyr, mens pladebelastningsudstyret er relativt mindre følsomt.

Tabel 11. Gennemsnit og spredning for overflademoduler i spor B, C og D.

Udstyr	Gennemsnitligt overflademodul (MPa)	Spredning (MPa)	Spredning som % af gennemsnitligt overflademodul %
Loadman	97	12,8	13,2
Zorn	60	5,7	9,4
Keros	118	19,9	17
Faldlod	149	16,4	11
Statisk pladebelastning	145	11,0	7,6

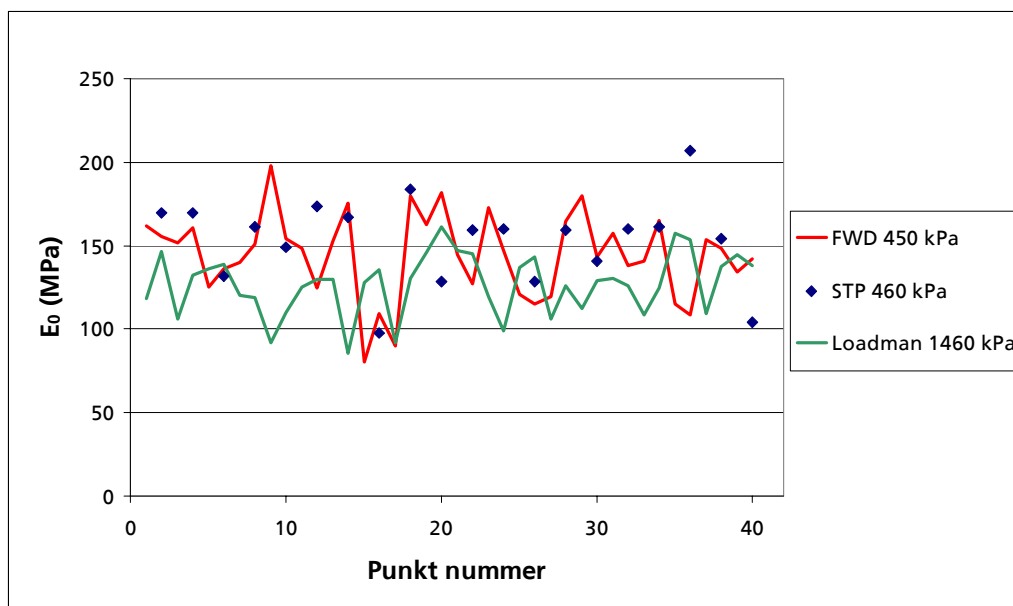
Det er muligt at lave en rimelig lineær relation, så minifaldlodsresultater kan omregnes til overflademodul fra statisk pladebelastning, men det er ikke gjort i denne analyse, idet relationen sandsynligvis kun vil være gældende for den undersøgte strækning, idet både lagtykkelser, materialetyper og naturligvis lastniveau vil have indflydelse.

Flere af udstyrene måler ved flere lastniveauer, hvilket gør andre sammenligninger interessante. Figur 23 viser en sammenligning af Zorn og Keros udstyrene ved måling ved henholdsvis 100 kPa og 90 kPa. Der er en markant forskel i overflademodul (og følsomhed) på trods af den forholdsvis ens påtrykte kontaktspænding.



Figur 23. Sammenligning af minifaldloddene Zorn og Keros ved måling under ensartede spændingsforhold.

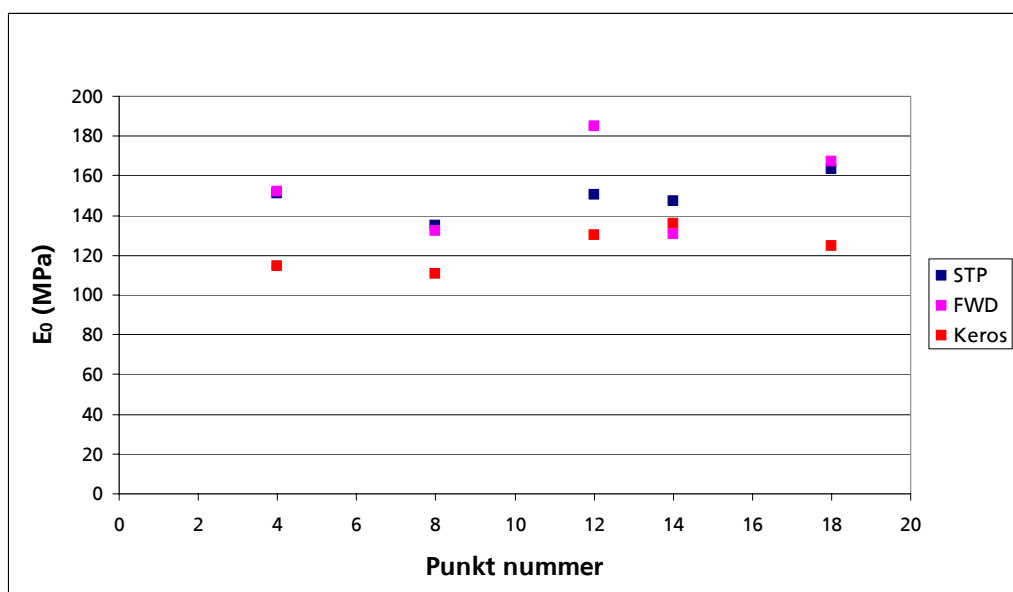
Minifaldloddet Loadman kan måle ved et meget højt spændingsniveau (1460 kPa). Dette spændingsniveau kan ikke umiddelbart sammenlignes med noget andet udstyr, men i Figur 24 er det alligevel forsøgt at sammenligne Loadmans resultater med overflademoduler fra højeste spændingsniveau for pladebelastningsudstyr og faldloddet (460 kPa henholdsvis 450 kPa). Figur 24 viser, at overflademodulet bestemt ud fra Loadman-udstyret, på trods af det meget høje lastniveau, ligger lavere end overflademodulerne bestemt fra målinger med faldlod og statisk pladebelastning. Gennemsnittet af overflademodulerne bestemt med Loadman er 127 kPa, mens det er henholdsvis 145 kPa og 153 kPa for faldloddet og pladebelastningsudstyret. Rent statistisk er Loadmans overflademoduler signifikant lavere end overflademodulerne fra faldlod og pladebelastningsudstyret (vurderet alene på overflademoduler fra spor B, C og D ved et signifikansniveau på 0,05).



Figur 24. Sammenligning af overflademoduler ved høje spændingsniveauer.

6.3 Måling i identiske punkter

Efter afslutning af måleprogrammet (som vist i Figur 13) blev der med faldloddet og Keros Prima 100 minifaldloddet udført ekstra målinger i punkterne, hvor pladebelastningsudstyret havde målt. Sammenligning af E_0 fra måling i identiske punkter og ved nøjagtigt samme lastniveau (se Tabel 10) er illustreret i Figur 25.



Figur 25. Måling i samme punkter; pladebelastningsudstyr, faldlod samt Keros Prima 100 minifaldlod.

