



Undersøgelse af slotsgrus

Specifikationer og funktionskrav



Vejteknisk Institut
2006



Vejdirektoratet

Vejdirektoratet
Guldalderen 12
2640 Hedehusene

Tlf.: 72447000
Fax.: 7244 7105
Vejdirektoratet.dk

Titel	Undersøgelse af slotsgrus - specifikationer og funktionskrav
Dato	December 2006
Forfatter	Gregers Hildebrand
Laboranter	Annette H. Hansen Ina Mandal Morten H. Bristorn Mogens Larsen Henrik A. Pedersen
Kvalitetssikring	Flemming Berg
Produktion af rapport	Svenning Olm
Foto	Palle Kristoffersen og Torben Dam, Skov & Landskab - KVL
Udgiver	Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut



Undersøgelse af slotsgrus

Specifikationer og funktionskrav

Gregers Hildebrand

Vejteknisk Institut
2006



Vejdirektoratet

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	5
Indledning.....	6
Konklusion	7
Specifikation af Slotsgrus.....	8
Udførte laboratorieprøvninger.....	8
Resultater af klassifikationsprøvninger	8
Resultater af frosthævningsforsøg	9
Generelt	9
Forsøgsapparat og målemetode.....	9
Aktuel fremgangsmåde.....	10
Resultater	11
Produktionsstyring.....	11
Funktionsprøvning af Slotsgrus.....	14
Eksisterende belægninger med Slotsgrus i Frederiksberg Have.....	14
Minifaldlodsmålinger i Frederiksberg Have.....	14
Visuel vurdering af belægninger af Slotsgrus i Frederiksberg Have.....	17
Feltforsøg med Slotsgrus i Stenrand Grusgrav	17
Udførelse af indbygningsforsøg	20
Resultater af feltforsøg	22
Specifikationer for Slotsgrus	25
Bilag	27

Indledning

Slotsgrus er et ubundet, granulært materiale udviklet til sti- og pladsbefæstelser af Skov & Landskab - KVL i samarbejde med Stenrand Grusgrav. Udviklingen af materialet skete i forbindelse med Slots – og Ejendomsstyrelsens renovering af stinettet i Frederiksberg Have, hvor det er anvendt siden 2000. Det udviklede materiale er varemærkeregistreret under navnet *Slotsgrus*® og er siden maj 2003 blevet gjort tilgængeligt for generel anvendelse. Materialet har fået en stor udbredelse, ikke mindst på Sjælland og har været anvendt på over 600 såvel store som små anlægsopgaver, heraf alene 250 nye sager i 2006.

Formålet med denne opgave har været at beskrive Slotsgrus ud fra gængse laboratorieforsøg samt at vurdere og opstille specifikationer og funktionskrav for produktet. Første del er udført gennem laboratorieprøvninger af produktet i Vejteknisk Instituts laboratorium i Fløng, mens anden del af opgaven er gennemført dels ved undersøgelse af 0-6 år gamle stibefæstelser i Frederiksberg Have samt ved et feltforsøg udført i Stenrand Grusgrav ved Kalundborg.

Opgaven blev udført for Skov & Landskab - KVL (i rapporten kaldet rekvirenten).

Konklusion

Slotsgrus er et ubundet, granulært materiale, som er fundet velegnet til sti- og pladsbefæstelser med ingen eller let trafikbelastning. På baggrund af laboratorieprøvninger og feltforsøg har Vejteknisk Institut beskrevet materialet og vurderet dets egenskaber i forhold til den påtænkte anvendelse på stier og pladser.

Materialet er et 0/8 mm materiale med et fillerindhold ($63\text{ }\mu\text{m}$) på cirka 10 %. Produktionskontrol samt det faktum at Slotsgrus kun produceres i én grusgrav sikrer, at materialet ligger indenfor et snævert kurvebånd. Materialet har en sandækvivalent på 30, er ikke-plastisk. Materialet indeholder stærkt tilslag med en LA-værdi for 0,063/4 mm-fraktionen på cirka 30 %. Andelen af runde korn er mindre end 20 % for 4/8 mm-fraktionen. Materialet vurderes at have samme risiko for frosthævning som stabilt grus.

Slotsgrus kan udlægges i tykkelser fra 5 til 30 cm, og det kan komprimeres med almindeligt entreprenørmateriel. Materialet kan med såvel let som tungt materiel indbygges til komprimeringsgrader, som kendes for bundsikring og stabilt grus. Materialet er let at arbejde med i forbindelse med indbygning og komprimering. Efter indbygning kan man opnå en overflade med et tilfredsstillende profil og en overflade som er modstandsdygtig mod påvirkning fra arbejdskøretøjer og fodtøj.

Komprimeringskravene til Slotsgrus bør være som for stabilt grus og bundsikring. For et kontrolafsnit på mindst 5 punkter, skal man kunne opnå en gennemsnitlig komprimeringsgrad på 95 % og ingen enkeltværdier må være mindre end 92 %. Referencedensiteten bestemmes ved vibrationsindstampning, mens markdensiteten bestemmes med isotopsonde.

Den dimensionsgivende E-værdi for Slotsgrus kan sættes til 250 MPa, og 1 cm Slotsgrus kan i praksis erstatte 1 cm stabilt grus.

Specifikation af Slotsgrus

Udførte laboratorieprøvninger

15. juni 2006 udtog Vejteknisk Instituts laboratorium tre prøver med Slotsgrus. Prøverne blev udtaget forskellige steder i materialebunken i Stenrand Grusgrav, og de blev efterfølgende mærket med VI lab. nr. 1, 2, og 3. På prøverne har Vejteknisk Instituts laboratorium udført følgende prøvninger i laboratoriet:

Sigteanalyse
Slemmeanalyse
Knuste overflader (knusningsgrad)
Kornform, formindeks
Sandækvivalent
Los Angeles forsøg
Vibrationsindstampning
CBR-forsøg ved standard proctorindstampning
Plasticitetsindeks

Desuden har vi på Danmarks Tekniske Universitet fået udført forsøg til vurdering af Slotsgrusets følsomhed overfor frosthævning.

Resultater af klassifikationsprøvninger

Resultaterne af prøvningerne i vort laboratorium fremgår af prøvningsrapport G 2027 af 28. juni 2006, som er vedlagt som Bilag 1. En oversigt over de opnåede prøvningsresultater fremgår af Tabel 1.

Af Tabel 1 og Bilag 1 ses, at materialet består af 0/8 mm med overkorn, at der er et fillerindhold på cirka 10 %, at sandækvivalenten ligger lige omkring 30, og at Slotsgruset ikke er plastisk. Materialet kan indstemples til en maksimal tørdensitet på cirka $2,080 \text{ Mg/m}^3$ ved såvel standard proctor som vibration. Det optimale vandindhold på godt 8 % er næsten dobbelt så højt som det naturlige vandindhold. Materialet består af stærkt tilslag med en LA-procent på cirka 30 % (0,063/4 mm), et formindeks på cirka 15 % (4/8 mm), og andelen af runde korn i 4/8-fraktionen er under 20 %.

Det bemærkes endvidere af Tabel 1, at der kun er begrænset variation i resultaterne fra de tre undersøgte prøver af Slotsgrus.

Table 1. Resultater fra laboratorieprøvning af Slotsgrus.

	Lab. nr. 1	Lab. nr. 2	Lab. nr. 3
Max. stenstørrelse (mm)	8	16	16
Gennemfald 63 μm (%)	9,7	10,7	9,8
Std. proctor, $\rho_{d,\text{max}}$ (Mg/m^3)	2,06	2,08	2,09
Std. proctor, w_{opt} (%)	7,9	8,4	8,7
CBR ved w_{opt} (%)	55 (skønnet)	75 (skønnet)	23
Vibration, $\rho_{d,\text{max}}$ (Mg/m^3)	2,08	2,10	2,04
Vibration, w (%)	9,0	8,9	8,8
Sandækvivalent (%)	31	32	30
Naturligt vandindhold, w_{nat} (%)	4,2	4,7	4,6
Plasticitetsindeks, PI (%)	Ikke plastisk	Ikke plastisk	Ikke plastisk
Los Angeles (63 μm – 4 mm)	31	31	31
Formindeks (4-8 mm) (%)	13	16	19
Uknuste korn (4-8 mm), C_r (%)	15	20	16

Resultater af frosthævningsforsøg

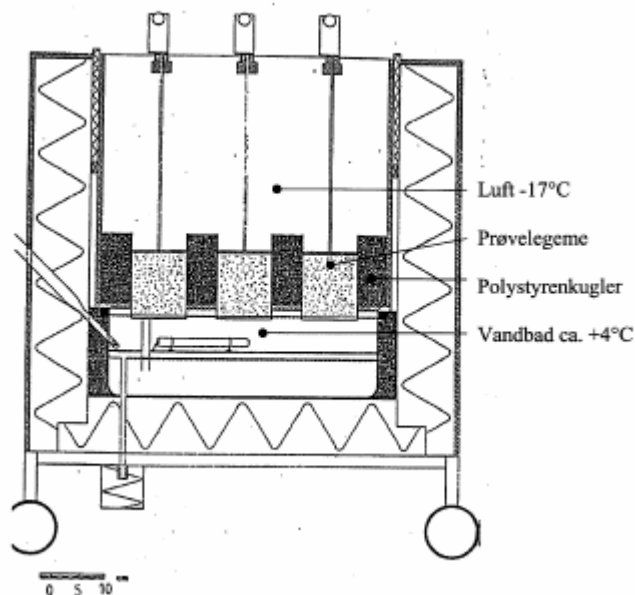
Generelt

Frosthævningsforsøgene er udført på DTU på prøver leveret af Vejteknisk Institut. Fotografering af de frosne prøver er foretaget af DTU.

Forsøgsapparat og målemetode.

Apparat til de udførte frosthævningsforsøg er udviklet i 1976 på DTU (Instituttet for Vejbygning, Trafikteknik og Byplanlægning). Udstyr og forsøg er beskrevet i IVTB Rapport nr. 4 ”Frost i jord, teorier, kriterier, udstyr, resultater” af Ejner Christensen og Kurt Palmquist. Apparaturet er en videreudvikling af et engelsk udstyr udviklet af RRL (nu TRL Ltd.) af Croney & Jacobs. Skitsen i Figur 1 viser forsøgsopstillingen.

Princippet i udstyret består i at påføre oversiden af en række prøvelegemer en frostpåvirkning under samtidig registrering af længdeforøgelsen (frosthævningen). Under hele forsøget er der sørget for mulighed for vandopsugning gennem den nedre del af prøvelegemet. Fryseforsøgene udføres i et frostrum, hvor temperaturen holdes konstant ($-17\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Figur 1. Forsøgsapparat til frosthævningsforsøg. Figuren viser et snit gennem forsøgskassen (inder- og yderkasse) med placering af prøvelegemerne. Når prøvelegemerne er anbragt, isoleres med polystyrenkugler opad og mellem legemerne.