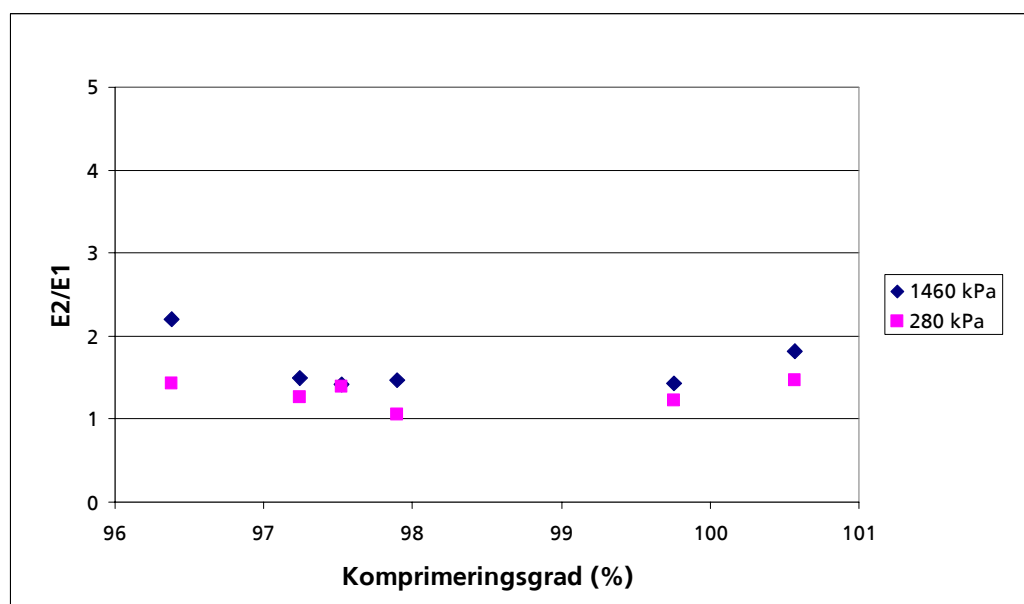
Pladebelastningsudstyret og faldloddet opnår som tidligere i høj grad sammenlignelige resultater, mens Keros Prima 100 måler overflademoduler, der i gennemsnit er en

faktor 1,2 lavere. Som nævnt i Afsnit 6.2 vil denne faktor sandsynligvis variere afhængigt af materialetyper, lagtykkelser og spændingsniveau. Keros minifaldloddets måling af centerdeflektion foregår i princippet nøjagtig som faldloddets måling. Forskellen i resultat mellem de to faldlod kan skyldes, at faldloddet under målingen overfører en betydelig statisk vægt til underlaget.

7. Sammenligning af komprimeringsgrad

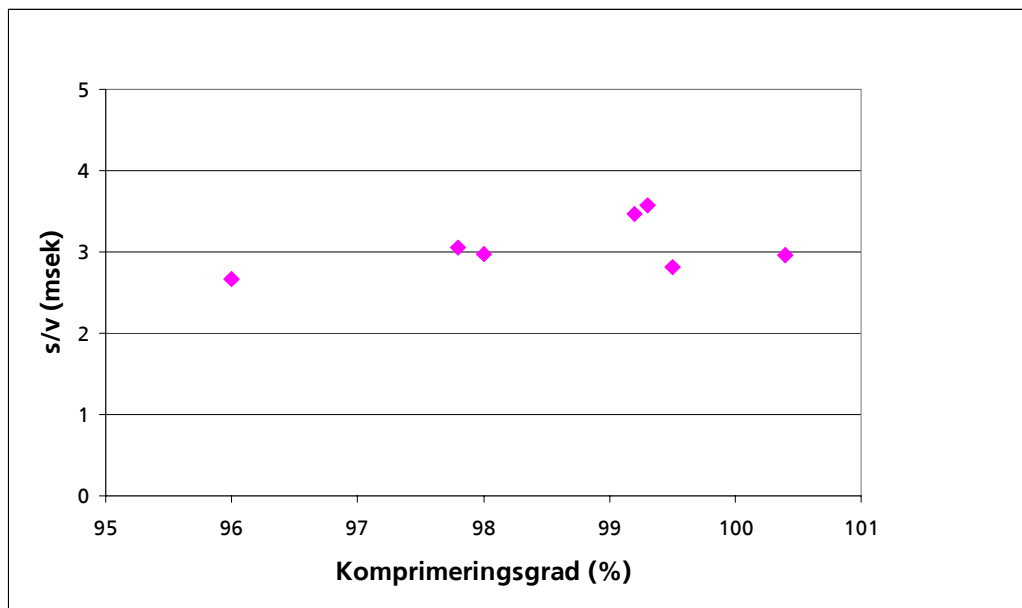
Kontrol af hvorvidt indbygning af ubundne materialer er foretaget, så materialerne udnyttes bedst muligt, sker i dag ved kontrol af komprimeringsgraden bestemt med isotopudstyr. Det ville være både interessant og relevant at undersøge bæreevnen af de ubundne lag for at kontrollere forudsætningerne for dimensioneringen. I denne sammenhæng kunne minifaldloddet spille en rolle.

Ved forsøget den 4. oktober blev der målt komprimeringsgrad i tyve punkter indenfor en halv meters afstand til et minifaldlods målepunkt. Loadman og Zorn minifaldloddene opererer også med en komprimeringsgrad, jf. Afsnit 3.3.1 og 3.3.3. En sammenligning af Loadmans komprimeringsgrad og komprimeringsgraden opnået ved isotopsondemåling er vist i Figur 26, mens sammenligningen af Zorns komprimeringsgrad og isotopmålingen er vist i Figur 27.



Figur 26. Sammenligning af Loadmans komprimeringsgrad og komprimeringsgrad bestemt med isotopudstyr.

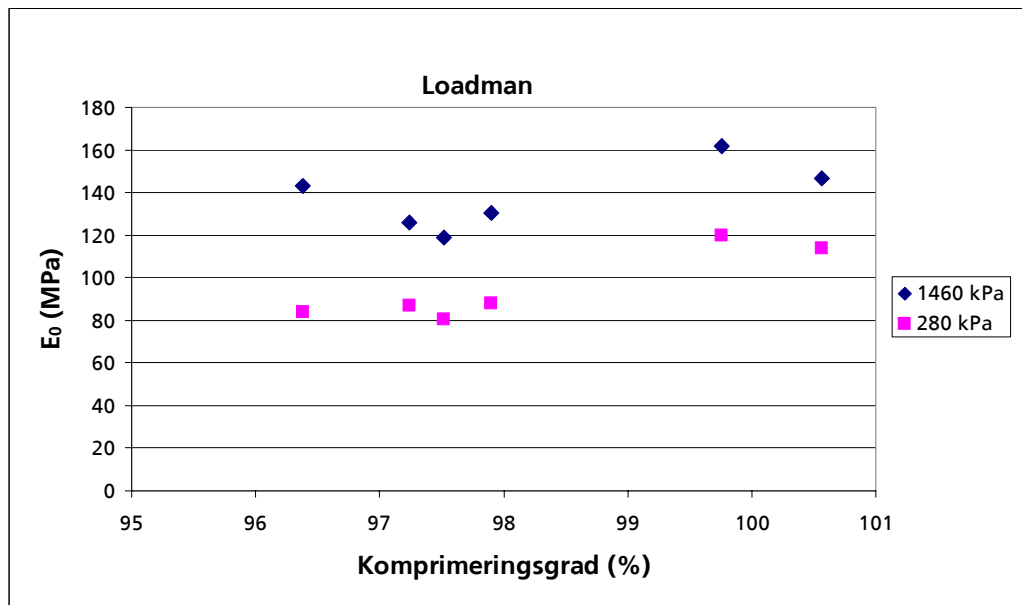
I Figur 26 ville man forvente en aftagende sammenhæng. Det ses også, bortset fra det sidste punkt. Formen på kurven virker logisk, da man må forvente en stærkere hældning på kurven ved de lave komprimeringsgrader, og en mere jævn sammenhæng ved de høje komprimeringsgrader.