Aktuel fremgangsmåde

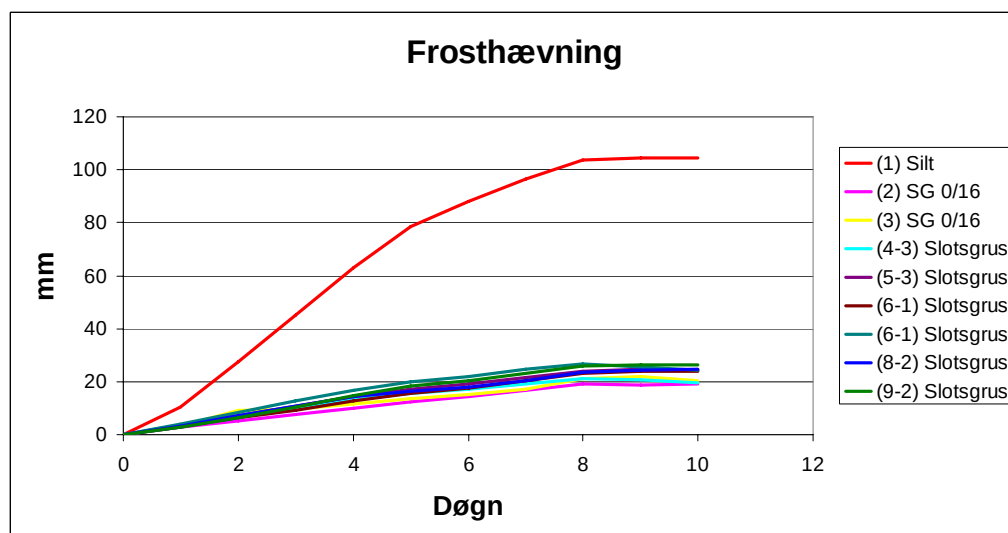
Ved det aktuelle forsøg blev prøvematerialerne indstampet i proctorform ved det naturlige vandindhold, hvorefter prøvelegemerne blev anbragt i DTU's forsøgskasse. Kassen kan indeholde op til 9 prøvelegemer ad gangen. Ved dette forsøg blev anvendt:

- 1 legeme med en reference med stor frosthævning (silt)
- 2 identiske legemer med en reference af stabilt grus
- 2 identiske legemer med Slotsgrus, VI lab. nr. 1
- 2 identiske legemer med Slotsgrus, VI lab. nr. 2
- 2 identiske legemer med Slotsgrus, VI lab. nr. 3

Den anvendte proctorform (116,5 mm høj og inderdiameter på 102,0 mm), som kan skilles ad vertikalt på midten, blev indvendigt foret med vokspapir for at forhindre at materialet faldt sammen, når formen åbnes. Inderkassen indeholdende prøvelegemerne blev sænket ned i den specialbyggede yderkasse med destilleret vand med en konstant temperatur på +4 °C. Under forsøget kan prøverne opsuge vand nedefra. Ved hjælp af målestænger (én for hvert prøvelegeme) blev prøvernes overside registreret med skydelære, dels udgangshøjden i 1/10 mm og dels en registrering per døgn i 10 døgn. Efter frostperioden blev prøvelegemerne i frossen tilstand fotograferet.

Resultater

Resultaterne af frosthævningsforsøget udført på Danmarks Tekniske Universitet fremgår af Bilag 2, mens billeder af de frosne legemer er gengivet i Bilag 3. I Figur 2 er resultaterne af frosthævningsforsøget vist grafisk.



Figur 2. Resultater af frosthævningsforsøg. Signatur for kerner (x-y): x er kernens nummer, mens y er lab. nr. for Slotsgrus.

Figur 2 viser, at der ikke er nogen signifikant forskel i frosthævningsrisiko mellem Slotsgrus og referencen stabilt grus. Mens silten giver den forventede frosthævning på godt 100 mm (svarende til 90 % af den oprindelige højde af legemet), giver stabilt grus anledning til en frosthævning på cirka 20 mm (17 %), og Slotsgrus giver en frosthævning på cirka 24 mm (20 %) for de seks undersøgte legemer. Vi vurderer derfor, at Slotsgrus ikke er mere frostfarligt end stabilt grus, hvis frostfarlighed er meget begrænset.

Produktionsstyring

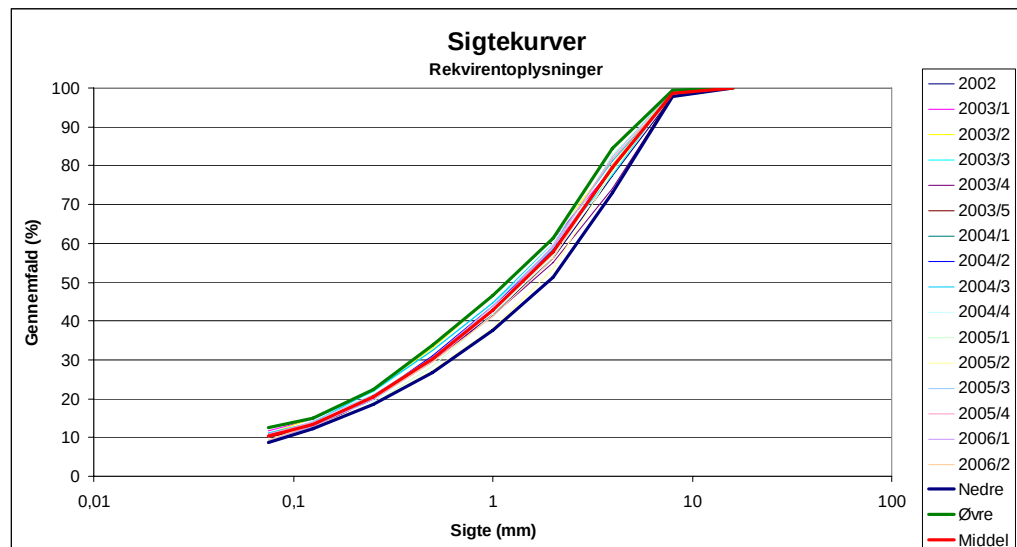
I forbindelse med produktion og salg af større mængder materiale er det vigtigt, at de producerede materialer er ensartede. For at vurdere dette, udbad Vejteknisk Institut sig sigtekurver for en længere produktionsperiode.

Sigtekurverne, som ses i Figur 3, dækker kvartalsvise prøvninger hos Stenrand Grusgrav siden 2003 suppleret med sigtekurver for det oprindelige Slotsgrus udlagt i Frederiksberg Have i 2002. Figur 3 viser, at Slotsgrusets sigtekurve viser meget begrænset variation med tiden, hvilket indikerer, at produktionen styres tilfredsstillende.

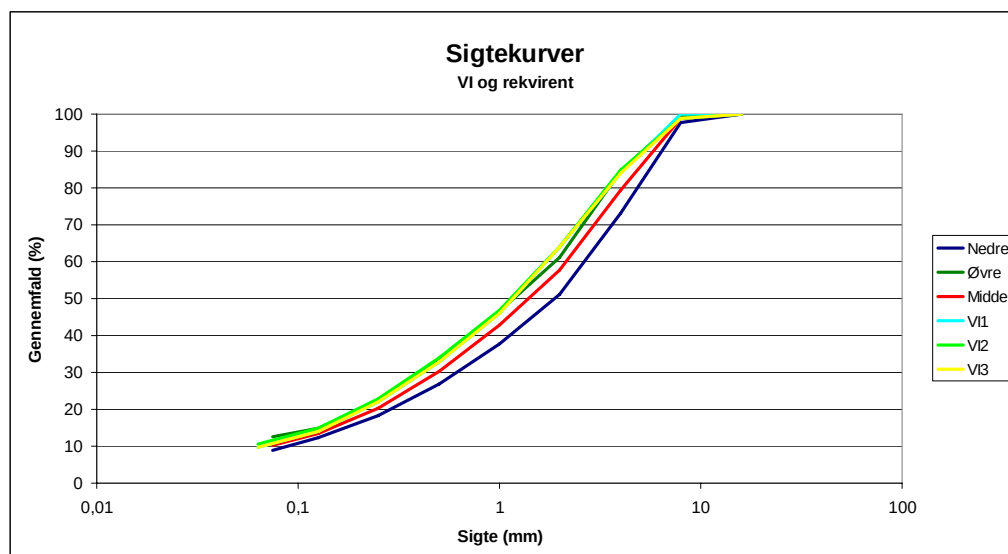
Figur 4 sammenligner grænserne for producentens sigtekurver for Slotsgrus med Vejteknisk Instituts resultater for de tre indleverede prøver. Det fremgår af Figur 4, at Vejteknisk Instituts kurver generelt ligger højere end producentens. Det er fra rekvirenten oplyst, at Stenrand Grusgrav udfører sigteanalysen efter DS/EN933-1, hvori der indgår en udvasking af prøvematerialet. Dette kan forklare forskellen mellem

Vejtekniks Instituts kurver og producentens. I fremtiden bør egenkontrollen hos producenten baseres på sigteanalyser på *uvasket* materiale i henhold til bemærkningerne i Udbudsforskrifter for bundsikring og stabilt grus:

Den hidtil anvendte metode med opdeling i grovsigtning med børstning og udvaskning af det fugtige gennemfald på 16 mm kan fortsat anvendes. Ved rapportering afrundes gennemfaldsprocenterne til hele tal, på nær gennemfaldet på 0,063 mm sigten der opgives med én decimal.



Figur 3. Producentens kvartalsvise kornkurver samt analyse af oprindeligt Slotsgrus i Frederiksberg Have (2002). Afgrænsning af kornkurverne (nedre og øvre) samt middel. Data leveret af Skov & Landskab - KVL.

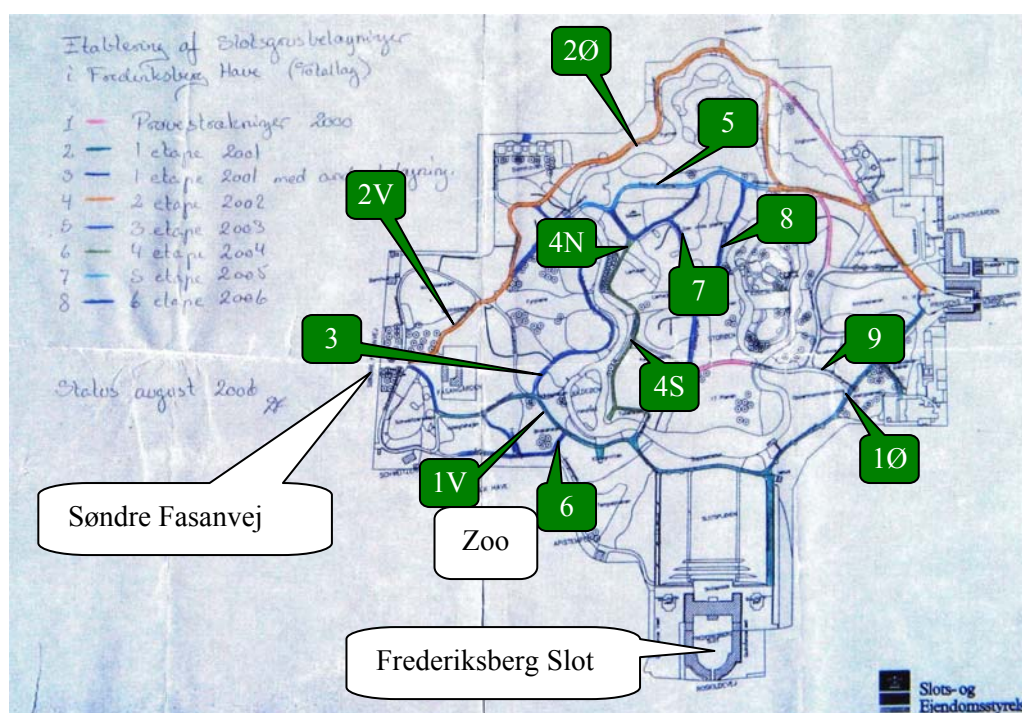


Figur 4. Sammenligning af kornkurver fra Skov & Landskab - KVL samt Vejteknisk Institut. Kurverne 'Nedre', 'Øvre' samt 'Middel' stammer fra Figur 2, mens de øvrige tre kurver stammer fra Vejteknisk Instituts prøvningsrapport G 2027, som er gengivet i Bilag 1.

Funktionsprøvning af Slotsgrus

Eksisterende belægninger med Slotsgrus i Frederiksberg Have

For at vurdere kvaliteten og specielt bæreevnen af Slotsgrus-belægninger i drift blev tolv strækninger med forskellig alder udvalgt. Alle strækninger var placeret i Frederiksberg Have, og alle strækninger blev udvalgt af rekvirenten. Placeringen af de undersøgte strækninger kan ses af Figur 5.



Figur 5. Placering af undersøgte Slotsgrus-strækninger i Frederiksberg Have. (fotograf: Lars Friis, Slots- og Ejendomsstyrelsen).

Minifaldlodsmålinger i Frederiksberg Have

Indenfor hver af de udvalgte strækninger udvalgte Vejteknisk Institut fem tilfældige målepunkter, hvori målinger af bæreevne med minifaldlod blev gennemført den 12. september 2006. I hvert punkt blev der udført 3-5 slag på hvert af 3 belastnings-niveauer, som typisk lå i området 40-125 kPa. Målingerne blev udført med en belastningsplade med diameter 300 mm. Alle målinger er foretaget midt på stien. De faktiske lagtykkelser af Slotsgrus på de udvalgte stier blev i november 2006 bestemt af rekvirent. Det fremgår af Bilag 4, at de målte lagtykkelser lå mellem 5 og 12 cm.

Figur 6 viser udførelse af minifaldlodsmåling i Frederiksberg Have.



Figur 6. Udførelse af minifalddlods måling på Slotsgrus i Frederiksberg Have (fotograf: Palle Kristoffersen, Skov & Landskab - KVL).