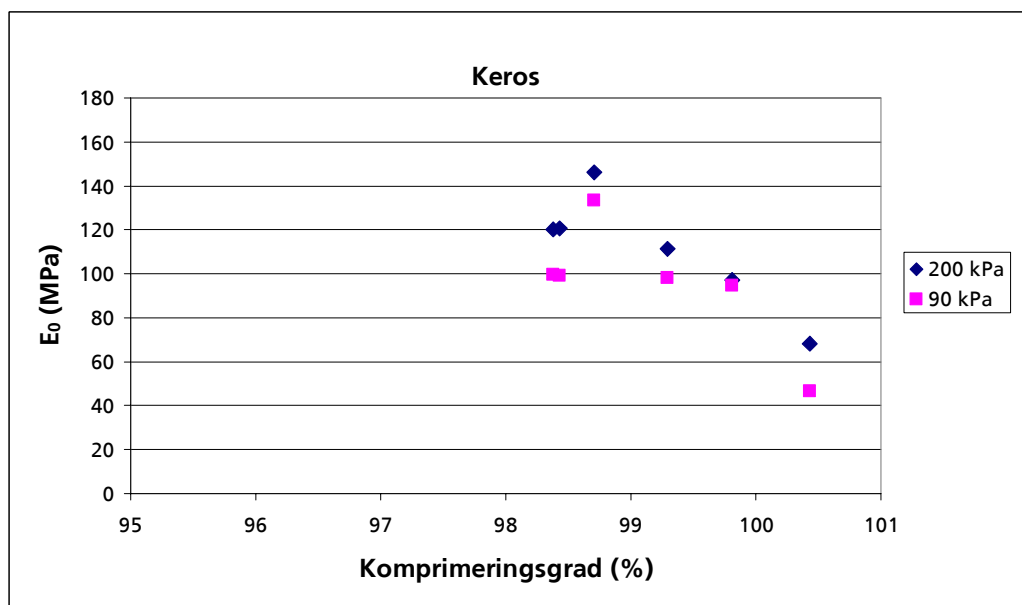
Figur 27. Sammenligning af Zorns komprimeringsgrad og komprimeringsgrad bestemt med isotopudstyr.

Også i Figur 27 ses en sammenhæng, der er i overensstemmelse med det forventede bortset fra de to punkter med de højeste komprimeringsgrader. Disse punkter bryder den stødt stigende tendens.

I det følgende er det også forsøgt at sammenligne overflademodulet med komprimeringsgraden målt med isotopsonde. Her kan man umiddelbart forvente en stigende sammenhæng, især for de lave komprimeringsgrader, og en sandsynligvis stadigt stigende sammenhæng for de høje komprimeringsgrader, men dog nok kun en lille stigningsprocent. De følgende tre figurer (Figur 28-30) viser sammenligningen for hvert af de tre minifaldlod. Det er svært at se en klar sammenhæng. Keros faldloddet viser en negativ sammenhæng. Zorns overflademodul har stort set samme værdi uanset komprimeringsgrad, og sammenhængen for Loadman er ikke entydig.

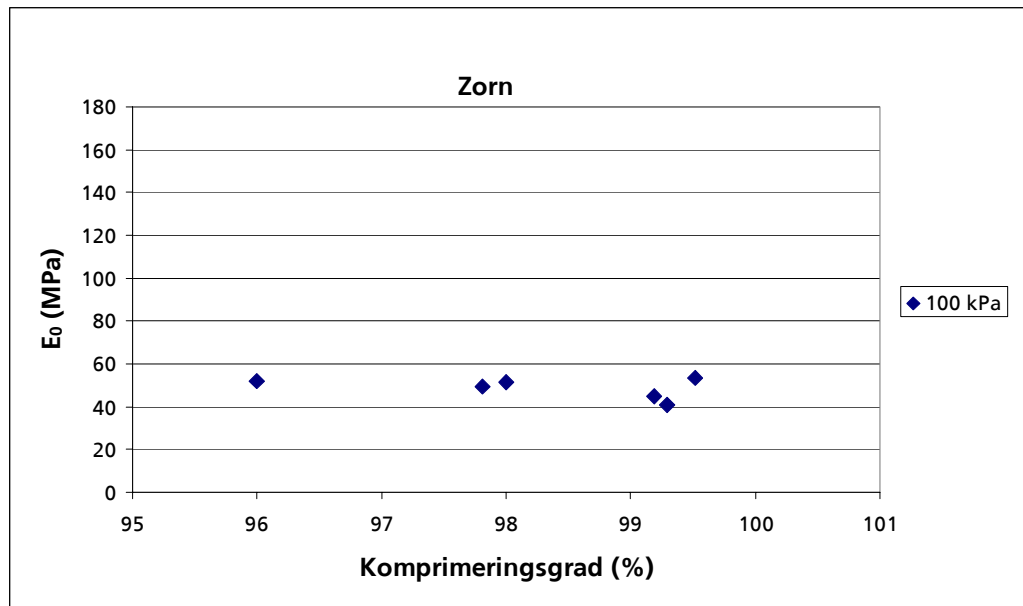


Figur 28. Sammenligning af overflademodul beregnet fra Loadman-måling og komprimeringsgrad.



Figur 29. Sammenligning af overflademodul beregnet fra Keros-måling og komprimeringsgrad.

Det ser ud til at overflade E-modulet ikke kan bruges til at vurdere komprimeringsgraden. Derimod antyder de udstyr der beregner en komprimeringsgrad, en logisk sammenhæng med isotopsonde-værdien. Der er dog for få isotopsonde målinger til endeligt at vurdere sammenhængen.



Figur 30. Sammenligning af overflademodul beregnet fra Zorn-måling og komprimeringsgrad.

Man kan argumentere, at der kan være usikkerhed på isotopudstyrets bestemmelse af komprimeringsgraden, idet vandindholdsmålingen med isotopudstyr kun sker i de øverste 5-7 cm af grusbærelaget, mens våddensiteten bestemmes for de øverste 15 cm. I starten af forsøgsdagen var den øverste del af gruslaget muligvis mere tørt end i 15 cm dybde. Senere på dagen kunne forholdet være omvendt, idet der kom nogle kraftige regnbyger, der må have påvirket vandindholdet på den sidste del af strækningen. Sammenligninger mellem overflademodul og komprimeringsgrad er derfor også fortaget med komprimeringsgraden beregnet ud fra en våddensitet korrigeret for et vandindhold på 6 procent, som i gennemsnit var det vandindhold, som laboratoriemålingen viste for stabilt grus. Bilag 3 viser disse sammenligninger, der ikke umiddelbart giver forklarlige resultater, og som desuden ikke afviger væsentligt fra indtrykket fra Figur 28-30.

Der er stor forskel på hvad der måles, når der bruges mini-faldlod henholdsvis isotopsonde. Faldlodsmålingen er påvirket af bundsikringsmaterialet og måske endda af råjorden, mens komprimeringsgraden bestemt med isotopudstyr alene bestemmes for den øverste halvdel af gruslaget. Derudover er der en del variation på målinger med isotopsonde, så der burde have været et større datamateriale for at gennemføre en sammenligning (og især et datamateriale med større spredning på komprimeringsgraden). Sandsynligvis bør der være komprimeringsgrader på 90 procent eller derunder, før man for alvor kan se sammenhængen mellem komprimeringsgrad fra henholdsvis minifaldlod og isotopsonde. Det kan anbefales at udføre endnu et sammenlignende forsøg for at belyse denne sammenhæng (denne gang på råjord som er ensartet i dybden).