På baggrund af de målte nedsynkninger, belastninger samt lagtykkelser har vi beregnet E-værdier for et to-lagssystem bestående af Slotsgrus (med de oplyste tykkelser) samt en bund af uendelig tykkelse. Beregningerne er udført i programmet LWDmod, som er fremstillet af firmaet Dynatest. I LWDmod er E-værdierne bestemt ved en iterativ proces, som minimerer forskellen mellem målt nedsynkning med minifalddloddet og en tilsvarende teoretisk beregnet nedsynkning. Den opgivne RMS-parameter (root-mean-square) angiver kvaliteten af tilpasningen mellem måling og beregning - jo lavere RMS jo bedre. I beregningen af karakteristiske E-værdier er kun inkluderet punkter med en RMS-værdi mindre end 4 %.

Resultater af målingerne er gengivet i Tabel 2 i form af E-værdien for Slotsgrus-laget. I Bilag 4 er endvidere angivet den såkaldte overflademodul E_0 korrigeret til en reference-belastning på 100 kPa (benævnes $E_{0,100}$). Detaljerede resultater fra minifalddlods-forsøgene fremgår af Bilag 4. Tabel 2 viser også detaljer vedrørende de udvalgte målestrækninger.

Tabel 2. Resultater af minifaldlodsmålinger i Frederiksberg Have. Gennemsnitlige stræknings E-værdier for Slotsgrus-lag.

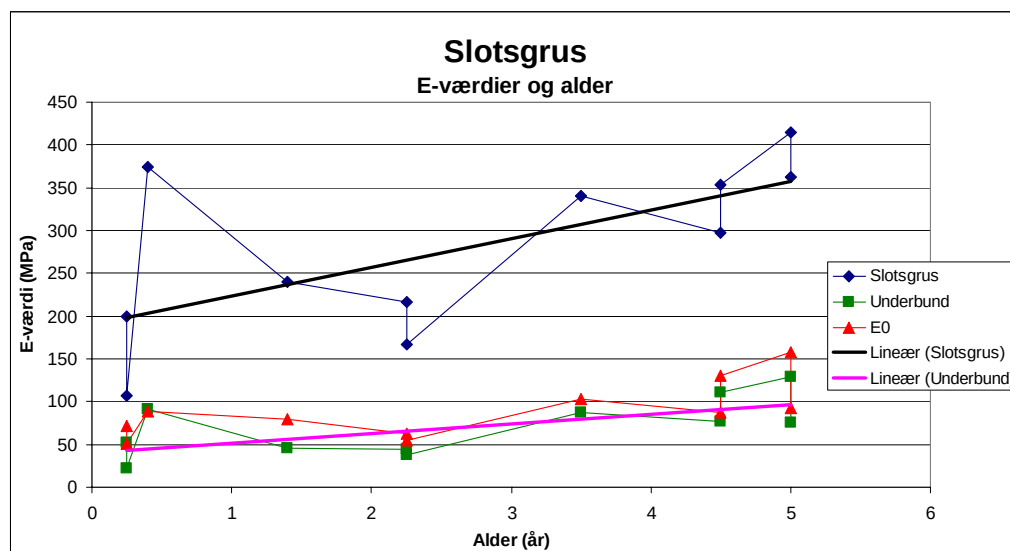
Kode	Etableringsår/ måned	Etableringsmetode	Lagtykkelse af Slotsgrus (mm)	Middel E-værdi for Slotsgrus (MPa)
1V	2001/11	Asfaltudlægger	80	362
1Ø	2001/11	Asfaltudlægger	87	415
2V	2002/5	Asfaltudlægger	85	354
2Ø	2002/5	Asfaltudlægger	90	298
3	2003/5	Maskin/hånd	70	340
4S	2004/8	Maskin/hånd	85	167
4N	2004/8	Maskin/hånd	90	216
5	2005/6	Maskin/hånd	88	240
6	2006/6	Maskin/hånd	53	375
7	2006/8	Maskin/hånd	117	108
8	2006/8	Maskin/hånd	103	199
9	Ikke omlagt underbund, stien af blandet oprindelse	-	-	-

Idet strækningerne fra august 2006 udelades af betragtning, fordi målingerne blev udført på bløde nyanlagt belægninger, kan en dimensionsgivende E-værdi for Slotsgruset beregnes. Den gennemsnitlige E-værdi for Slotsgrus-belægninger anlagt i perioden 2001-2005 i Frederiksberg Have er 307 MPa med en spredning på 83 MPa. Dette giver en karakteristisk E-værdi (85 %-fraktil) på 250 MPa. Anvendes ækvivalente tykkelsers metode (3. rod af forholdet mellem E-værdierne) til bestemmelse af forholdet mellem tykkelser af stabilt grus og Slotsgrus fås, at 1 cm stabilt grus svarer til 1,06 cm slotsgrus. Altså er der i praksis ingen forskel i lagtykkelse mellem stabilt grus og Slotsgrus. Ved anvendelse af dimensioneringskataloger kan man således direkte erstatte stabilt grus med Slotsgrus. For større anlæg kan det anbefales at der udføres en egentlig befæstelsesdimensionering med den E-værdi, som karakteriserer det pågældende materiale.

Figur 7 viser sammenhængen mellem alder og E-værdi for Slotsgrus-belægningerne i Frederiksberg Have. Det fremgår af figuren, at der er en stort set lineær (faldende) sammenhæng mellem alder og E-værdi således at jo yngre jo lavere værdi. Det er dog

ikke rimeligt at forvente, at E-værdien af Slotsgruset vil stige uendeligt med tiden. Det må derfor anbefales at gentage minifaldlodsmålingerne 10-15 år efter anlægstidspunktet.

Det ses, at E-værdien for bunden er stort set konstant, hvilket forekommer rimeligt, da bundens E-værdi oftest vil afhænge af stedet snarere end af tidspunktet.



Figur 7. Sammenhæng mellem alder og E-værdier for Slotsgrus-belægninger i Frederiksberg Have.

Visuel vurdering af belægninger af Slotsgrus i Frederiksberg Have

Etableringsmetoden vurderes at have størst betydning for jævnheden og den generelle kvalitet af den færdige belægning, og her har vi ikke kunnet konstatere nogen forskel mellem belægninger udført med asfaltudlægger henholdsvis maskin- eller håndudlægning. Alle Slotsgrusbelægningerne i Frederiksberg Have fremstod i september 2006 med intakte overflader uden spor eller indtrykningsmærker og med tilfredsstillende profiler.

Feltforsøg med Slotsgrus i Stenrand Grusgrav

Et feltforsøg i Stenrand Grusgrav (i Vestsjælland nær Kalundborg, se Figur 8) blev gennemført for at vurdere, hvorledes Slotsgrus er at arbejde med i praksis, og hvordan det kan indbygges med almindeligt entreprenørmateriel. Forsøgsanlægget blev etableret og undersøgt i perioden 14. – 22. september 2006. Anlægsarbejdet blev forestået af Anlægsgartnerfirmaet P. Malmos via rekvirenten, mens Vejteknisk Institut udførte målinger og prøvninger.



Figur 8. Placering af Stenrand Grusgrav nær Kalundborg.

Forsøgsanlæg

Der blev anlagt et forsøgsfelt med femten felter à cirka 3 meter x 4 meter (se Figur 10). Feltets samlede areal var cirka 10 meter x 25 meter svarende til 250 m². Den anvendte mængde materialemængde var cirka 250 meter x 15 cm (rundt gennemsnit) svarende til 35 m³ Slotsgrus. Billedet i Figur 9 viser et eksempel på forsøgsarealet under etableringen.



Figur 9. Etablering af forsøgsfelt (fotograf: Torben Dam, Skov & Landskab - KVL).

	3 meter	3 meter	3 meter	
	C: Pladevibrator	B: Tromle uden vibration	A: Tromle med vibration	
5 cm tykkelse	C5	B5	A5	4 meter
10 cm tykkelse	C10	B10	A10	4 meter
15 cm tykkelse	C15	B15	A15	4 meter
20 cm tykkelse	C20	B20	A20	4 meter
30 cm tykkelse	C30	B30	A30	4 meter

Figur 10. Forsøgsareal med 15 felter. I hvert felt er angivet feltets navn bestående af kode for komprimeringsmateriel henholdsvis lagtykkelse.

Den bæredygtige bund blev afrettes med skovl på en stor gummihjulslæsser. Herefter blev der udlagt et lag af 0-32 SG for opnåelse af ensartethed og for at give mulighed for nedstik med isotopsondeudstyr. Den opbyggede bund blev komprimeret 2 gange med pladevibrator og gennemmålt med minifaldlod med tre punkter i hvert af de femten felter vist i Figur 10. Formålet med disse målinger var at demonstrere, at bunden for Slotsgruset var homogen. Det fremgår af Tabel 3 (og Bilag 5), at dette i

rimelig grad lykkedes, idet de fleste af de femten felter har en middel E_0 -værdi ikke langt fra den overordnede middelværdi på 100 MPa. Kun felterne C10 og C20 afviger væsentligt fra middelværdien for E_0 , idet disse to felter har E_0 -værdier på 160 MPa henholdsvis 192 MPa.

Tabel 3. Resultater af minifaldlodsmålinger på bund af SG i forsøgsfelt i Stenrand Grusgrav. De angivne E -værdier er overflademoduler ved en belastning på 100 kPa (benævnes $E_{0,100}$).

Felt	Middel E -værdi (MPa)
A5	91
B5	113
C5	100
A10	71
B10	93
C10	160
A15	75
B15	88
C15	116
A20	69
B20	78
C20	192
A30	76
B30	86
C30	102

Udførelse af indbygningsforsøg

De femten prøvefelter blev udført ved at materiale blev tilkørt med dumper og aftippet uden for felterne. Materiales blev lagt ind, fordelt og afrettet med gravemaskine, suppleret med håndafretning således at laget var ensartet og jævnt inden komprimering. Da etableringen af forsøgsarealet strakte sig over mere end én dag, blev felterne overdækket fra dag til dag for at undgå ændring af vandindhold.

For at sikre, at Slotsgruset blev indbygget ved det optimale vandindhold, medbragte Vejteknisk Institut på førstedagen af indbygningen en spand med grus opvandet til optimalt vandindhold. Ud fra en visuel og fysisk vurdering af materialet i spanden

blev bunken søgt vandet op til det optimale vandindhold ved at tilføre vand samtidig med en omgravning af materialet i bunken.

Komprimering blev udført med følgende udstyr:

Pladevibrator: Wacker DPU 5045H, 410 kg med frem og bakkfunktion. Pladestørrelse 90x60 cm. 50 KN 69 Hz

Tromle: Bomag BW 100 AD-3 2470 kg. Arbejdsbredde 1,00 m

De to typer udstyr ses på Figur 11 og 12:



Figur 11. Komprimering af Slotsgrus med pladevibrator i forsøgsfelt (fotograf: Torben Dam, Skov & Landskab - KVL).



Figur 12. Komprimering af Slotsgrus med tromle i forsøgsfelt (fotograf: Palle Kristoffersen, Skov & Landskab - KVL).

Komprimeringen blev udført med det nødvendige overlap af hensyn til at kunne manøvrere 4 m længde og 3 m bredde. Lagene blev udlagt med 20 % overhøjde til sætning i forbindelse med komprimering. Tabel 4 viser sammenhængen mellem udlagte højder og resulterende højder (Bilag 6):

Tabel 4. Ønskede, udlagte og resulterende lagtykkelser i forsøgsefter. Alle værdier er i cm.

Ønsket lagtykkelse	Udlagt lagtykkelse	Faktisk lagtykkelse
5	6	5,4
10	12	9,9
15	18	16,0
20	24	22,5
30	36	31,2

Der blev gennemført komprimeringskontrol med isotopudstyr efter 0, 2, 4, 7 og 10 overkørsler. I hvert forsøgsfelt blev der målt med isotopsonden i fem punkter.

Resultater af feltforsøg

Tabel 5 (og Bilag 7) viser resultaterne af komprimeringsmålingerne angivet som det første antal overkørsler, som var over en gennemsnitlig komprimeringsgrad på 95 %, og som ikke havde enkeltværdier under 92 %. Dette svarer til kravene for stabilt grus og bundsikring.

Tabel 5. Nødvendigt antal overkørsler med forskelligt komprimeringsmateriel i forsøgsfelt i Stenrand Grusgrav. A: tromle med vibration, B: tromle uden vibration, C: pladevibrator.

Lagtykkelse (cm)	Antal overkørsler	Felt	Vandindhold (%)	Tørdensitet (Mg/m ³)	K-middel (%)	K-minimum (%)
5	4	A	3,8	1,997	96,0	94,4
10	2	A	5,6	1,975	94,9	94,7
15	2	A	6,1	1,977	95,1	94,6
20	2	A	7,3	1,971	94,8	94,2
30	4	A	6,5	1,979	95,1	93,0
5	10	B	3,5	2,000	96,2	94,8
10	4	B	5,6	1,989	95,6	94,8
15	7	B	4,6	1,982	95,3	93,2
20	10	B	5,0	1,999	96,1	95,5
30	10	B	5,1	1,950	93,8	92,1
5	10	C	2,8	1,962	94,3	93,4
10	4	C	5,2	2,006	96,4	94,9
15	7	C	4,4	1,982	95,3	92,9
20	4	C	6,5	2,007	96,5	95,4
30	7	C	5,2	1,990	95,7	94,8

Vurderingen af de opnåede komprimeringsgrader er baseret på en referencedensitet på 2,080 Mg/m³ udført af Vejteknisk Institut på materiale anvendt ved feltforsøget. Resultaterne for referencedensiteten fremgår af Bilag 8.

Det fremgår af Tabel 5, at tromlen med vibration stort set kan opnå det ønskede komprimeringskrav efter 2-4 overkørsler uanset lagtykkelse. Den statiske tromle skal generelt bruge 4-10 overkørsler og kan ikke komprimere laget med 30 cm tykkelse tilfredsstillende. Pladevibratoren skal som tromlen uden vibration bruge et særdeles varierende antal overkørsler for at opnå den ønskede komprimeringsgrad, og pladevibratoren er ikke i stand til at opnå tilfredsstillende komprimering af laget med 5 cm tykkelse. Tabel 5 viser, at vandindholdet i de fleste tilfælde ligger en del under det optimale. Et højere vandindhold må forventes at lette komprimeringsarbejdet.

Slotsgruset blev vurderet som let at håndtere ved forsøget. Rekvirenten har efter forsøgets afslutning udarbejdet et notat om jævnheden af de opbyggede belægninger (Bilag 7). Notatet konkluderer, at ...

Målingerne af jævnhed viser at der ikke er nogen entydig forskel i jævnhed i forhold til de udlagte lagtykkelser op til og med 20 cm, hvorimod der synes at være større ujævnhed ved udlægning i 30 cm lagtykkelse.

Valget af komprimeringsmetode har derimod stor indvirkning på den resulterende jævnhed. Anvendelse af pladevibrator giver mindre jævnhed end anvendelse af tromle og specielt når der anvendes vibration på tromlen og specielt ved lagtykkelser over 10 cm.

Specifikationer for Slotsgrus

Med udgangspunkt i Udbudsforskrifter for bundsikring og stabilt grus specificeres Slotsgrus på følgende måde:

Maksimal kornstørrelse:	11,2 mm
Fillerindhold (63 µm):	8-12 %
Lerindhold:	Forholdet mellem gennemfald på 0,002 mm og 0,063 mm skal ligge mellem 10 og 30 %.
Kornkurvekrav:	11,2 mm: 100 % (vægt) gennemfald 8 mm: 97 – 100 % gennemfald 4 mm: 72 – 82 % gennemfald 2 mm: 52 – 64 % gennemfald 1 mm: 40 – 47 % gennemfald 0,5 mm: 28 – 34 % gennemfald 0,25 mm: 18 – 23 % gennemfald 0,125 mm: 12 – 15 % gennemfald 0,063 mm: 8 – 12 % gennemfald
Sandækvivalent:	Mindst 30 %
Plasticitet:	Ikke-plastisk
Los Angeles:	Højest 35 %
Andel af runde korn, Cr:	Maksimalt 20 %.
Dimensioneringsværdi:	E = 250 MPa 1 cm Slotsgrus kan ansættes som ækvivalent til 0,94 cm stabilt grus og 1 cm stabilt grus kan ansættes som ækvivalent til 1,06 cm Slotsgrus
Komprimeringskrav:	Middelværdi mindst 95 % vibration Ingen enkeltværdi under 92 % vibration Kontrolafsnit med mindst 5 målepunkter Referenceforsøg: vibrationsindstampning Markforsøg: isotopsonde.

Ovenstående specifikationer er i størst muligt omfang baseret på følgende materialespecifikationer: DS/EN 13285 Vejmaterialer - Ubundne blandinger - Specifikationer og DS/EN 13242 Tilslag til ubundne og hydraulisk bundne materialer til vejbygning og andre anlægsarbejder.

I henhold til DS/EN 13285 er

Fraktionsbetegnelse: 0/11,2 mm

Maksimum fillerindhold - defineret som materiale, der passerer 0,063 mm sigten (vægt) - må højst være 12, svarende til DS/EN 13285 kategori UF₁₂.

Minimum fillerindhold - defineret som materiale, der passerer 0,063 mm sigten (vægt) - skal være 8, svarende til DS/EN 13285 kategori LF₈.

Overstørrelse: Alt materiale skal være mindre end 11,2 mm svarende til DS/EN 13285 kategori OC₉₀.

Los Angeles-værdi: Maksimalt 35 % svarende til DS/EN 13242 LA₃₅.

Kravene vedrørende plasticitet og Los Angeles-værdi kan med fordel anvendes som supplerende krav.

Bilag

	Side
1. Vejteknisk Instituts prøvningsrapport G 2027	29
2. Resultater fra frosthævningsforsøg	35
3. Billeder fra frosthævningsforsøg	37
4. Minifaldlodsmålinger fra Frederiksberg Have	47
5. Minifaldlodsmålinger fra Stenrand Grusgrav	49
6. Registrering af jævnhed i indbygningsforsøg (notat skrevet af Palle Kristoffersen, Skov & Landskab - KVL)	51
7. Komprimeringsmålinger fra Stenrand Grusgrav	55
8. Vibrationsindstampning på Slotsgrus anvendt ved feltforsøg	57

Skov & Landskab
Att.: Palle Kristoffersen
Rolighedsvej 23
1958 Frederiksberg

Rapport nr.: G 2027
Sagsnr.: K-819-01
Init.: GHB
Dato: 28. juni 2006
Side: 1 af 5

Prøvningsrapport

Rekvirent: Skov & Landskab

Foretaget prøvning af: Indleverede prøver af 15. juni 2006

Metodereferencer:	Prøveneddeling	DS/EN 932-2:2000
	Vandindhold	DS/EN 1097-5
	Sigteanalyse	DS/EN 933-1:1997
	Slemmeanalyse	DS 405.8:1978**
	Procentdele af knuste overflader	DS/EN 933-5:1998
	Kornform, formindeks	DS/EN 933-4:2001
	Sandækvivalent, dobbeltbestemmelse	DS/EN 933-8:2001
	Los Angeles	DS/EN 1097-2
	Vibrationsbord	DS/EN 13286-5:2003
	CBR-forsøg, ved proctor	DS/EN 13286-47
	Plastisitetsindeks	prVI 99-5:2004

** Ved analyse af fede lerjordarter er det normalt nødvendigt at opbløde prøven ved vandlagring i en periode før udvaskning på 0,075 mm sigten. I stedet for inddampning af materialet udføres vanduddrivning i centrifuge, indtil plastisk konsistens er opnået. For at opnå tilstrækkelig homogenisering af prøven vendes den opslemmede prøve i blandeapparat i minimum 10 timer med 20-25 vendinger i minuttet.

Prøvningen udført: I perioden 19. – 28. juni 2006

Prøvningsresultat: Fremgår af side 2 - 5

Med venlig hilsen


Gregers Hildebrand

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.

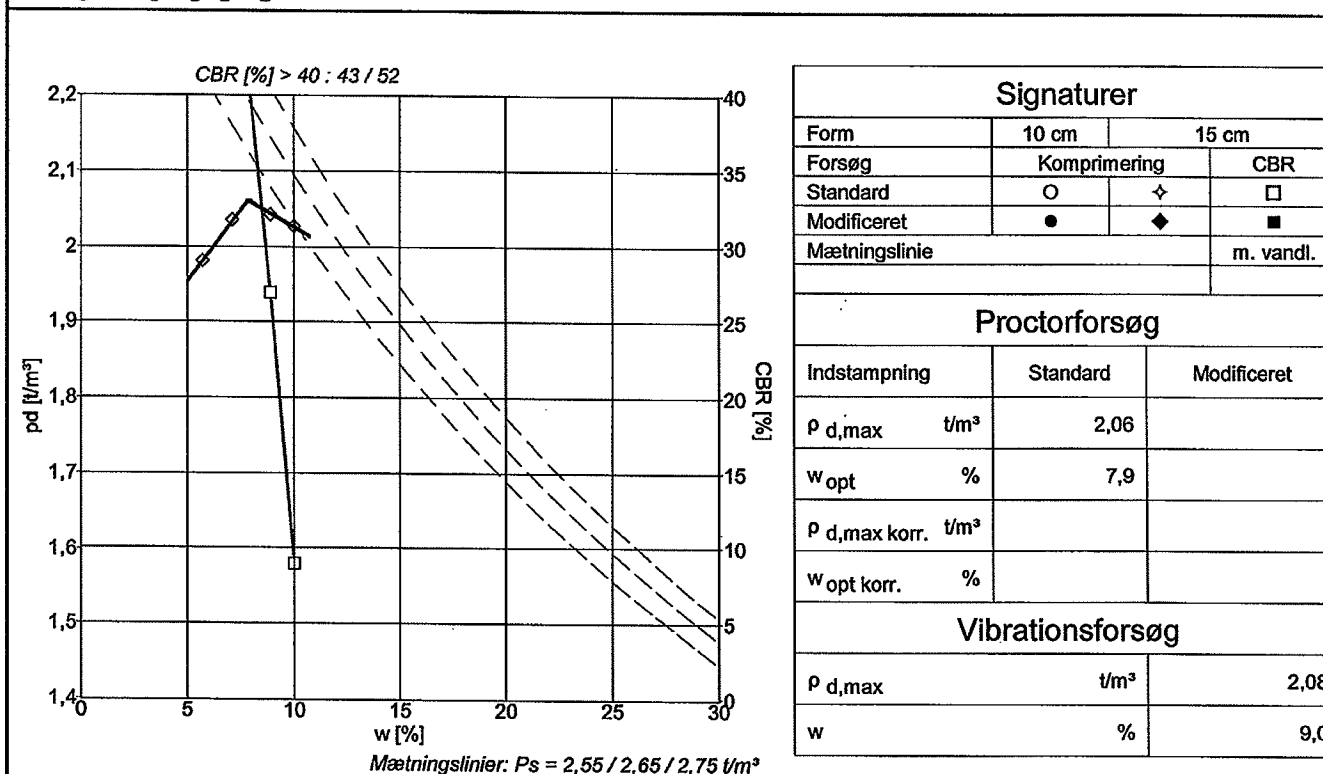
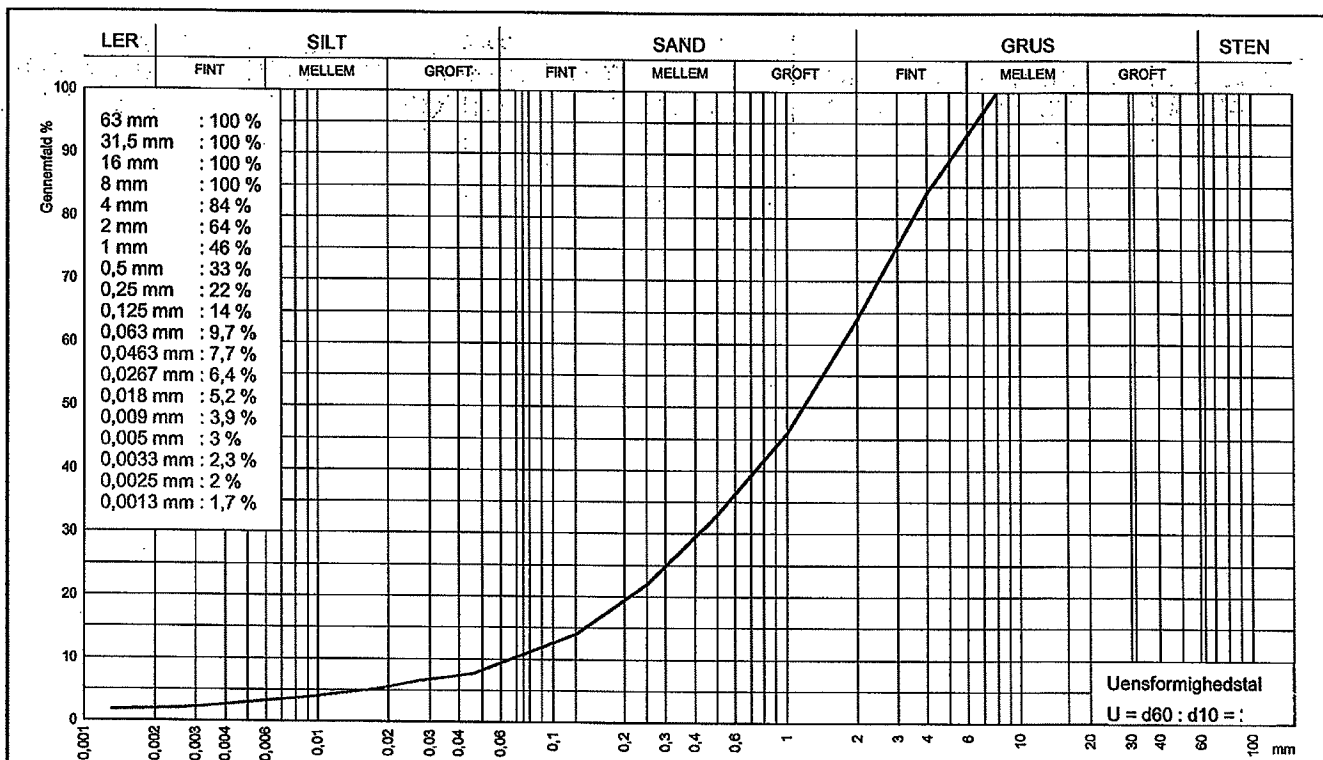
Prøvningsrapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden laboratoriets skriftlige godkendelse.