8. Konklusion

Værdien af det gennemførte forsøg var ikke så stor som forventet og ønsket, fordi den anvendte strækning ikke var ensartet med hensyn til komprimering og vandindhold. Det må ligeledes betegnes som begrænsende for forsøget, at det kun var muligt at udføre de sammenlignende målinger på én strækning med én type naturlig underbund. På baggrund af de opnåede resultater, og de begrænsninger som disse har på grund af forsøgsbetingelserne, kan der konkluderes følgende:

Det primære formål med forsøget var at undersøge, hvorvidt udstyret til statisk pladebelastning kan erstattes af faldlodet. Baseret på beregninger overflademodulet E_0 i belastningscentret ser det ud til, at der er en meget fin og direkte korrelation mellem resultaterne fra de to udstyr. En endelig vurdering må dog baseres på forsøg på flere underbundstyper, og samtidig bør undersøgelsen baseres på bestemmelse af E -værdier for bærelag, bundsikringslag og underbund.

Feltforsøget ved Århus viste, at faldlodet resulterer i overflademoduler, der er stort set identiske med resultaterne fra pladebelastningsudstyret, mens de tre minifaldlod giver overflademoduler, som i nogen eller begrænset grad ligner resultaterne fra pladebelastningsudstyret. Forsøgene viser, at Loadman og Keros minifaldlodde i nogen grad stemmer overens med resultaterne fra pladebelastningsudstyr og faldlod, men de to sidstnævnte udstyr giver dog signifikant højere overflademoduler. Overflademodulerne fra Zorn minifaldlodet er væsentligt lavere end bestemt med de øvrige udstyr.

For alle udstyr, som målte ved mere end et kontaktryk, blev det konstateret, at E_0 steg med stigende kontaktryk.

Baseret på overflademoduler kan det statistisk vises, at Keros faldlodet er mest følsomt (har størst spredning på E_0), mens pladebelastningsudstyret er mindst følsomt.

Det vil være muligt ad statistisk vej at opstille rimelige korrelationsligninger for sammenhængen mellem E_0 bestemt ved pladebelastning (eller faldlod) og hvert af de tre minifaldlod. Denne faktor vil imidlertid kun gælde for det aktuelle forsøgssted og for de betingelser som det aktuelle forsøg blev udført under.

I øjeblikket anvendes komprimeringsgraden som kriterium ved vurdering af kvaliteten ved indbygning af ubundne materialer. Der er ikke i forsøget fundet en umiddelbar sammenhæng mellem overflademodul og komprimeringsgrad. Resultater fra Loadman og Zorn udstyrene, der bestemmer et udtryk for komprimeringsgraden, antyder, at denne værdi kan sammenlignes med den traditionelle komprimeringsgrad fundet med isotopsonde og laboratoriestemt referencedensitet.

På baggrund af det gennemførte forsøg konkluderes, at faldloddet giver resultater, som ligner resultaterne fra referenceudstyret, pladebelastningsudstyret. Faldloddet, som er det hurtigste måleudstyr af samtlige afprøvede, giver flest relevante data, som desuden kan anvendes direkte i Vejdirektoratets analyseprogrammer.

Minifaldloddene er meget velegnede til vurdering af bæreevnen af råjord og bundsikringsmaterialer samt på øvrige steder, hvor man ikke kan anvende faldloddet på grund af begrænset plads (som i ledningsgrave og byggegruber).

Det bør undersøges nøjere, hvorledes minifaldlod og isotopsonde kan supplere hinanden bedst muligt, og om det eventuelt er muligt udelukkende at anvende minifaldloddet.

Det anbefales, at Vejdirektoratet satser på og fortsat undersøger muligheden for at erstatte pladebelastningsudstyret med faldloddet. Minifaldloddet bør introduceres som et hurtigt kontrolinstrument ved indbygning af råjord, bundsikringsmaterialer samt stabilt grus. På længere sigt bør det overvejes at indarbejde minifaldloddet i de formelle kontrolprocedurer, der anvendes ved aflevering af råjord og bundsikringsmaterialer, således at der stilles krav til eftervisning af såvel komprimering som bæreevne for disse lag.

Minifaldlod bør ikke anvendes på asfalt- eller betonbelægninger, idet den påførte kraft ikke er tilstrækkelig til at repræsentere de virkelige trafikbelastninger på en vej.

Litteratur

Leksø, Steen: Komprimeringskontrol efter isotopmetode, Leveringsbetingelser og prøvningsmetoder 16, Vejteknisk Institut, Vejdirektoratet, Roskilde, 1984.

COST 336: Use of Falling Weight Deflectometer in Pavement Evaluation, Final report of Action, European Commission, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Luxembourg. Findes kun elektronisk på adressen: <http://62.242.229.98/fog/fwd/cost336.htm>.

Nielsen, Steen: 3-plademetoden, programmer, Internt notat 41, Vejteknisk Institut, Vejdirektoratet, Roskilde, 1975.

Thagesen, Bent (red.): Veje og stier, Polyteknisk Forlag, Lyngby, 1998.

Udbuds- og anlægsforskrifter for jordarbejder, Vejreglerådet, Vejdirektoratet, København, 1984.

Udbuds- og anlægsforskrifter for bundsikringslag af sand og grus, Vejreglerådet, Vejdirektoratet, København, 1998.

Udbuds- og anlægsforskrifter for ubundne bærelag af stabilt grus, Vejreglerådet, Vejdirektoratet, København, 1998.

Ullidtz, Per: Pavement Analysis, Elsevier, Amsterdam, Holland, 1987.

Bilag

Bilag 1 Lagtykkelser, in situ vandindhold og øvrige resultater fra laboratorie forsøg	51
Bilag 2 Isotopsondemålinger.....	61
Bilag 3 Sammenligning af overflademodul og komprimeringsgrad, når våddensitet er korrigeret med vandindholdet 6 procent for alle målinger	63

Bilag 1

Lagtykkelser, in situ vandindhold og øvrige resultater fra laboratorieforsøg

For tabeller over lagtykkelser og vandindhold refererer tværnsnitsnumre til oversigtsplanen i Figur 13. Vandindhold er bestemt på materialeprøver for hver af de fire tværnsnit, mens sigteanalyse, standard proctor og CBR-forsøg er udført på materiale sammensat af materialeprøverne fra alle fire tværnsnit.