Adresse
Vejdirektoratet
Vejteknisk Institut
Guldalderen 12
Postboks 235
2640 Hedehusene

Telefon
+45 46 30 70 00

Telefax
+45 46 30 71 05

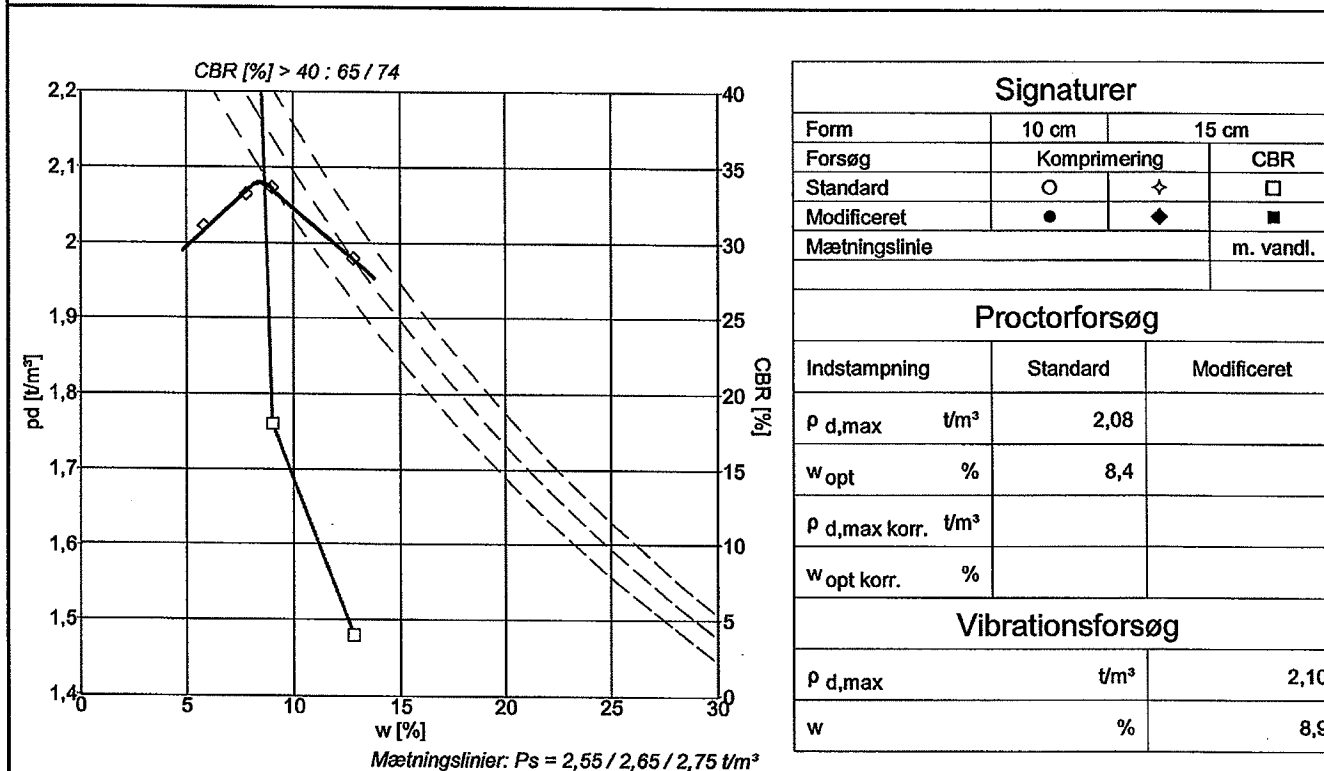
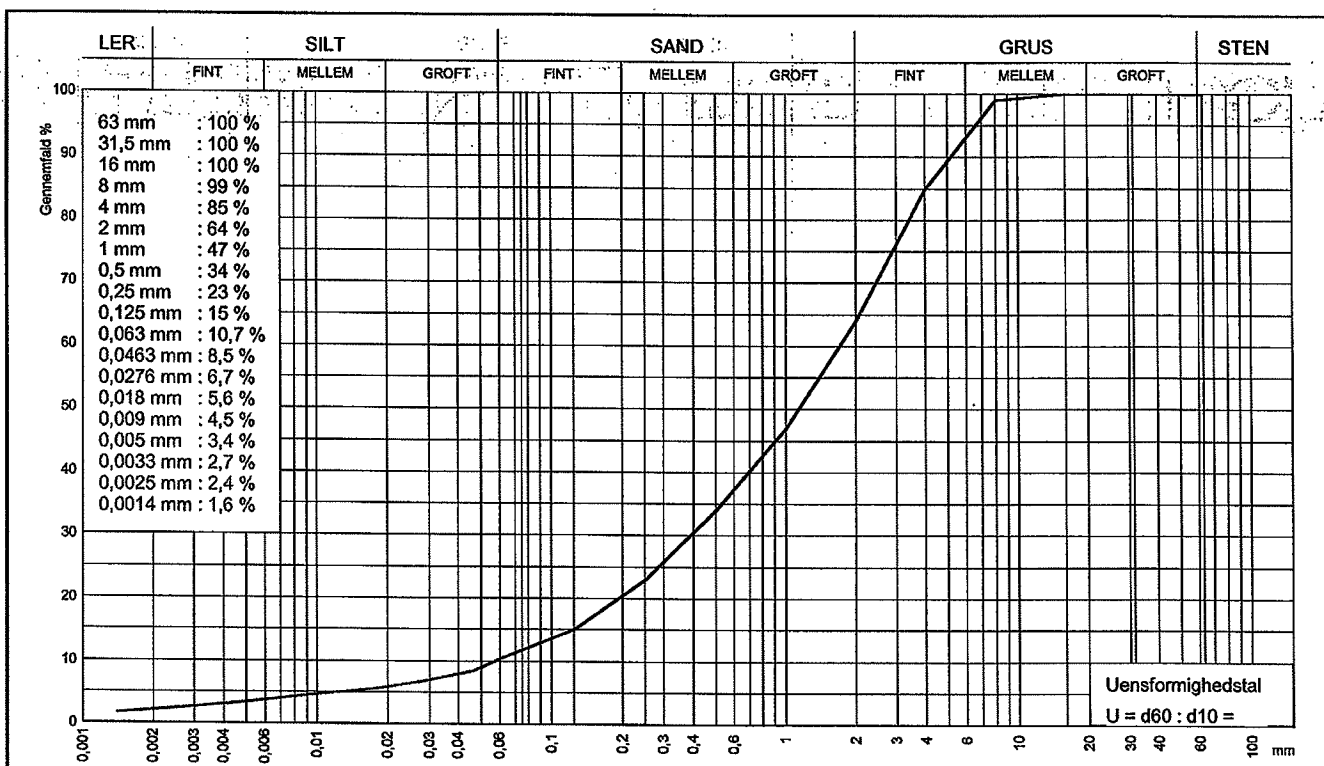
Postgiro
4 07 64 00



Gennemfald 0.063 mm	9,7 %	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 75 mm	%
Flydegrænse w _L	%	Plasticitetsgrænse w _p	%		Plasticitetsindeks I _p	N.P. %
Korndensitet(0-0.075mm) ρ _s	t/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ _s	t/m³		Korndensitet(>16mm) ρ _s	t/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%		Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl _{red}	%		L.A. DS/EN 1097-2	31
Sandækvivalent SE	31 %	Humusindhold				
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w _{nat}	4,2 %			

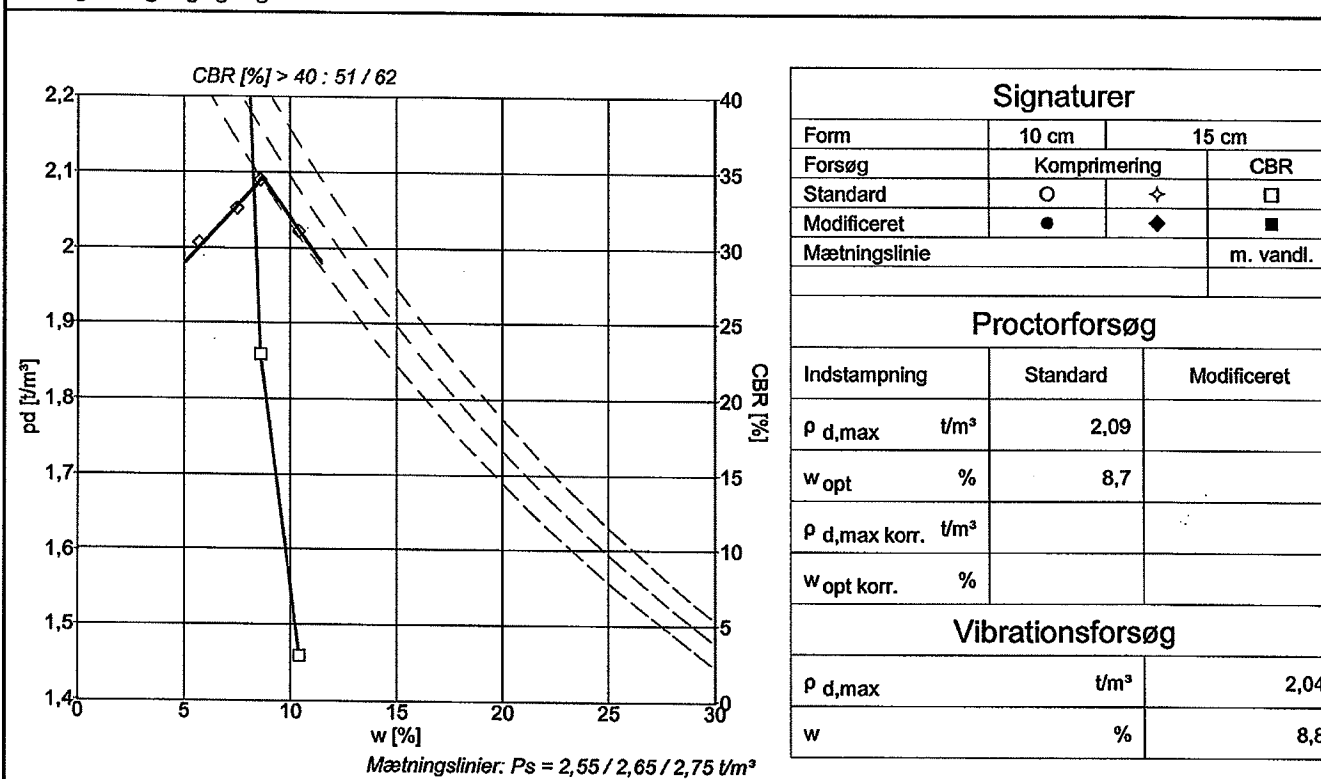
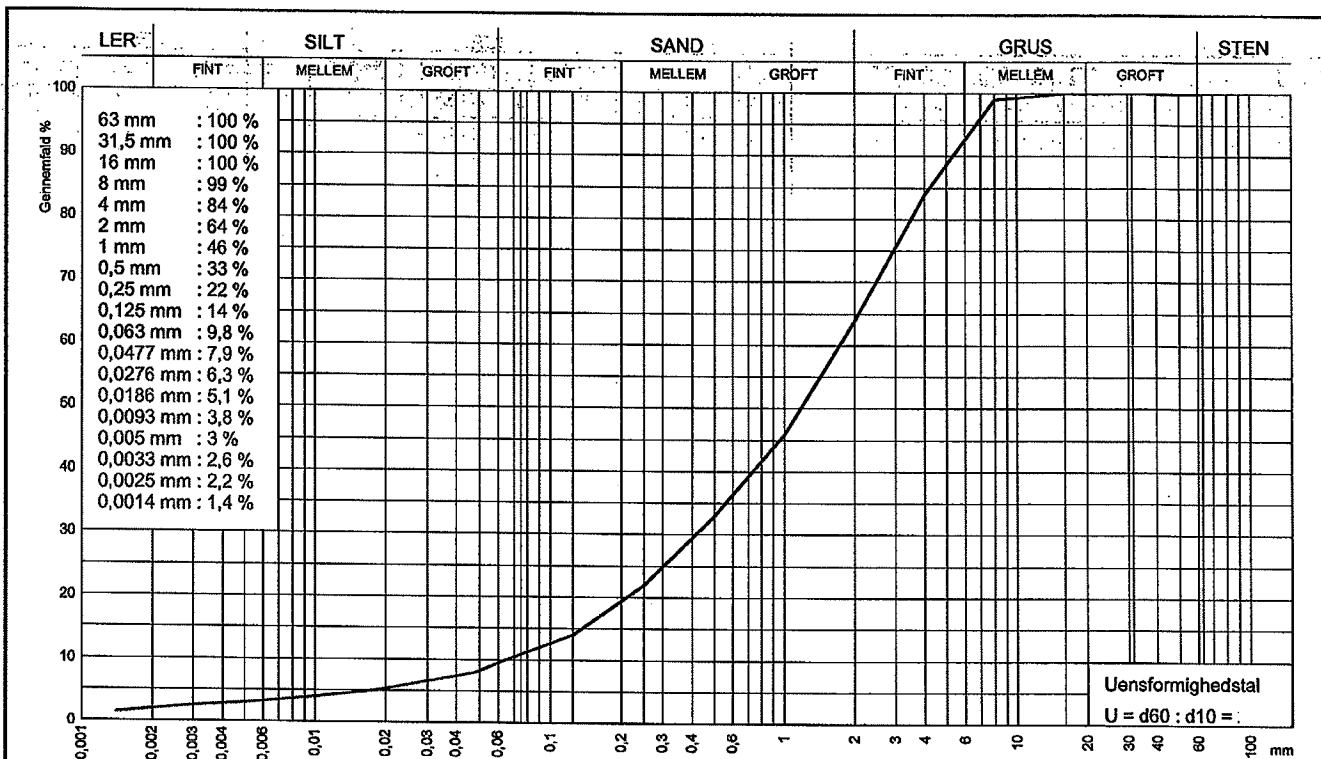
Prøvebeskrivelse: SLOTSGRUS 0-8 mm

Rekvirent: Skov og Landskab		Station:	Mrk.:
Sted: Stenrand Grusgrav		Boring:	
Udt. d.:	Modt. d.: 15-06-2006	Dybde:	Lab. nr.: 1
Tegn.: AHH	Godk.: 29/6-06 GMB	Kote:	Bilag/side nr.: 2
		Sag nr.: 819	



Gennemfald 0.063 mm	10,7 %	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 75 mm	%
Flydegrænse w _L	%	Plasticitetsgrænse w _p	%		Plasticitetsindeks I _p	N.P. %
Korndensitet(0-0.075mm) ρ _s	t/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ _s	t/m³		Korndensitet(>16mm) ρ _s	t/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%		Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl _{red}	%		L.A. DS/EN 1097-2	31
Sandækvivalent SE	32 %	Humusindhold				
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w _{nat}	4,7 %			

Prøvebeskrivelse: SLOTSGRUS 0/8 mm					
Rekvirent: Skov og Landskab			Station:	Mrk.:	
Sted: Stenrand Grusgrav			Boring:	Lab. nr.: 2	
Udt. d.:	Modt. d.: 15-06-2006	Tegn.: AHH	Godk.: 27/6-06/MS	Sag nr.: 819	Bilag/side nr.: 3



Gennemfald 0.063 mm	9,8 %	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 75 mm	%
Flydegrænse w _L	%	Plasticitetsgrænse w _p	%		Plasticitetsindeks I _p	N.P. %
Korndensitet(0-0.075mm) ρ _s	t/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ _s	t/m³		Korndensitet(>16mm) ρ _s	t/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%		Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl _{red}	%		L.A. DS/EN 1097-2	31
Sandækvivalent SE	30 %	Humusindhold				
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w _{nat}	4,6 %			

Prøvebeskrivelse: SLOTSGRUS 0-8 mm

Rekvirent: Skov og Landskab		Station:	Mrk.:
Sted: Stenrand Grusgrav		Boring:	
Udt. d.:	Modt. d.: 15-06-2006	Dybde:	Lab. nr.: 3
Tegn.: AHH	Godk.: 29/6-2006	Kote:	
		Sag nr.: 819	Bilag/side nr.: 4

DS/EN 933-4:2001 Bestemmelse af kornform, formindeks

Fraktion mm	Lab. nr.	Formindeks SI%
4 - 8	1	13
4 - 8	2	16
4 - 8	3	19

DS/EN 933-5:1998 Procentdele af knuste overflader

Partikel fraktion ($D \leq 2d$) mm	Lab. nr.	Hele %			
		Knuste korn C_c	Uknuste korn C_r	Total knuste C_{tc}	Total uknuste C_{tr}
8 - 4	1	85	15	73	12
8 - 4	2	80	20	74	13
8 - 4	3	84	16	78	8

Prøvebeskrivelse: Slotsgrus					
rekvirent. Skov og Landskab		 Vejdirektoratet Vejteknisk Institut	Station:	Mrk:	
Sted: Stenrand Grusgrav			Boring:	Lab.nr.: 1, 2 og 3	
			Dybde:		
			Kote:		
Udt.:	Modt.d.: 15. juni 2006	Tegn.: INO	Godk.: 29/6-06 <i>CHB</i>	Sag nr.: 819-01	Bilag/side nr: 5

Frosthævningsforsøg

K-819-01 KVL Skov & Landskab
SLOTSGRUS

Kerne nr. 1 2 3 4 5 6 7 8 9
Materiale (1) Silt (2) SG 0/16 (3) SG 0/16 (4-3) Slotsgr (5-3) Slotsgr (6-1) Slotsgr (6-1) Slotsgr (8-2) Slotsgr (9-2) Slotsgr

Vandindhold (%) 8,3 8,7 - 3,3 3,3 8,0 4,1 3,4 3,4

Vægte (g)

Før vandlagring 1835 2102 2090 1962 2108 2126 2118 2122 2133
Før frysning* 1891,4 2158,7 2139,9 2013,8 2160,4 2180,9 2171,7 2176,1 2175,5
Efter frysning* 2799,0 2256,7 2230,4 2267,6 2344,7 2344,7 2340,5 2352,0 2358,4
Optagelse af vand 907,6 98,0 90,5 253,8 184,3 163,8 168,8 175,9 182,9

* Inklusive holder og filter

Døgn	Frosthævning								
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	10,5	2,6	3,3	2,8	3,7	2,8	3,9	3,3	2,8
2	27,6	5,1	9,3	6,4	7,0	6,2	8,5	7,2	6,5
3	45,2	7,5	9,6	10,0	10,7	9,1	12,6	10,6	10,5
4	63,1	10,0	11,6	13,1	14,4	12,6	16,7	14,2	14,9
5	78,4	12,2	13,4	15,4	17,1	15,4	20,0	16,4	18,2
6	88,1	14,5	15,0	17,1	19,0	17,5	22,1	18,0	20,4
7	96,6	16,9	17,2	19,1	21,4	20,3	24,9	20,5	23,2
8	103,6	19,3	21,2	21,1	24,1	23,1	26,9	23,5	26,0
9	104,6	18,6	21,8	20,9	24,8	23,9	25,6	24,4	26,5
10	104,6	19,1	20,5	19,4	24,2	23,8	24,2	24,6	26,3