Lagtykkelser

	Tværnsnit 5	Tværnsnit 15	Tværnsnit 25	Tværnsnit 35
Stabilt grus	22,5	30,0	22,0	25,0
Bundsikringssand	33,5	40,0	23,0	32,0

Vandindhold bestemt i laboratoriet

	Tværnsnit 5	Tværnsnit 15	Tværnsnit 25	Tværnsnit 35
	%	%	%	%
Stabilt grus	6,3	5,9	6,3	5,9
Bundsikringssand	5,5	5,9	7,8	4,4
Morænesand	6,3	8,4	7,9	7,4

Karakteristiske værdier fra sigteanalyse samt sandækvivalent

	Frasigtet > 16 mm (%)	Gennemfald < 0,075 mm (%)	Sandækvivalent (%)
Stabilt grus	37,2	4,2	31
Bundsikringssand	3,5	3,3	49
Morænesand	16,1	20,1	-

Vejteknisk Institut
Att.: Susanne Baltzer
Elisagårdsvej 5
4000 Roskilde

Rapport nr.: G 1550 / F
Sagsnr.: R-STP-PWD
Init.: OMJ
Dato: 12. oktober 2001
Side: 1 af 5

Prøvningsrapport

Rekvirent: Susanne Baltzer, Vejteknisk Institut


Føretaget prøvning af: Indleverede prøver af 5. oktober 2001

Metodereferencer: Vandindhold DS 405.11:1978
Sigteanalyse DS 405.9:1978
Sandækvivalent, dobbeltbestemmelse DS 405.10:1978
CBR-forsøg ved proctor VD 611.6:1969

Prøvningen udført: I perioden 5. – 12 oktober 2001

Prøvningsresultat: Fremgår af side 2 - 5

Med venlig hilsen



Ole Milvang-Jensen

Regning for undersøgelserne fremsendes senere.

Med mindre anden aftale foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 14 dage.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner.

Prøvningsrapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden laboratoriets skriftlige godkendelse.

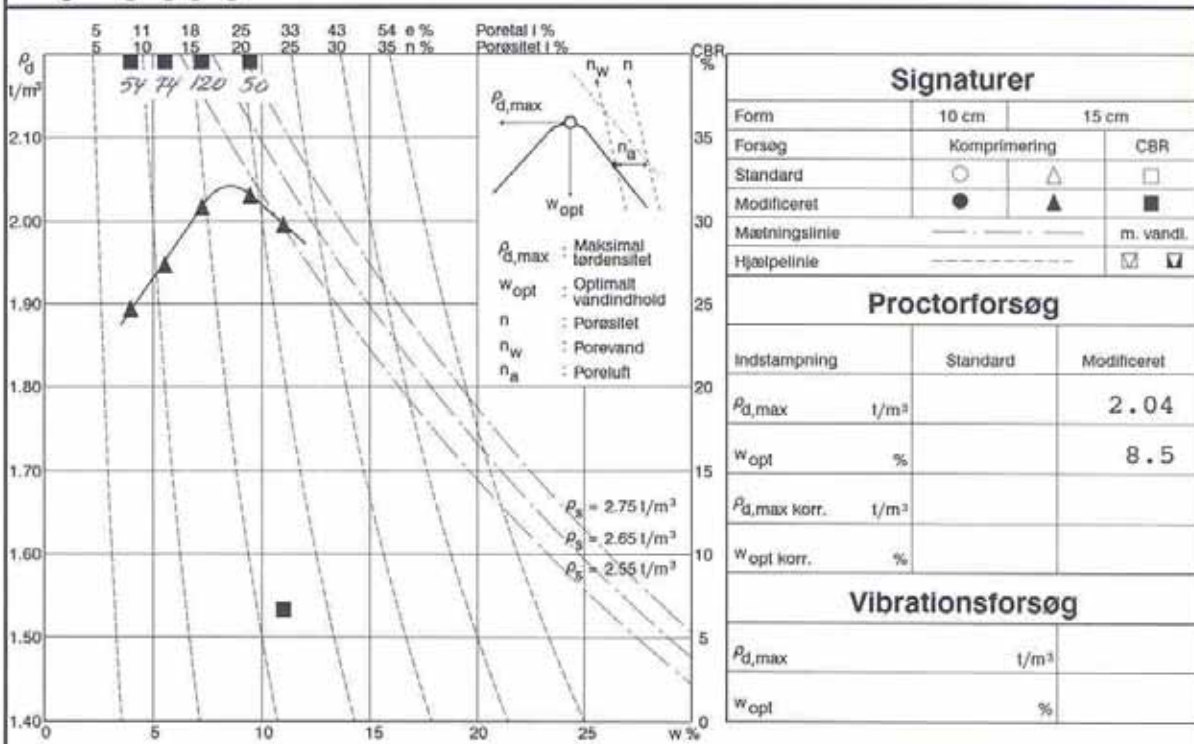
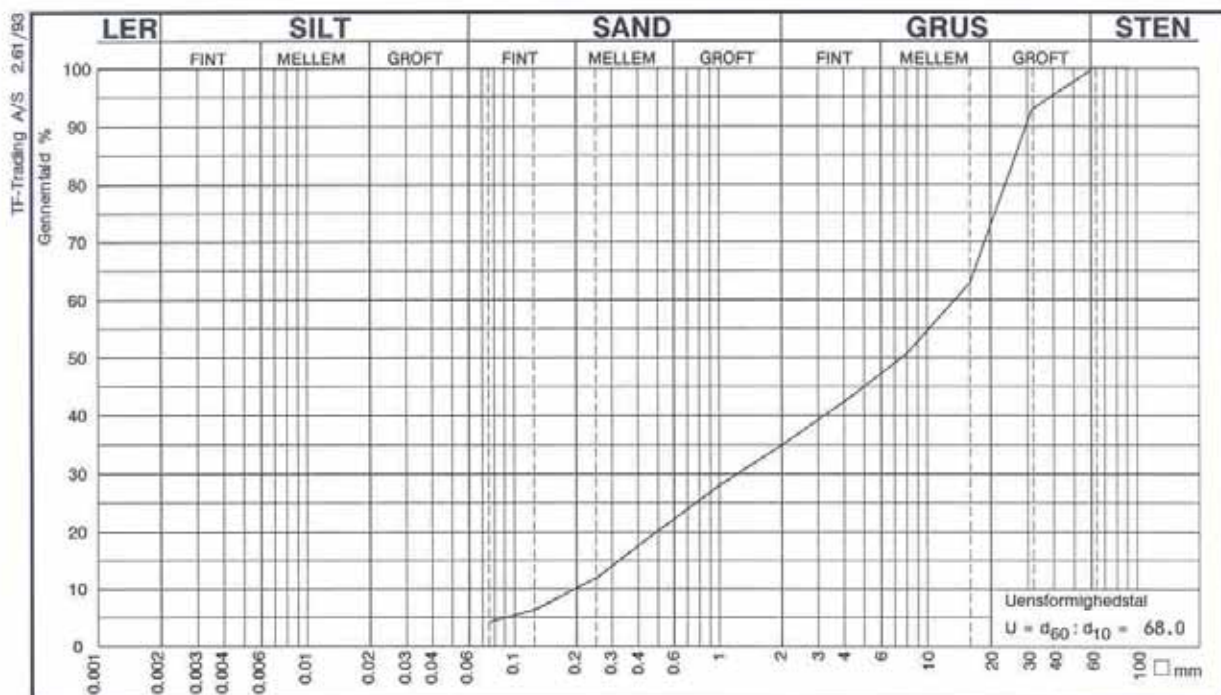
Adresse
Vejdirektoratet
Vejteknisk Institut
Elisagårdsvej 5
Postboks 235
DK-4000 Roskilde

Telefon
+45 46 30 70 00

Telefax
+45 46 30 71 05

Postgiro
4 07 64 00

Bilag 1 (fortsat)



Gennemfald 0,075 mm	4.2 %	Frasiglet > 16 mm	s	37.2 %	Frasiglet > 75 mm	%
Flydegrænse	w_L	Plasticitetsgrænse	w_P	%	Plasticitetsindeks	I_P %
Korndensitet (0 - 0,075 mm)	ρ_s	Korndensitet (0-16 mm)	ρ_s	t/m ³	Korndensitet (> 16 mm)	ρ_s t/m ³
Kalkindhold (0 - 1 mm)	k_a	Kalkindhold (0-16 mm)	k_a	%	Kalkindhold (> 16 mm)	k_a %
Glødelab	g_l	Glødelab reduceret	$g_l \text{ red}$	%	Humusindhold	
Sandækvivalent	SE	Kapillartet	h_c	cm		
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ	w_{nat}	%		

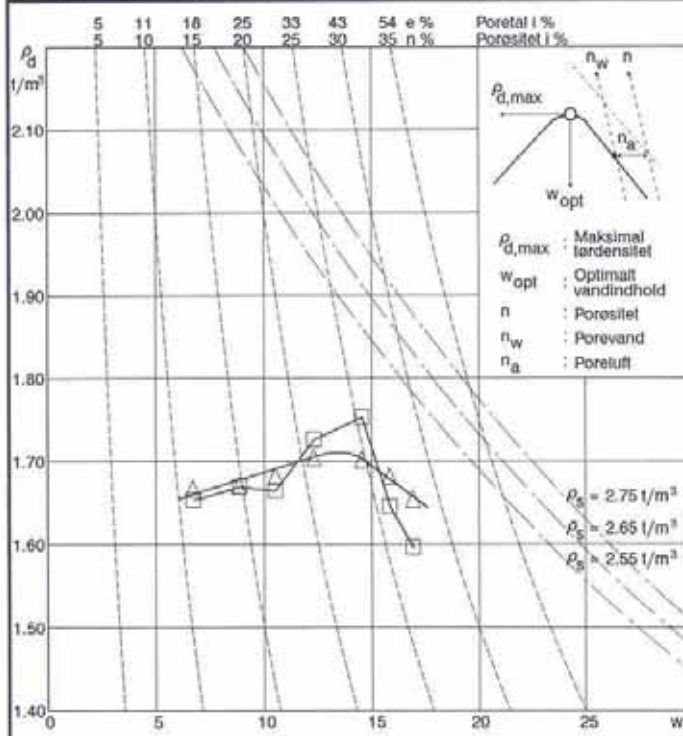
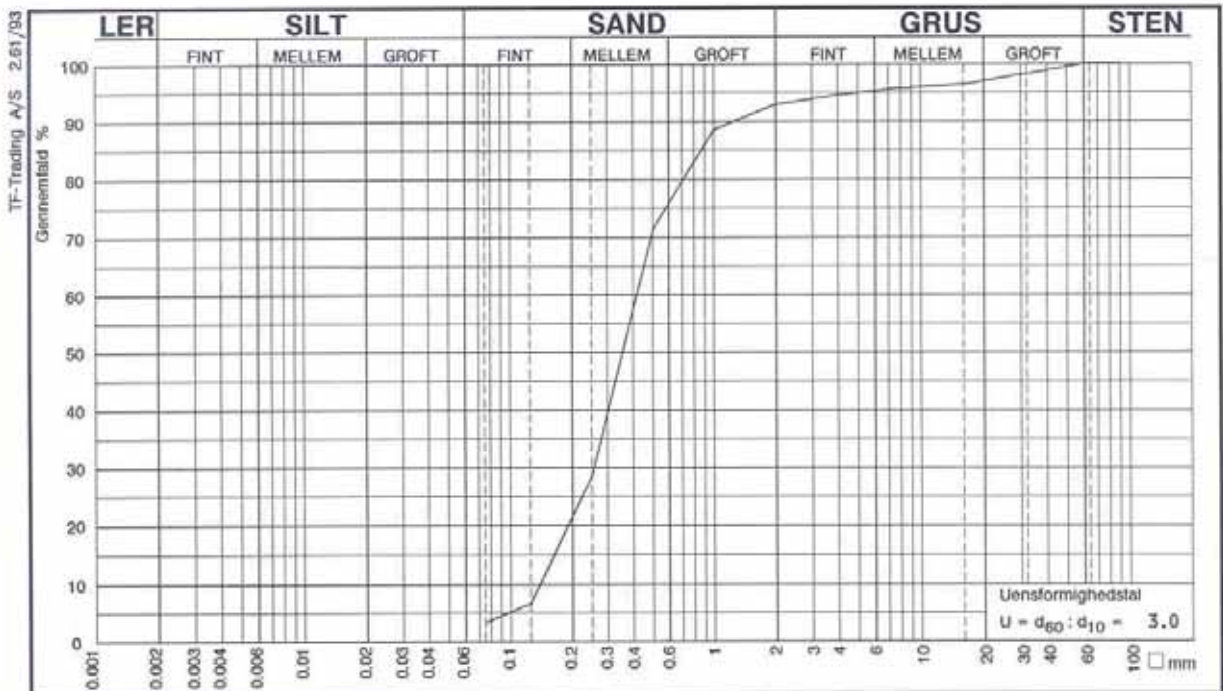
Prøvebeskrivelse: SG Tværsnit 1-2-3-4

Rekvirent: SUB	 Vejdirektoratet Statens Vejlaboratorium	Station:	Mrk.:
Sted: Tilsyn Frankov		Boring:	Lab.nr.: 1-4
Udt.d.: 4/10-2001	Tegn.: AHH	Dybde:	Bilag/side nr.: 2
Modt.d.: 5/10-2001	Godk.: 7/10-0101	Kote:	Sag nr.: R-STP-FWD

FORSØGSOVERSIGT

F

Bilag 1 (fortsat)



Signaturer		
Form	10 cm	15 cm
Forsøg	Komprimering	CBR
Standard	○	△
Modifieret	●	▲
Mætningslinje	-----	m. vandl.
Hjælpelinje	-----	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Proctorforsøg		
Indstampning	Standard	Modifieret
$\rho_{d,max}$	t/m ³	1.71
w_{opt}	%	13.5
$\rho_{d,max}$ korr.	t/m ³	1.73
w_{opt} korr.	%	13.1

Vibrationsforsøg	
$\rho_{d,max}$	t/m ³
w_{opt}	%

Gennemfald 0,075 mm	3.3 %	Frasigtet > 16 mm	s	3.5 %	Frasigtet > 75 mm	%
Flydegrænse w_L	%	Plasticitetsgrænse w_P	%	Plasticitetsindeks I_P	%	%
Korn densitet (0 - 0,075 mm) ρ_s	t/m ³	Korn densitet (0-16 mm) ρ_s	t/m ³	Korn densitet (> 16 mm) ρ_s	t/m ³	%
Kalkindhold (0 - 1 mm) ka	%	Kalkindhold (0-16 mm) ka	%	Kalkindhold (> 16 mm) ka	%	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl_{red}	%	Humusindhold		
Sandækvivalent SE	49	Kapillaritet n_c	cm			
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w_{nat}	%			

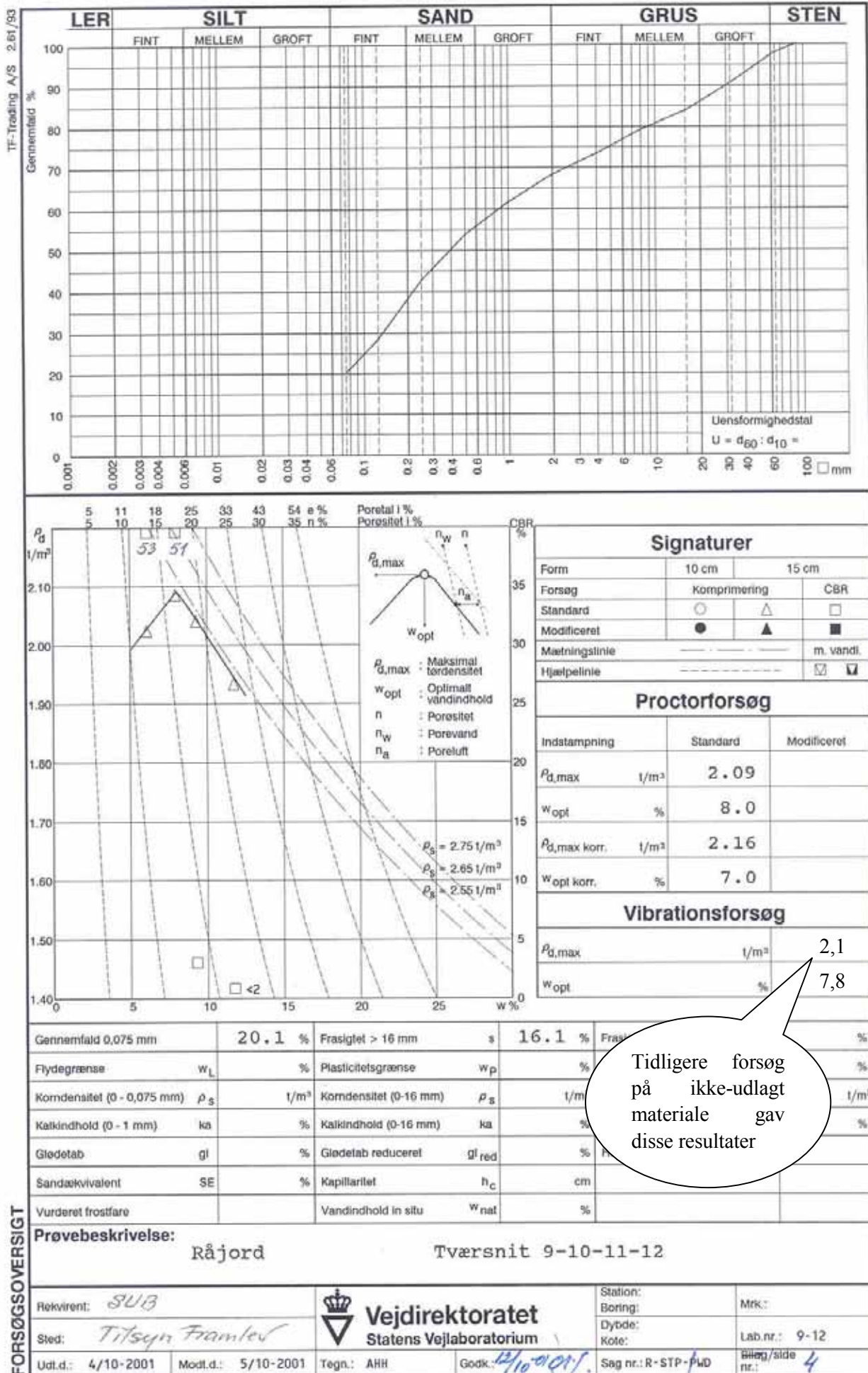
Prøvebeskrivelse: **BS** Tværsnit 1-2-3-4

FORSØGSOVERSIGT

Rekvirent: <i>SUB</i>		Station:	Mrk.:
Sted: <i>Tilsyn Franlev</i>		Boring:	Lab.nr.: 5-8
Udt.d.: 4/10-2001	Tegn.: AHH	Dybde:	Bilag/side nr.: 3
Modt.d.: 5/10-2001	Godk.: <i>12/10-01/01</i>	Kote:	
		Sag nr.: R-STP-PWD	

F

Bilag 1 (fortsat)



FORSØGSOVERSIGT

F

Bilag 2

Isotopsondemålinger

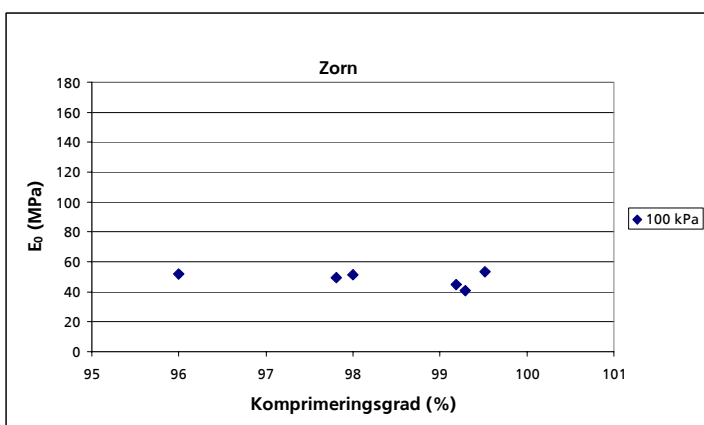
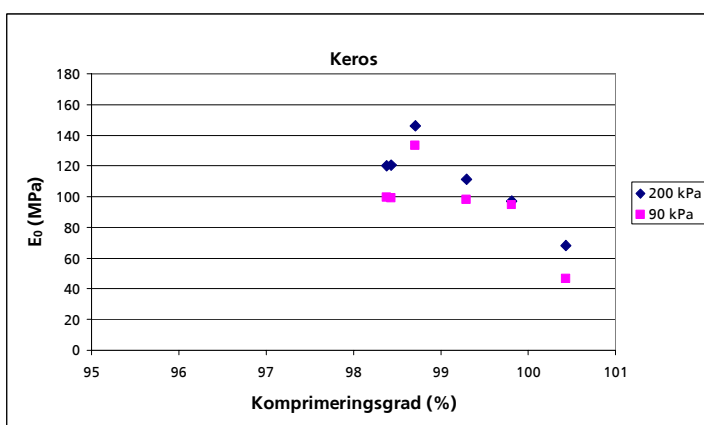
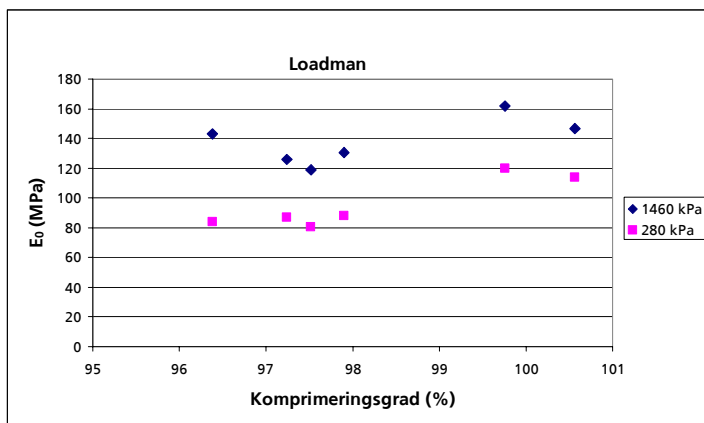
Målinger foretaget den 4. oktober 2001.

Referencedensitet: 2100 kg/m³ (fra vibrationsforsøg, jf. Bilag 1).

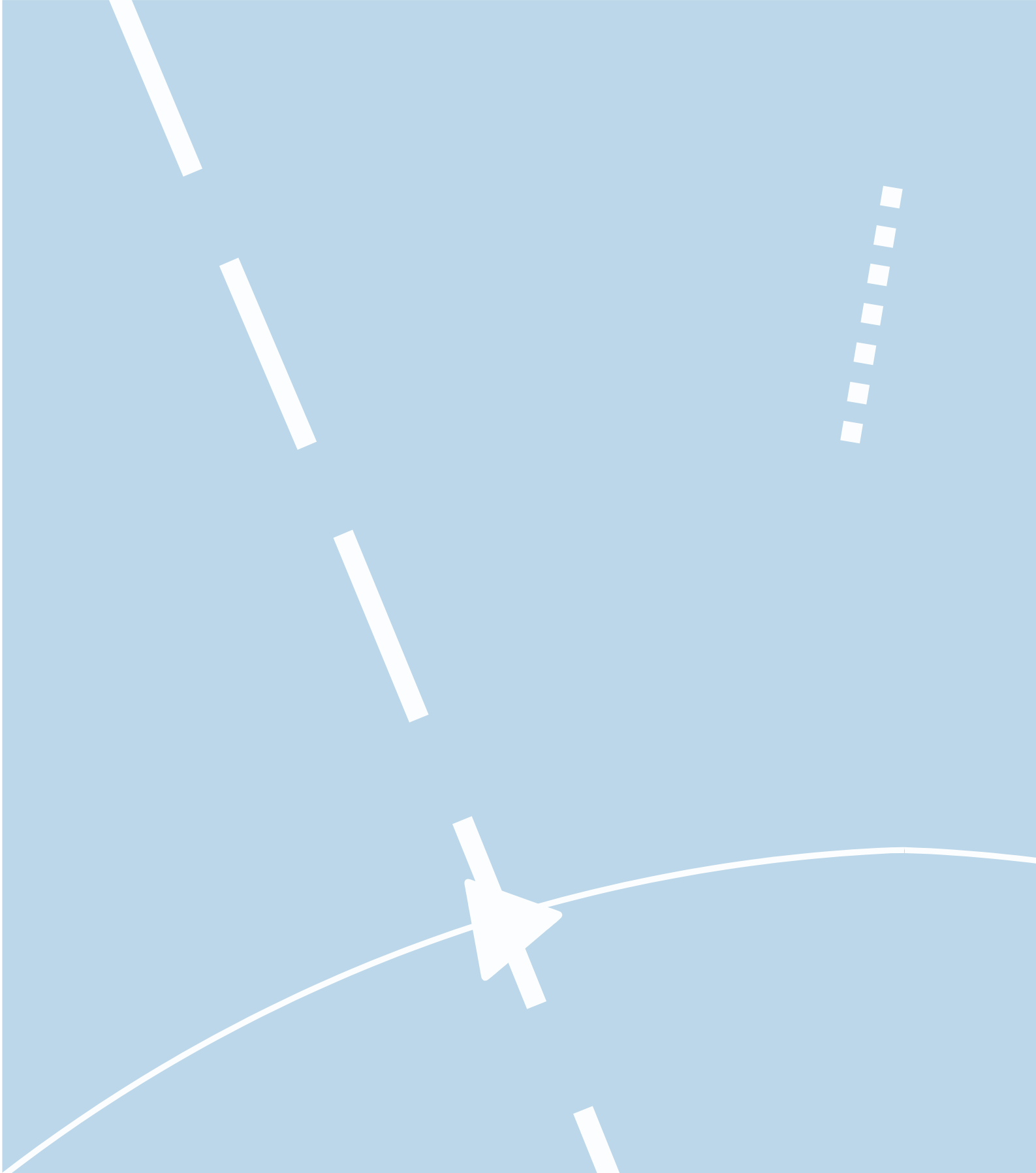
Tværsnit	Punkt	Våddensitet kg/m ³	Tørdensitet kg/m ³	Vandindhold %	Komp.grad %
2	1	2233	2112	5.7	100.6
4	2	2175	2058	5.7	98.0
5	4	2191	2076	5.6	98.9
6	4	2139	2016	6.1	96.0
6	3	2215	2096	5.6	99.8
8	1	2160	2048	5.5	97.5
10	3	2174	2063	5.4	98.2
12	2	2200	2090	5.2	99.5
14	2	2233	2136	4.5	101.7
16	3	2212	2109	4.9	100.4
18	1	2178	2056	6.0	97.9
20	1	2208	2095	5.4	99.8
22	2	2196	2085	5.3	99.3
24	3	2172	2067	5.1	98.4
26	1	2128	2024	5.1	96.4
28	2	2199	2083	5.5	99.2
30	3	2187	2073	5.5	98.7
32	1	2158	2042	5.7	97.2
34	2	2163	2054	5.3	97.8
36	3	2194	2085	5.2	99.3
38	3	2179	2066	5.4	98.4
40	2	2134	2016	5.9	96.0

Bilag 3

Sammenligning af overflademodul og komprimeringsgrad, når våddensitet er korrigeret med vandindholdet 6 procent for alle målinger.



Eksternt notat / Technical notes		
Nr. No.	Titel/Title/Shortcut	Forfatter/Author
1/96	Bindemidler til OB Resultater efter 10 års brug på hldv. 119, Skovvejen	Hans Christian Korsgaard Carsten Bredahl Nielsen
2/96	Testing GPS equipment for use on Road Data surveying vehicles surveying vehicles	Henrik Vad Jensen Poul Nørgård
3/96	Blistring i membraner til broisolering. Laboratorieprojekt	Finn Thøgersen
4/96	Slagge fra affaldsforbrænding kan anvendes i anlægssektoren	Knud A. Pihl Jens Ludvig Sørensen
5/96	Ringanalyse for gyrokompaktor	Anders Kargo
6/97	Vejteknisk Instituts Handlingsplan for 1997	Ledergruppen
7/97	Vejsektorens forbrug af råstoffer	Per Ahrentzen Flemming Berg)
8/98	Fællesafprøvning af diverse asfalttyper i forbindelse	Jørn Raaberg Ole Grann Andersson
9/99	Måling af asfaltbelægningsers tekstur i relation til friktion	Bjarne Schmidt
10/00	Tilstandsvurdering af udvalgte kunststofbelægninger http://www.vd.dk/pdf/Eksternt_notat_10.pdf	Jeanne Rosenberg
11/00	Temperaturer i vejbefæstelser http://www.vd.dk/pdf/notat11.pdf	Susanne Baltzer Brian Henriksen Ole Fog
12/01	Vejens egenskaber - fra måleure og regnestok til sensorer og pc'ere (Ikke i elektronisk udgave)	Jørgen Banke
13/02	The Danish Road Testing Machine 1995 - 2000 http://www.vd.dk/pdf/eksnot13.pdf	Wei Zhang Robin Macdonald
14/02	Sammenligning mellem Viagraf og viagrafækvivalent beregnet ud fra profilografmålinger http://www.vd.dk/pdf/eksnot14.pdf	Bjarne Schmidt
15/02	Rensning af overfladevand og husholdningsspildevand http://www.vd.dk/pdf/eksnot15.pdf	Gitte Falstrup Knud A. Pihl
16/03	Statisk pladebelastning, faldlod og minifaldlod Resultater af sammenlignende målinger http://www.vd.dk/pdf/eksnot16.pdf	Gregers Hildebrand Susanne Baltzer



Vejdirektoratet
Niels Juels Gade 13
Postboks 9018
1022 København K
Telefon: 3341 3333
Telefax: 3315 6335

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5
Postboks 235
4000 Roskilde
Telefon: 4630 7000
Telefax: 4630 7105

Vejdirektoratet
Thomas Helsteds Vej 11
Postboks 529
8660 Skanderborg
Telefon: 8993 2200
Telefax: 8652 2013

vd@vd.dk
www.vd.dk