Middel hævnning

%
Silt mm 104,6 90
SG 19,8 17
Slotsgrus 23,8 20

Bilag 3

Billeder fra frosthævningsforsøg

Kerne nr. 1 – Silt



Bilag 3

Billeder fra frosthævningsforsøg

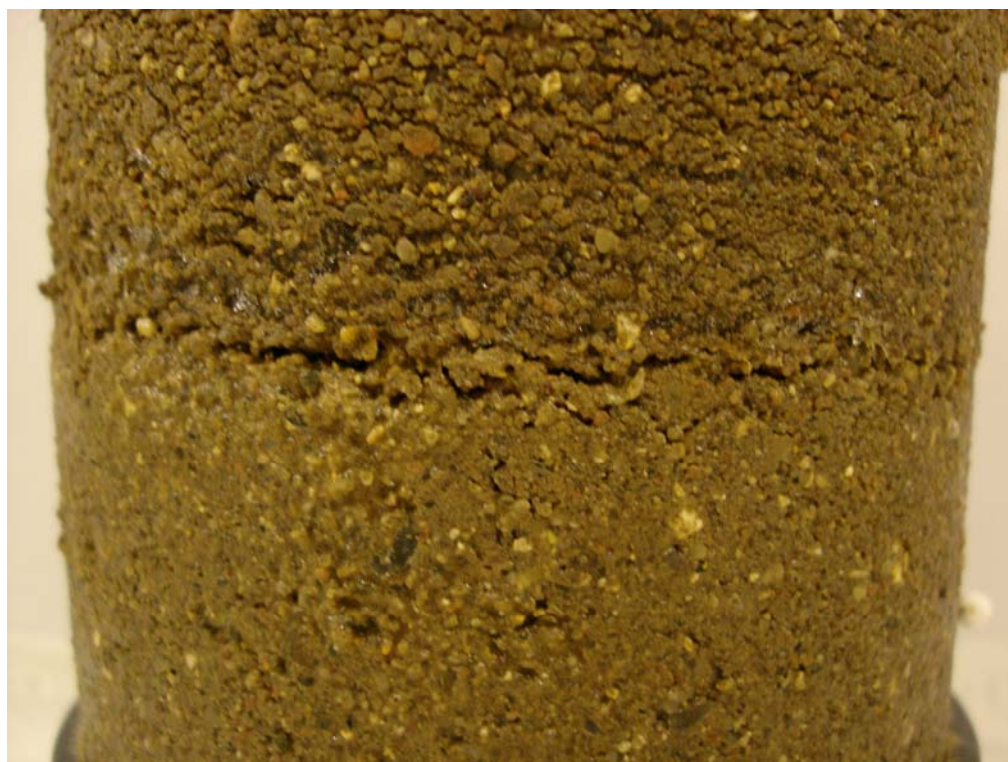
Kerne nr. 2 – SG 0/16



Bilag 3

Billeder fra frosthævningsforsøg

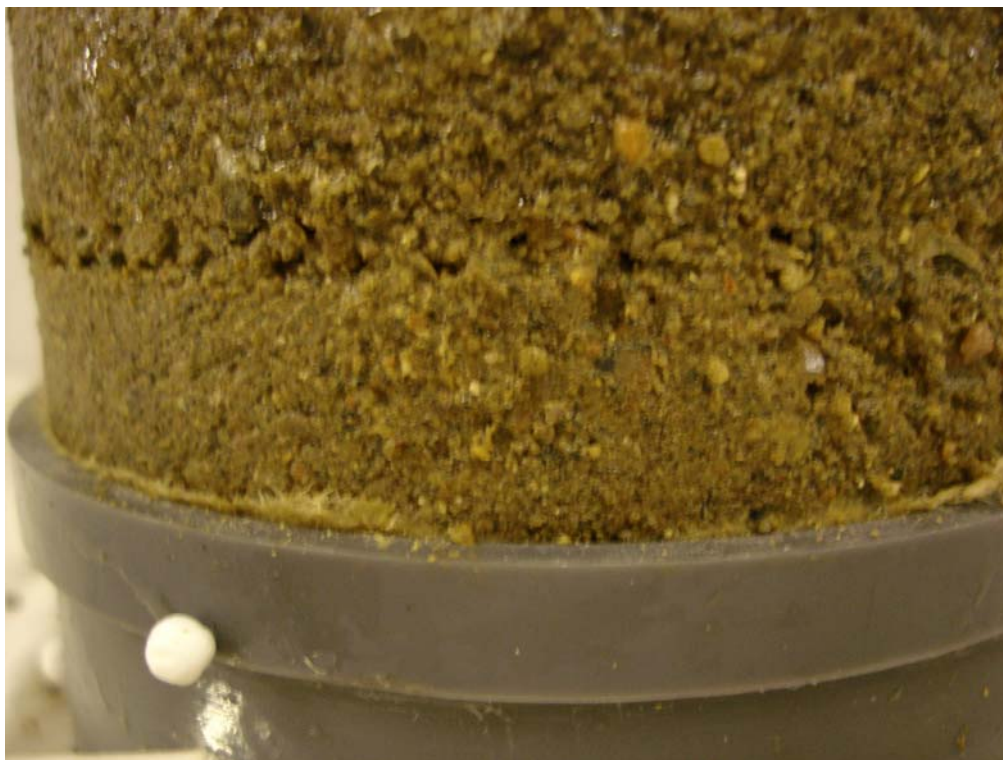
Kerne nr. 3 – SG 0/16



Bilag 3

Billeder fra frosthævningsforsøg

Kerne nr. 4 – Slotsgrus lab. nr. 1, prøve 1



Bilag 3

Billeder fra frosthævningsforsøg

Kerne nr. 5 – Slotsgrus lab. nr. 1, prøve 2



Bilag 3

Billeder fra frosthævningsforsøg

Kerne nr. 6 – Slotsgrus lab. nr. 2, prøve 1



Bilag 3

Billeder fra frosthævningsforsøg

Kerne nr. 7 – Slotsgrus lab. nr. 2, prøve 2



Bilag 3

Billeder fra frosthævningsforsøg

Kerne nr. 8 – Slotsgrus lab. nr. 3, prøve 1



Bilag 3

Billeder fra frosthævningsforsøg

Kerne nr. 9 – Slotsgrus lab. nr. 3, prøve 2



Minifaldlods målinger i Frederiksberg Have

Udført den 12. september 2006 af MOL

Kode	Etableringsår	Måned	Etableringsmetode	Lagtykkelse (mm)	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E0 (MPa)	RMS (%)	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E0 (MPa)
1V	2001	November	Asfaltudlægger	80	458	80	102	5,2	362	76	93
					435	80	102	3,8			
					373	61	79	5,8			
					367	72	91	1,6			
					284	75	90	2,5			
1Ø	2001	November	Asfaltudlægger	87	397	127	151	3	415	129	158
					207	122	131	6,5			
					432	130	157	2			
					427	157	184	9,9			
					497	138	169	6,7			
2V	2002	Maj	Asfaltudlægger	85	379	85	107	5,5	354	110	130
					348	95	116	3,7			
					357	110	132	1,3			
					396	117	159	1			
					313	119	137	2,2			
2Ø	2002	Maj	Asfaltudlægger	90	170	106	113	1,6	298	78	88
					328	83	104	2			
					153	76	76	1,9			
					377	61	59	0,9			
					461	62	88	3,9			
3	2003	Maj	Maskin/hånd	70	496	97	117	1,5	340	87	102
					308	96	109	9			
					276	88	100	6,7			
					212	84	93	1,6			
					313	80	93	3,7			
4S	2004	August	Maskin/hånd	85	144	38	52	0,6	167	38	55
					180	31	56	1,3			
					188	34	44	0,9			
					160	50	60	3,6			
					162	38	61	1,5			

Minifaldlødsmålinger i Frederiksberg Have

Udført den 12. september 2006 af MOL

Kode	Etableringsår	Måned	Etableringsmetode	Lagtykkelse (mm)	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E0 (MPa)	RMS (%)	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E0 (MPa)
4N	2004	August	Maskin/hånd	90	214	46	61	0,8	216	45	62
					210	52	65	1,8			
					224	37	50	3,3			
					176	49	60	9,9			
					249	59	75	9,6			
5	2005	Juni	Maskin/hånd	88	169	46	80	1,7	240	46	80
					140	61	83	0,9			
					288	40	74	0,6			
					186	50	83	2,3			
					418	34	79	1,2			
6	2006	Juni	Maskin/hånd	53	307	105	113	2,2	375	92	88
					443	78	105	3,7			
					161	78	82	5,7			
					191	69	74	7,8			
					161	64	68	5,8			
7	2006	August	Maskin/hånd	117	156	27	75	1,7	108	22	50
					130	26	51	1,1			
					73	20	40	1			
					84	13	36	1,5			
					95	25	50	1,5			
8	2006	August	Maskin/hånd	103	230	49	72	1,8	199	52	72
					229	45	63	1,3			
					194	50	66	2,7			
					180	55	70	1,8			
					162	62	90	1,2			
9	Ikke omlagt underbund	-	-	-	-	-	53	-	-	-	80
	- sti af blandet oprindelse				-	-	72	-			
					-	-	84	-			
					-	-	77	-			
					-	-	113	-			

Lag 1: Slotsgrus

Lag 2: Underbund

RMS: root-mean-square fejl (kvalitetsmål for bestemmelsen af E1 og E2)

Bilag 5

Minifaldlodsmålinger på bund af forsøgsfelt i Stenrand Grusgrav

Udført den 18. september 2006

Felt	E-værdier (MPa)	Middel E-værdi (MPa)
A5	114 84 75	91
B5	98 159 81	113
C5	99 87 115	100
A10	75 67 70	71
B10	107 105 68	93
C10	233 112 135	160
A15	71 87 66	75
B15	90 69 105	88
C15	100 127 122	116
A20	66 68 73	69
B20	82 94 58	78

Bilag 5

C20	108 108 359	192
A30	100 67 61	76
B30	98 81 80	86
C30	107 107 91	102

Registrering af jævnhed i indbygningsforsøg

Som opfølgning på indbygningsforsøget blev der den 6. oktober foretaget måling af den resulterende jævnhed afledt af de forskellige komprimeringsmetoder på de forskellige udlagte lagtykkelser. Målingerne er udført efter de planlagte 10 overkørsler.

Formål:

Formålet var at undersøge om der var forskel i den resulterende jævnhed ud fra hvilket komprimeringsmateriel der anvendtes og om den udlagte lagtykkelse har betydning. Resultatet af jævnhedsmålingen skal supplere resultaterne fra komprimeringsforsøget til en samlet vurdering af indbygningsmetoder.

Metode:

Der blev anvendt en metode der er specificeret i "Normer og vejledning for Anlægsgartnerarbejde 2005" (Danske Anlægsgartnere), skema B16. Metoden der er aflædt af DS 1136 og Vejregeludvalget, 1998 angiver anvendelse af 3 m retskede og måling af gab under denne som udtryk for jævnhed.

Metoden er her konkretiseret yderligere for at opnå reproducerbare målinger og kunne behandle data statistisk.

Den anvendte 3 m retskede som er underinddelt i 5 opmærkede stykker af 60 cm. Retskeden er udlagt så den hviler af på minimum 2 punkter på fladen og ikke på den ophøjning der er i siderne af parcellerne som følge af at komprimeringsmetoderne ikke har overlappet hinanden.

Inen for hvert 60 cm stykke er fundet og opmålt det største gab fra underkant retskede til overfladen med tommestok med 0,1 cm's nøjagtighed fundet ved en visuel "retvinklet projektion".

I hver parcel er der foretaget måling i 3 linier med 1 m afstand i 1/3 delspunkterne. Alle målinger er foretaget på tværs af kørselsretningen for komprimeringsmaterialet.

Målingerne er udført af Torben Dam og Palle Kristoffersen. Den statistiske bearbejdning er udført af Oliver Bühler.

Resultater:

I tabel 1 er anført de gennemsnitlige jævnheder for hver parcel (tykkelse x metode) samt gennemsnit over hhv. tykkelse og komprimeringsmetode og de tilhørende standardafvigelser.

Resultaterne viser jævnheden er faldende med stigende lagtykkelse og at standardafvigelsen ligeledes er stigende med stigende lagtykkelse. Dog afviger 10 cm lagtykkelsen ved at have en den næststørste gennemsnitlige ujævnhed og den største standardafvigelse som udtryk for at parcellen er meget uensartet.

Bilag 6

Komprimering med pladevibrator giver større ujævnhed og større uensartethed som det ses af den største værdi for gennemsnitlig nedstik og største standardafvigelse på målingerne.

Tabel 1: Resultat af jævnhedsmålinger. Jævnhed målt som maksimalt gab er anført som gennemsnit af 5x3 målinger (cm). Stigende værdier angiver fladende jævnhed Stdafv angivet i ().

	Komprimeringsmetode			
Tykkelse	Pladevibrator	Tromle	Vibrationstromle	Gennemsnit for tykkelse
5	0,99 (0,50)	0,60 (0,25)	0,53 (0,30)	0,71 (0,41)
10	1,73 (1,21)	0,7 (0,30)	0,47 (0,22)	0,97 (0,90)
15	0,83 (0,40)	0,86 (0,48)	0,48 (0,28)	0,72 (0,42)
20	1,17 (0,65)	0,94 (0,55)	0,53 (0,40)	0,88 (0,59)
30	1,65 (0,50)	0,48 (0,32)	0,90 (0,46)	1,01 (0,65)
Gennemsnit for komprimeringsmetode	1,28 (0,78)	0,72 (0,42)	0,58 (0,35)	0,86

I tabel 2 er samme resultater angivet med statistisk sikkerhed for de forskellige lagtykkelser. Gennemsnitligt på tværs af komprimeringsmetoderne ses, at 5 og 15 cm lagtykkelser giver signifikant mere jævnt resultat end 10 og 30 cm lagtykkelse. Bag dette resultat ligger en forskellighed inden for hver af de anvendte metoder. Samlet set må det konkluderes, at stigende lagtykkelse til og med 30 cm ikke giver stigende giver stigende ujævnhed. Specielt ses at anvendelse af vibrationstromle giver en meget ensartet jævnhed til og med en lagtykkelse på 20 og så stiger markant op til 30 cm tykkelsen. Modsvarende medfører anvendelse af pladevibrator meget varierende jævnhed og 4 af 5 resultater er de højeste beregnede.

Tabel 2: Resultat af jævnhedsmålinger for tykkelser angivet med statistisk sikkerhed. Værdier i kolonner efterfulgt af samme bogstav er ikke statistisk forskellig på 5 % niveauet.

	Komprimeringsmetode			
Tykkelse	Pladevibrator	Tromle	Vibrationstromle	Gennemsnit for tykkelse
5	0,99 A	0,60 A	0,53 A	0,71 A
10	1,73 B	0,70 ABC	0,47 A	0,97 B
15	0,83 BC	0,86 BC	0,48 A	0,72 A
20	1,17 AC	0,94 C	0,53 A	0,88 AB
30	1,65 BC	0,48 A	0,90 B	1,01 B

Bilag 6

I tabel 2 er angivet jævnheden i forhold til komprimeringsmetoder. Gennemsnitligt for alle lagtykkelser er der signifikant forskel mellem pladevibrator og tromle og vibrationstromle, således at anvendelse af pladevibrator medfører større ujævnhed end de andre to metoder. Ved alle 5 lagtykkelser er der således signifikant forskel mellem pladevibrator og vibrationstromle. Ved de tre tykke lag på 15-30 cm er der også signifikant forskel mellem tromle og vibrationstromle. I lagtykkelserne 15 og 20 cm er der ikke signifikant forskel mellem brug af pladevibrator og tromle.

Tabel 2: Resultat af jævnhedsmålinger for komprimeringsmetoder angivet med statistisk sikkerhed. Værdier i rækker efterfulgt af samme bogstav er ikke statistisk forskellig på 5 % niveauet.

	Komprimeringsmetode		
Tykkelse	Pladevibrator	Tromle	Vibrationstromle
5	0,99 A	0,60 B	0,53 B
10	1,73 A	0,70 B	0,47 B
15	0,83 A	0,86 A	0,48 B
20	1,17 A	0,94 A	0,53 B
30	1,65 A	0,48 B	0,90 C
Gennemsnit for komprimeringsmetode	1,28 A	0,72 B	0,58 B

Diskussion:

Målingerne af jævnhed viser at der ikke er nogen entydig forskel i jævnhed i forhold til de udlagte lagtykkelser op til og med 20 cm, hvorimod der synes at være større ujævnhed ved udlægning i 30 cm lagtykkelse.

Valget af komprimeringsmetode har derimod stor indvirkning på den resulterende jævnhed. Anvendelse af pladevibrator giver mindre jævnhed end anvendelse af tromle og specielt når der anvendes vibration på tromlen og specielt ved lagtykkelser over 10 cm.

Den mindre ujævnhed ved anvendelse af tromle og vibrationstromle må tilskrives tromles større vægt og større bredde, der samlet bedre kan kompensere for den uensartethed der er i materialets tæthed efter udlægning (*kan dette eftervises af måleresultater før og efter komprimering ??*).

De gennemførte jævnhedsmålinger omfatter alene den tværgående jævnhed. Den langsgående ujævnhed, der bl.a. er opstået som følge af pladevibrator og tromles forcering af højdeforskelle mellem parceller er ikke opgjort. Men denne langsgående ujævnhed anses det for lettere at udjævne med kørende som f.eks. stihøvl eller grader.

Måling af resulterende lagtykkelser

Materialet blev udlagt med 20% overhøjde (hhv. 6,12,18,24 og 36 cm tykkelse). For at udsøge den resulterende lagtykkelse blev der foretaget nedgravning til planum i den side hvor der er foretsget

Bilag 6

komprimering med pladevibrator. Der blev udført 3 udgravninger og målinger i hver lagtykkelse svarende til de tre målesteder for jævnhed. Den 3 m retskede blev udlagt på belægningsoverflade og herfra blev ved nedstik foretaget en enkelt måling af lagtykkelsen for hver udlagt tykkelse. Resultaterne herfra ses i tabel 4.

Tabel 4: Resulterende lagtykkelse og %-afvigelse fra tilstræbte tykkelser

Tilstræbt lagtykkelse	Målt tykkelse (Gennemsnit af 3 målinger)	% afvigelse
5	5,4	8,0
10	9,9	1,0
15	16,0	6,6
20	22,5	12,5
30	31,2	4,0

Opgave

Rekurent

K-819-01
KVL Skov & Landskab

Dato

Sted

Udført af

22. september
2006
Stenrand
MOL

Lagtykkelse

Antal overkørs-
ler

15 cm
10

Referenceværdi

(vibration)

Tælleperiode

2,080 Mg/m3

1 minut

Måling nr.	Målefelt	Måledybde (cm)	Våddensitet (Mg/m3)	Vand (Mg/m3)	Vandindhold (%)	Tørdensitet (Mg/m3)	Komprimeringsgrad (%)
331	C	15	2,039	0,0753	3,8	1,964	94,4
332	C	15	2,067	0,077	3,9	1,990	95,7
333	C	15	2,126	0,0919	4,5	2,034	97,8
334	C	15	2,072	0,0952	4,8	1,977	95,0
335	C	15	2,111	0,1034	5,2	2,008	96,5
336	B	15	2,135	0,0985	4,8	2,037	97,9
337	B	15	2,087	0,0836	4,2	2,003	96,3
338	B	15	2,031	0,0687	3,5	1,962	94,3
339	B	15	2,096	0,1001	5,0	1,996	96,0
340	B	15	2,08	0,082	4,1	1,998	96,1
341	A	15	2,128	0,0836	4,1	2,044	98,3
342	A	15	2,163	0,1001	4,9	2,063	99,2
343	A	15	2,172	0,1134	5,5	2,059	99,0
344	A	15	2,148	0,0968	4,7	2,051	98,6
345	A	15	2,169	0,1051	5,1	2,064	99,2

Middelværdier

Felt	Vandindhold (%)	Tørdensitet (Mg/m3)	Komprimeringsgrad minimum
C	4,4	1,994	94,4
B	4,3	1,999	94,3
A	4,9	2,056	98,3

Skov og Landskab
Att.: Palle Kristoffersen
Rolighedsvej 23
1958 Frederiksberg

Rapport nr.: G 2091
Sagsnr.: K-819-01
Init.: GHB
Dato: 20. december 2006
Side: 1 af 2

Prøvningsrapport

Rekvirent: Skov og Landskab

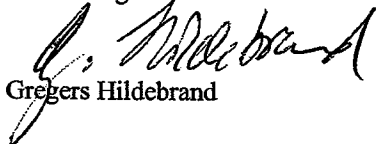
Foretaget prøvning af: Indleverede prøve af 28. september 2006

Metodereferencer: Prøveneddeling
Vibrationsbord
DS/EN 932-2:2000
DS/EN 13286-5:2003

Prøvningen udført: 29. september 2006

Prøvningsresultat: Fremgår af side 2

Med venlig hilsen


Gregers Hildebrand

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.

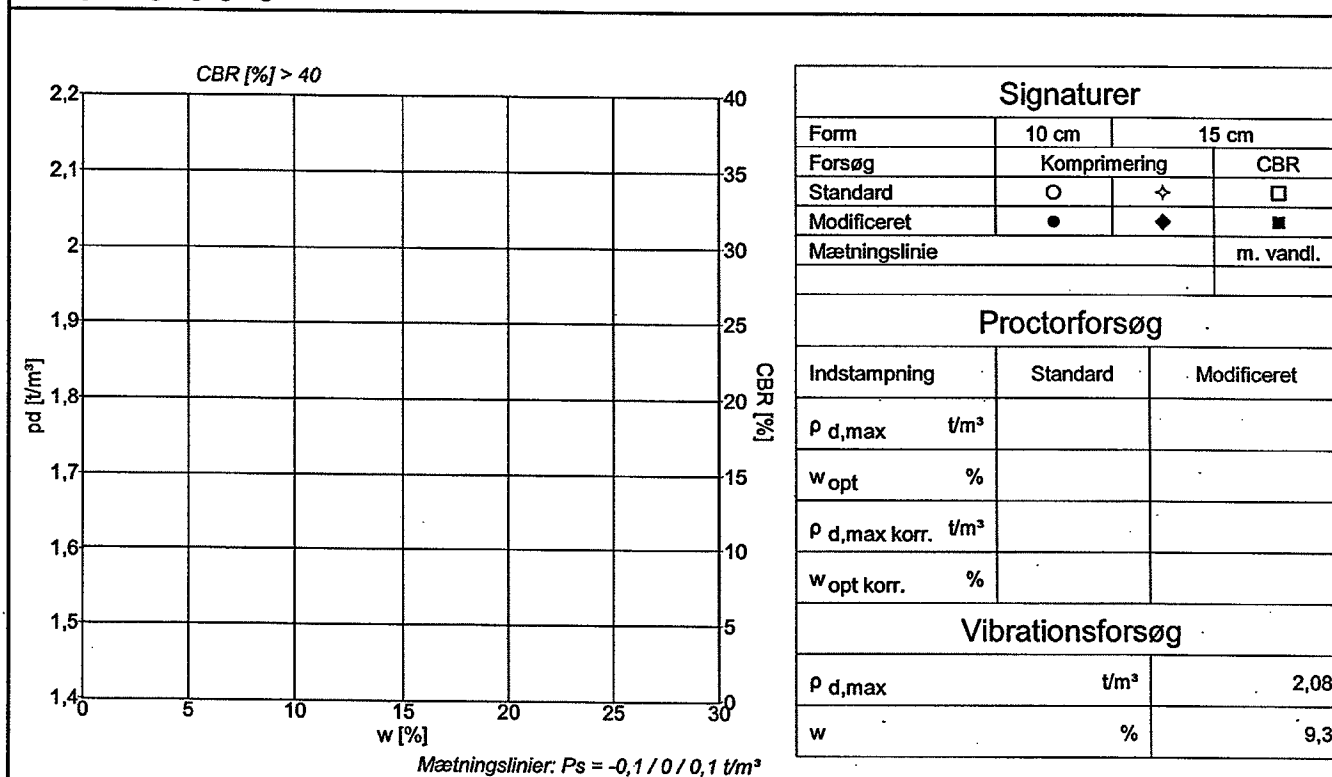
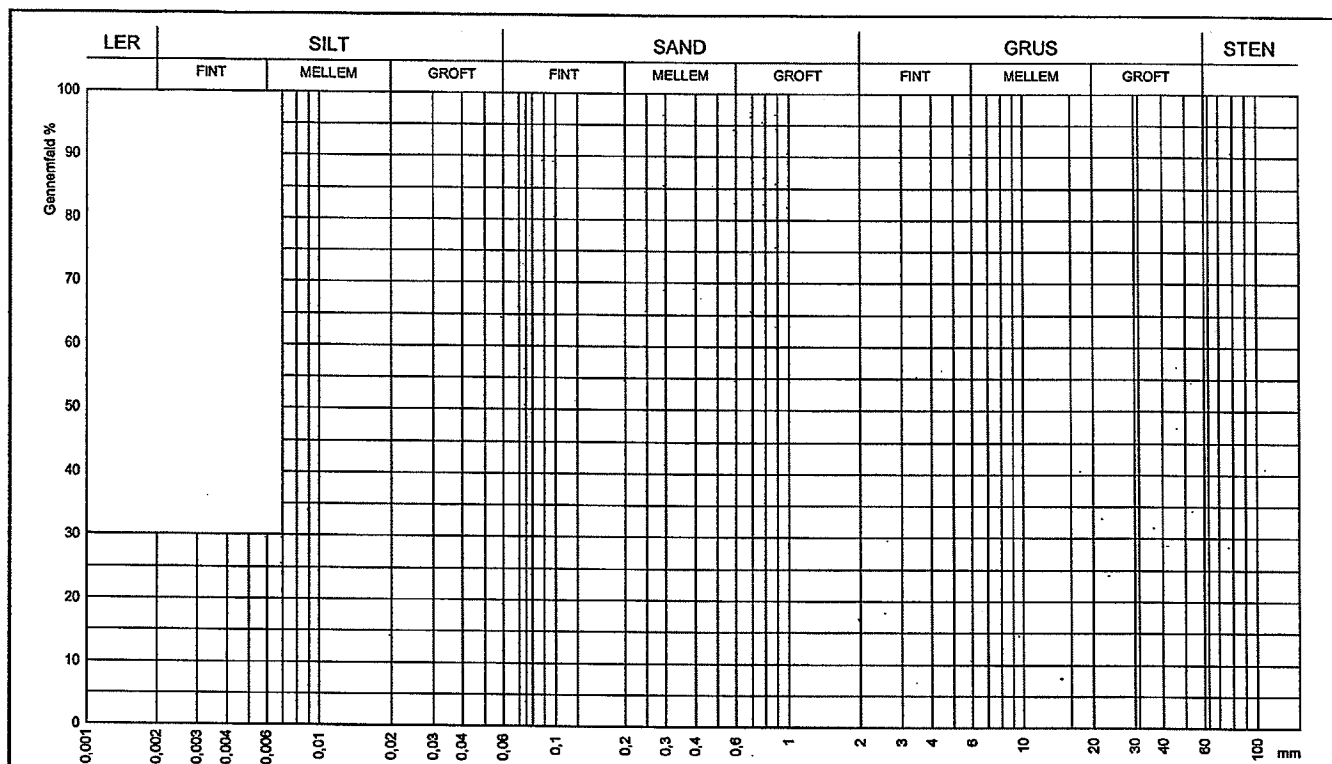
Prøvningsrapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden laboratoriets skriftlige godkendelse.

Adresse
Vejdirektoratet
Vejteknisk Institut
Gulldalderen 12
Postboks 235
2640 Hedehusene

Telefon
+45 46 30 70 00

Telefax
+45 46 30 71 05

Postgiro
4 07 64 00



Gennemfald 0.075 mm	%	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 75 mm	%
Flydegrænse w _L	%	Plasticitetsgrænse w _p	%		Plasticitetsindeks I _p	%
Korndensitet(0-0.075mm) ρ _s	t/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ _s	t/m³		Korndensitet(>16mm) ρ _s	t/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%		Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl _{red}	%			
Sandækvivalent SE	%	Humusindhold				
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w _{nat}	%			

Prøvebeskrivelse: Slotsgrus

Rekvirent: Skov og Landskab	 Vejdirektoratet Vejteknisk Institut	Station:	Mrk.:
Sted:		Dybde:	Lab. nr.: 6
Udt. d.: 22-09-2006	Modt. d.:	Tegn.: AHH	Godk.: 27/9-06 <i>QHB</i>
		Sag nr.: 819	Bilag/side nr.: