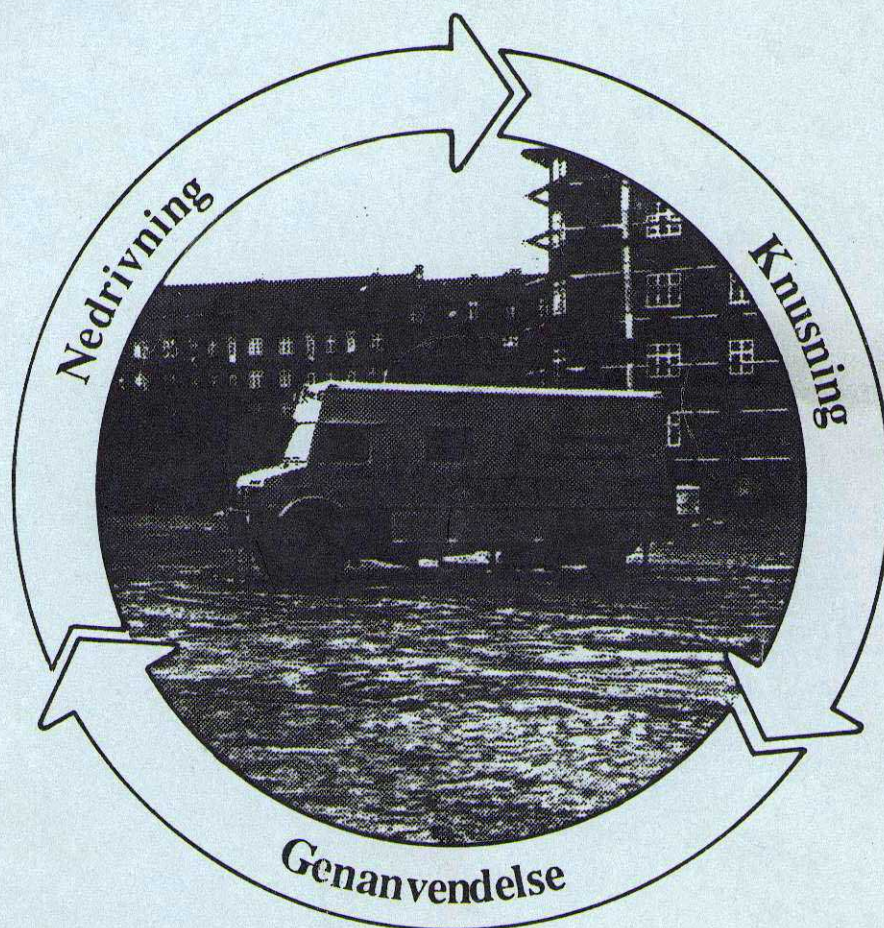


Nedrivning af bygningskonstruktioner og genanvendelse af nedrivningsprodukter

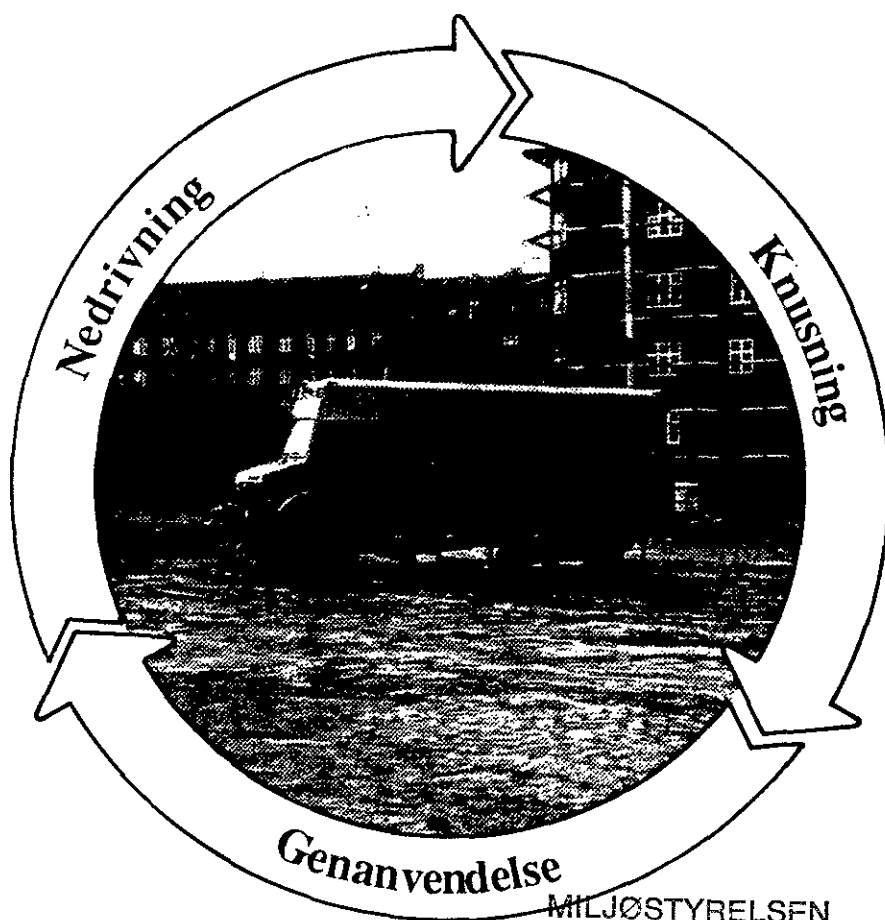
Bilag 2: Forsøg med nedknuste tegl- og beton
materialer til etablering af P-plads



Oktober 1988

Nedrivning af bygningskonstruktioner og genanvendelse af nedrivningsprodukter

Bilag 2: Forsøg med nedknuste tegl- og beton materialer til etablering af P-plads



Oktober 1988

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1. BAGGRUND OG FORMÅL	1
2. PRAKTISK GENNEMFØRELSE	1
2.1 Knusning af materialer	1
2.2 Opbygning af belægninger	4
3. VURDERING OG PERSPEKTIVER	8
3.1 Fremstilling og egnethed	8
3.2 Anvendelse til belægningsopbygning	8

BILAG

1. BAGGRUND OG FORMÅL

Projektets baggrund er ønsket om at undgå problemer med borttransport og slutdeponering af materialer fra bygningsdemolering. Herved kan der realiseres trafikale og miljømæssige gevinster, særligt hvis nedrivningsprodukterne genanvendes til substitution af materialer, der også ville have forårsaget transportgener, og/eller med større fordel kunne have været anvendt til andre formål.

En mulig anvendelse af materialerne ville derfor være erstatning af grus af mellem - eller høj kvalitet, der normalt anvendes som bundsikringslag (frostsikring) eller ubundne bærelag i vejbelægninger.

Formålet med projektet var at undersøge om nedrivningsmaterialerne kunne anvendes til fremstilling af egnede belægningsmaterialer, samt anvendes til opbygning af tilfredsstillende belægninger.

2. PRAKTISK GENNEMFØRELSE

2.1 Knusning af materialer

Behandling af materialene skete med et knuseanlæg. Man planlagde en opdeling i 3 forskellige materialetyper, et dog i 2 varianter, som nedenfor angivet:

- 1) Ren tegl - med meget lille indhold af urenheder.
- 2a) Blandet beton og tegl uden indhold af glaserede fliser.
- 2b) Som 2a), men med indhold af glaserede fliser.
- 3) Ren beton.

I den faktiske produktion blev 2a) og b) slået sammen. Fra produktionen blev udtaget materialeprøver til sigtning og laboratorieforsøg, der udførtes på Statens Vejlaboratorium. Sigtekurverne er sammenfattet i omstående figur 1-4. Sigtekurven for den rene beton er principielt utilfredsstillende, idet andelen af finkornede partikler er for ringe. For de øvrige sigtekurver gælder, at de overholder de normale krav til grusmaterialers sammensætning.

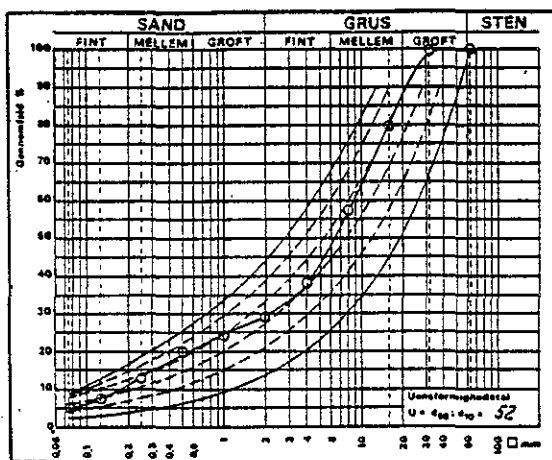
Udover sigtningerne udførtes der bl.a. proctor- og CBR-forsøg, for hvilke hovedresultaterne er anført nedenfor. En fuld rapportering er samlet i nærværende bilagsrapports bilag 1.

	Tegl	Tegl/beton m.m.	Beton
Optimal vandindh.			
W_{opt} (%)	13,0-17,0	19,0	13,5
Max. tør densitet,			
$d, \max$ (t/m ³)	1,68-1,75	1,68	1,79
Kapillaritet (cm)	35-50	35	20
Max. CBR	95-100	104	115

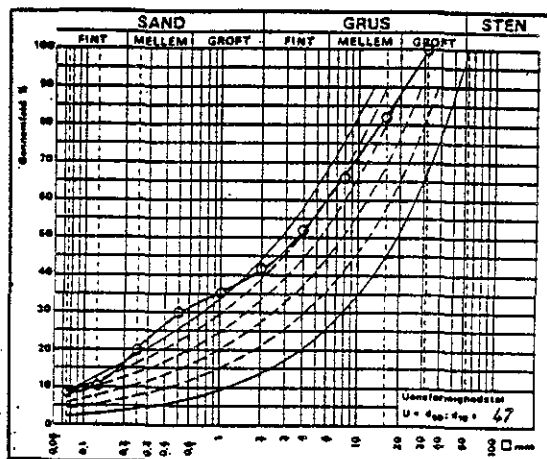
Tabel 1. Optimale materialeegenskaber.

Forsøgene demonstrerer gode styrkeegenskaber (høje CBR-værdier), men ret lave tør densiteter og høje optimale vandindhold.

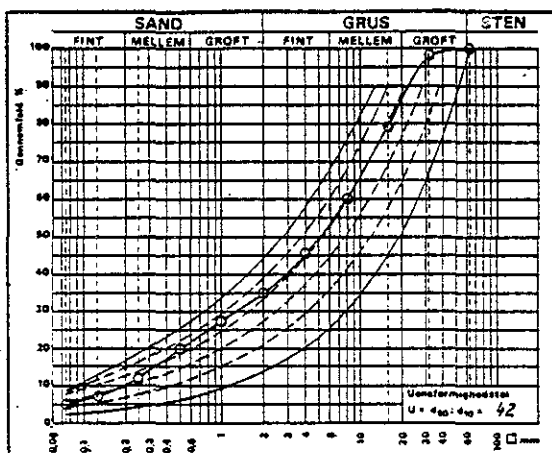
Dette skyldes dog at materialerne har ret lave korndimensioner og er vandsugende.



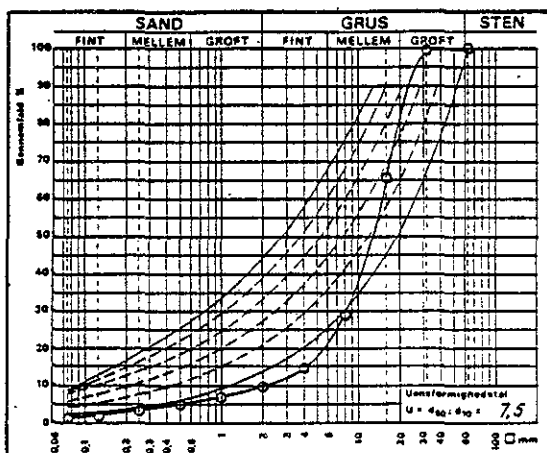
Figur 1 - Tegl



Figur 2 - Tegl



Figur 3 - Beton og tegl



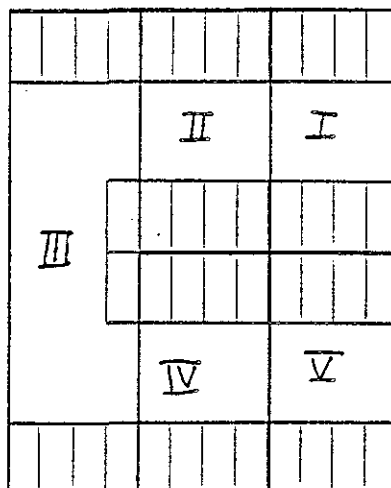
Figur 4 - Beton

Figur 1-4. Sigtekurver for 4 materialeprøver, jfr. bilag 1.

2.2 Opbygning af belægninger

Der planlægges opbygget ialt 5 forskellige forsøgsbelægninger, bestående af et bundsikrings- og bærelag, som nedenfor angivet:

De 3 knuste materialer bruges i opbygningen af belægningen på P-pladsen. Af de 3 materialer er sammensat 5 belægningstyper, der udlægges i 5 områder på P-pladsen (se skitse).



Belægningen består af et 20 cm toplag og 30 cm bundsikring. De 5 belægningstyper på de 5 områder planlægges udført på følgende måde:

Område I:	20 cm knust tegl
	30 cm knust "dårlig" beton
Område II:	20 cm knust "god" beton
	30 cm knust "dårlig" beton
Område III:	20 cm knust "god" beton
(plan)	30 cm knust "god" beton
Område IV:	20 cm knust "god" beton
(plan)	30 cm knust tegl
Område V:	20 cm knust tegl
	30 cm knust tegl

Det viste sig dog, at vurderingen af mængderne af knust beton havde været sat for højt, således at kun en del af Område II bærelag kunne udføres i knust beton. De øvrige bærelag udførtes i knust tegl.

Forsøgene blev herefter udført på følgende belægninger:

Område I:	20 cm knust tegl 30 cm knust "dårlig" beton
Område II:	20 cm knust "god" beton 30 cm knust "dårlig" beton
Område III:	20 cm knust tegl 30 cm knust "god" beton
Område IV:	20 cm knust tegl 30 cm knust tegl
Område V:	20 cm knust tegl 30 cm knust tegl

Fastlæggelse af komprimeringsindsats skete ud fra tromlingsforsøg med 3 forskellige intensitetsniveauer, fordelt omkring det forventede niveau til opnåelse af den fordrede densitet på 95% standard proctor. Komprimeringen udførtes med en 2-valset vibrationstromle, Vibromax 602 med et statisk linietryk på 1,9 t/m.

Inden opbygning af befæstelserne udførtes statiske pladebelastningsforsøg på råjordsplanum, således at bundforholdene inden opbygning af belægningerne var kendt - der konstateredes overflademoduler mellem 40 og 90 MPa, hvilket er ret høje værdier.

Indbygning af bundsikringslaget - med de forudgående forsøg til fastlæggelse af komprimeringsindsats - foregik problemfrit.

Forsøgene viste at 8 tromlepassager burde være tilstrækkeligt til at opnå 95% standard proctor, jfr. figur 5.

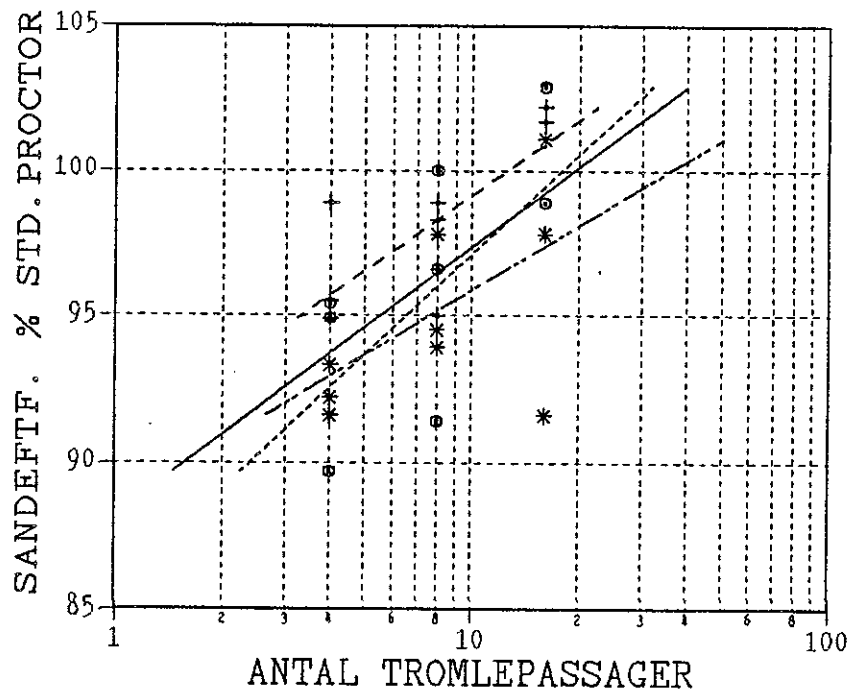


Fig. 5. Komprimeringsgrad målt ved sandefterfyldning, som funktion af antal tromlepassager.

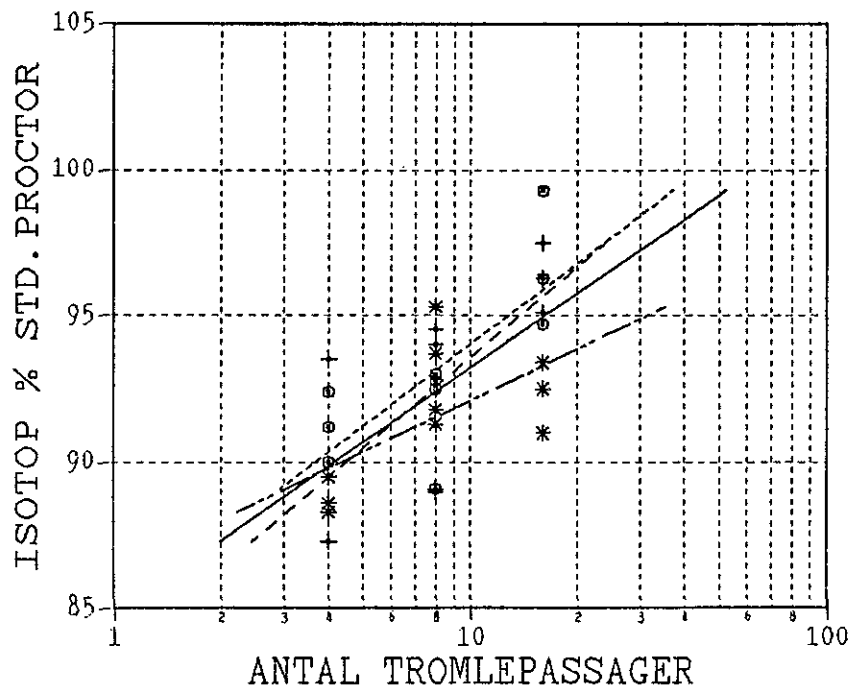


Fig. 6. Komprimeringsgrad målt med isotopsonde, som funktion af antal tromlepassager.

Forsøg (isotop og sandefterfyldning) på den færdigkomprimerede overflade viste da også at dette krav stort set overholdtes af middeldensiteterne.

	Isotop	Sandefterfyldn.
Beton	96,7	99,0
Beton/tegl	93,2	95,0
Tegl	94,2	94,3

Tabel 2. Gennemsnitlige opnåede densiteter på bundsikring.

I betragtning af udførelsestidspunktet - januar måned, med risiko for at frost skulle sætte hele opbygningsarbejdet i stå - gik man derfor videre med indbygning af bærelagene. For disse forventedes en nødvendig tromleindsats på 12 passager til opnåelse af 100% standard proctor. Dette viste sig også at være tilstrækkeligt for betonmaterialet (se tabel 3).

Beton	98,7	103,4
Tegl	92,5	91,8

Tabel 3.

For teglmaterialet var det helt oplagt nødvendigt at udføre supplerende komprimering. Efter yderligere 12 tromlepassager, d.v.s. en fordobling af den forudsete komprimeringsindsats, opnåedes en densitet på 95,6% standard proctor, målt ved hjælp af isotopsonde - dette kunne ved korrelation med de oprindelige sammenhørende isotop/sandefterfyldningsmålinger omregnes til en densitet på 97,7%, bestemt ved sandefterfyldning. For ikke at forårsage en uheldig nedknusning af materialet, besluttedes det at acceptere dette resultat.

3. VURDERING OG PERSPEKTIVER

Vurderingen må opdeles i 2 separate områder, nemlig:

- a) Fremstillingen af materialer og deres egnethed til vejbygningsformål.
- b) Materialernes anvendelse til opbygning af belægninger.

3.1 Fremstilling og egnethed

Det viste sig muligt at fremstille materialer med stort set tilfredsstillende graderinger, selv om der kun anvendtes en 1-trins knuser (slagknuser).

De fremskaffede materialer havde også under laboratorieforhold gode deformationsegenskaber, karakteriseret ved CBR-værdier omkring 100. Til gengæld er slidstyrken, med Los Angeles abrasionværdier på ca. 40 for de teglholdige materialer ret lav. Kun betonmaterialet, med en værdi på 29 nærmer sig normale grusmaterialers værdi på 25. De teglholdige materialer må derfor forventes at have en ret høj tilbøjelighed til nedknusning under indbygning.

3.2 Anvendelse til belægningsopbygning

For alle materialerne gjaldt, at de var lette at håndtere og indbygge til en densitet, der tilfredsstillede normale krav til bundsikringsmaterialer.

Ved anvendelsen til opbygning af bærelag viste det sig, at de teglholdige materialer opførte sig markant anderledes end betonmaterialet, der uden videre kunne komprimeres til den fordrede densitet med den beregnede komprimeringsindsats.

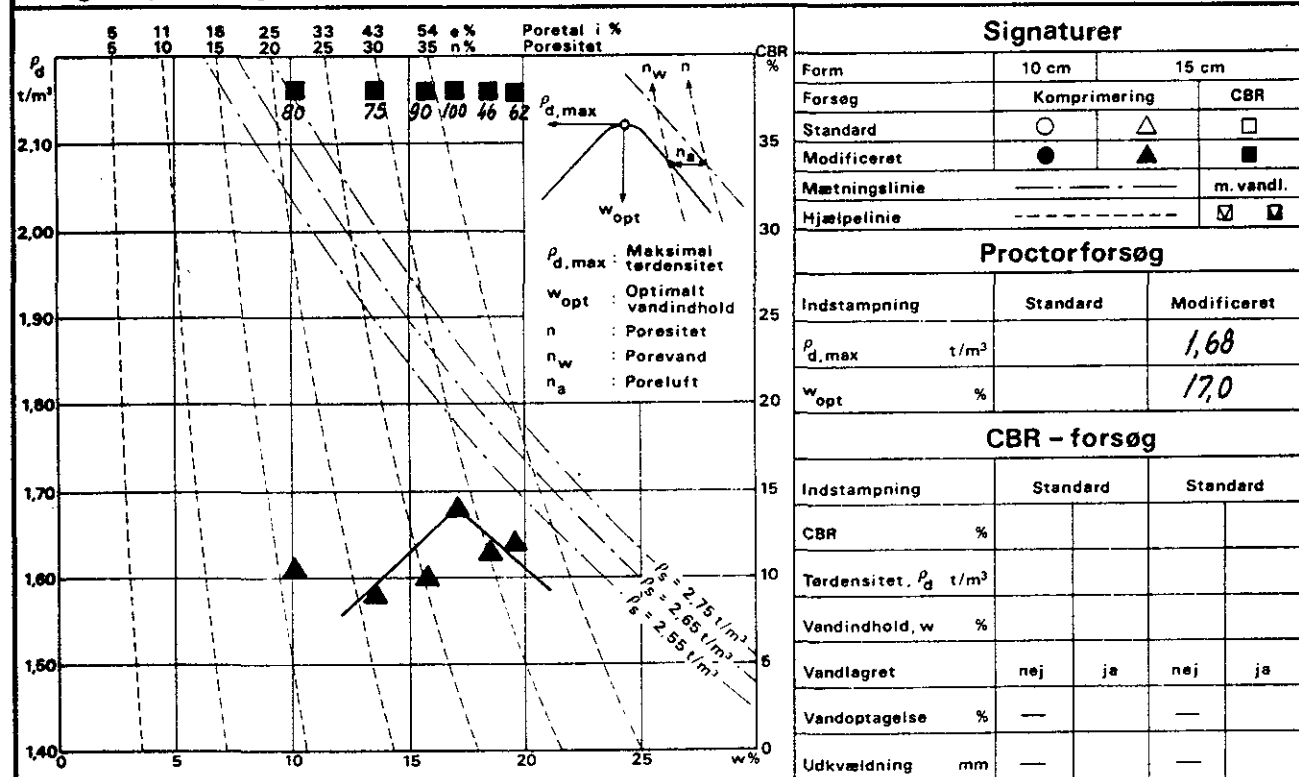
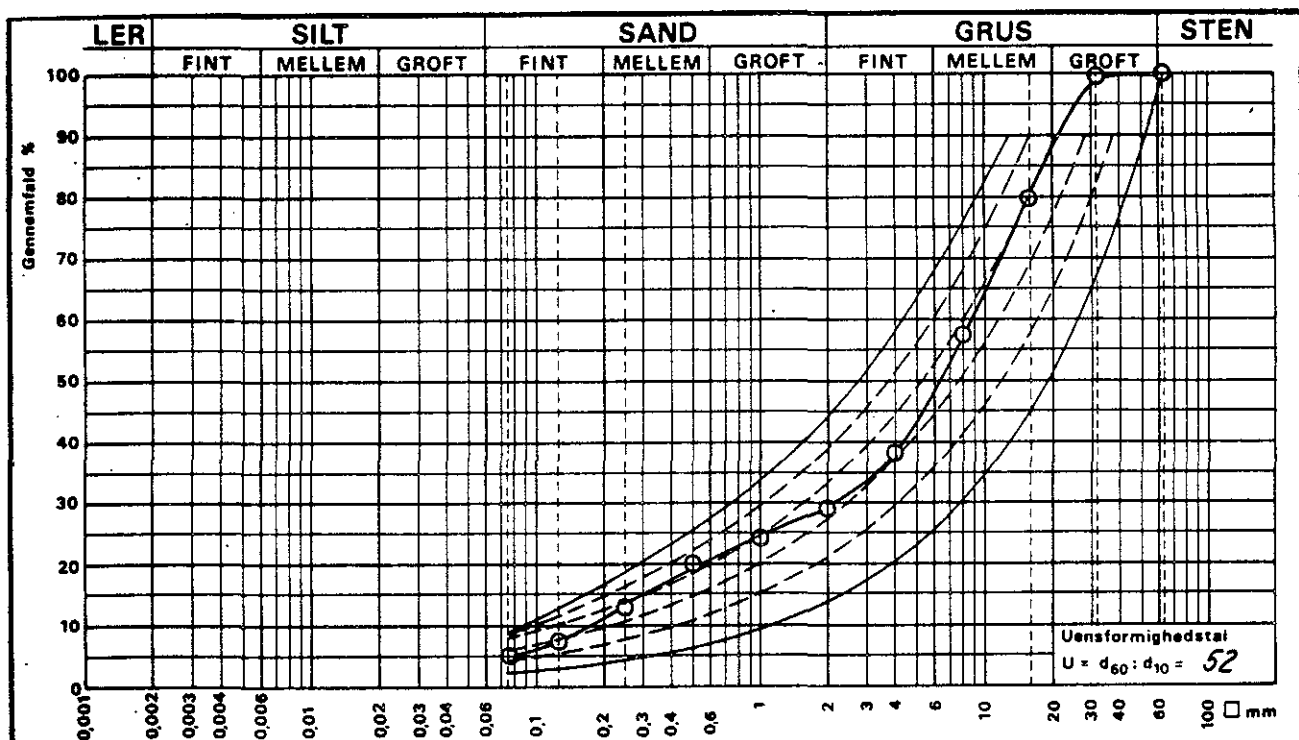
Dette var langt fra tilfældet med teglmaterialerne, der selv ved en fordobling af komprimeringsindsatsen knapt nåede op på 100% standard proctor. Med de ret ringe knusningsegenskaber for dette materiale afstod man fra at forsøge med en yderligere komprimeringsindsats. En medvirkende årsag til problemerne med komprimering af teglen kan have været det høje vandindhold, ca. 19%, hvilket var 3-4% over de ved laboratorieforsøgene bestemt optimale vandindhold.

Herved adskiller de tegl- og betonbaserede materialer sig tydeligt fra hinanden - de gode indbygningsegenskaber for beton er iøvrigt en bekræftelse på erfaringer gjort under tidligere arbejder.

Det er muligt at teglens ringere indbygningsegenskaber hænger sammen med nedknusningen, hvor den stigende andel af fine partikler hæmmer vandets bevægelse.

En endelig vurdering af materialernes egnethed må imidlertid bero på en fortsat observations- og måleindsats for forsøgsbefæstelserne.

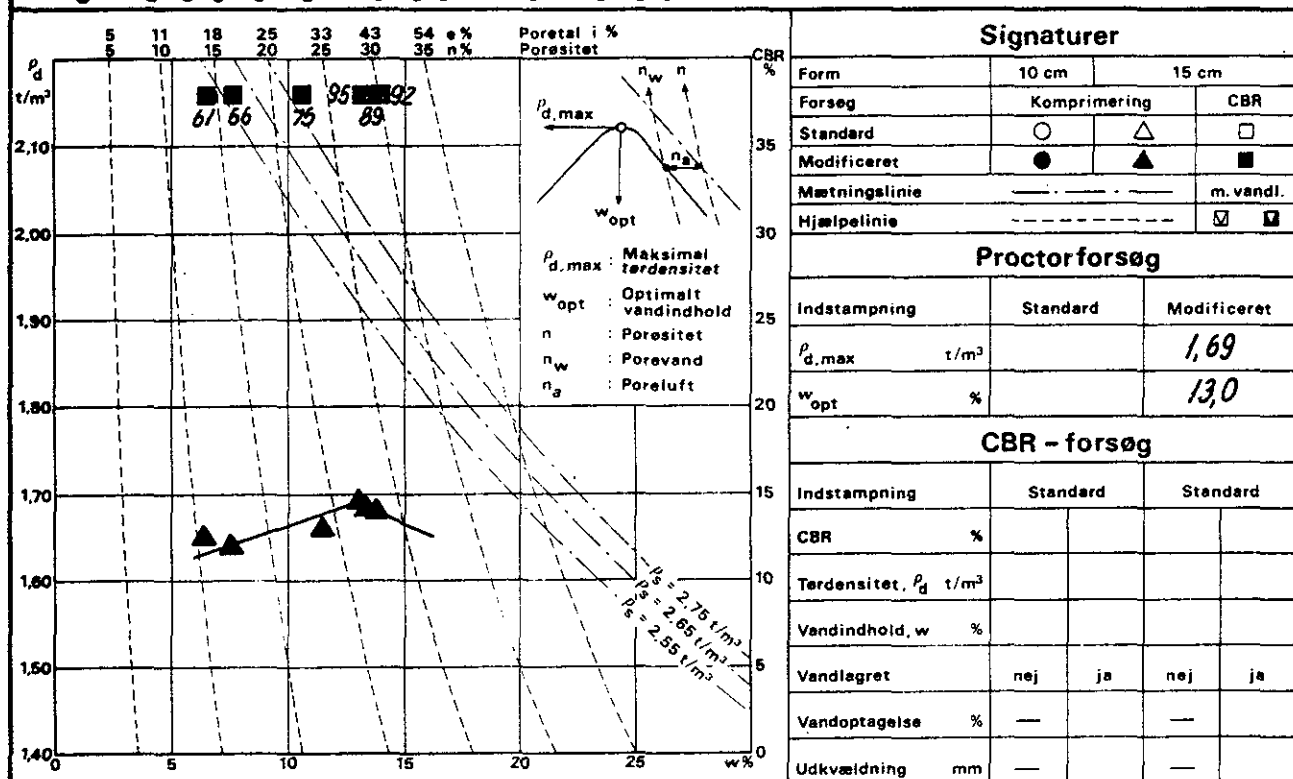
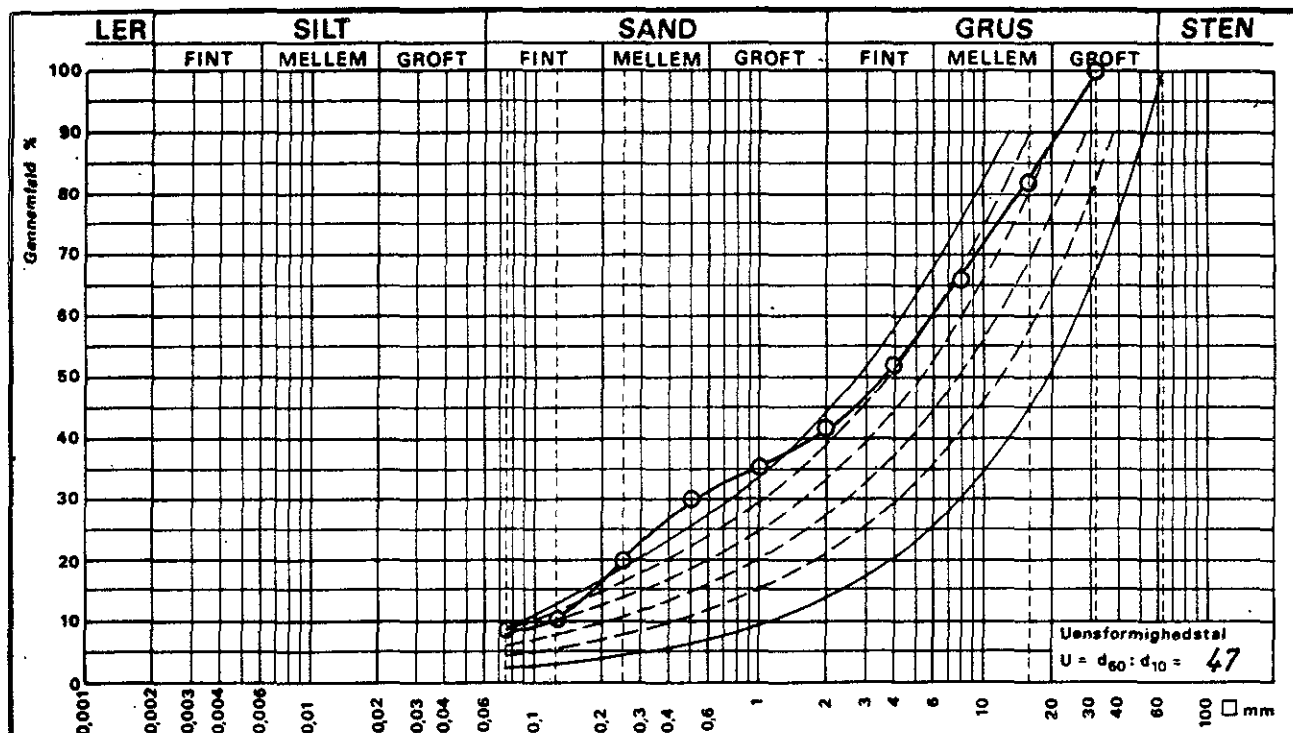
Materialeundersøgelser af 1/9-1987 udført af
Statens Vejlaboratorium.



Frasigtet > 16 mm		s	20	%	Vandindhold in situ	w_{nat}	%	Vurderet frostfare	
Flydegrænse		w_L		%	Plasticitetsgrænse	w_P	%	Plasticitetsindeks	I_P %
Korndensitet (0-75 μ m)		ρ_s		t/m ³	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 %
Glødetab		g_l		%	Glødetab reduceret	g_{red}	%	Humusindhold	
Sandækvivalent		SE	69	%	Kapillaritet	h_c	35 cm	ASTM $\rho_{d,max}$	1,68 t/m ³
Flisethedstal (5,6-8 mm)		f	1,32		Sprødhedstal (5,6-8 mm)	s	58,1	Vandindhold w_{opt}	19,0 %

Prøvebeskrivelse: GRUS (op til ca. 3 cm), sandet, kalkh. Materialet består overvejende af knust tegl, men indeholder desuden: cementbeton, flint, slagge, træstykker og porcel.

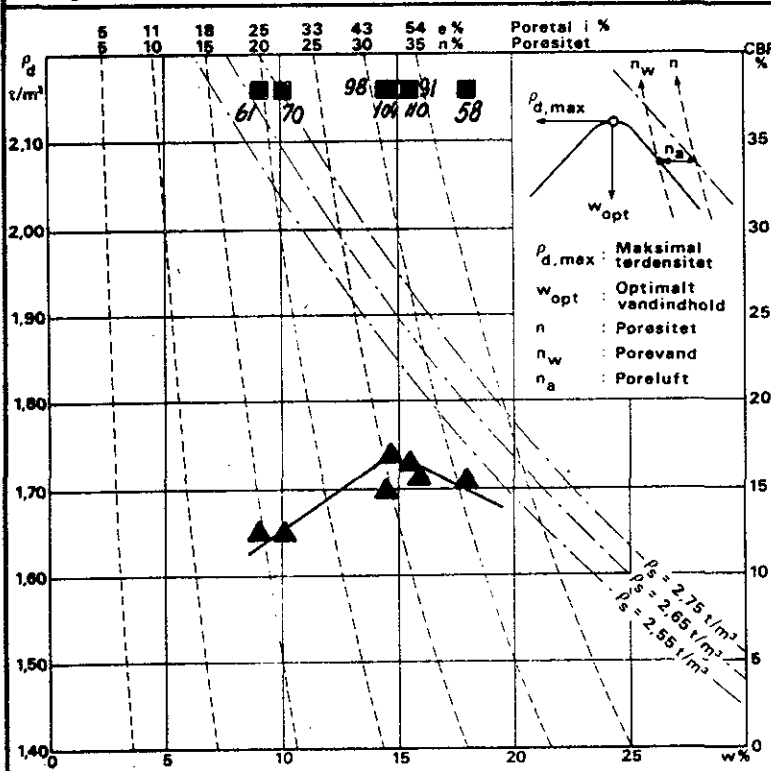
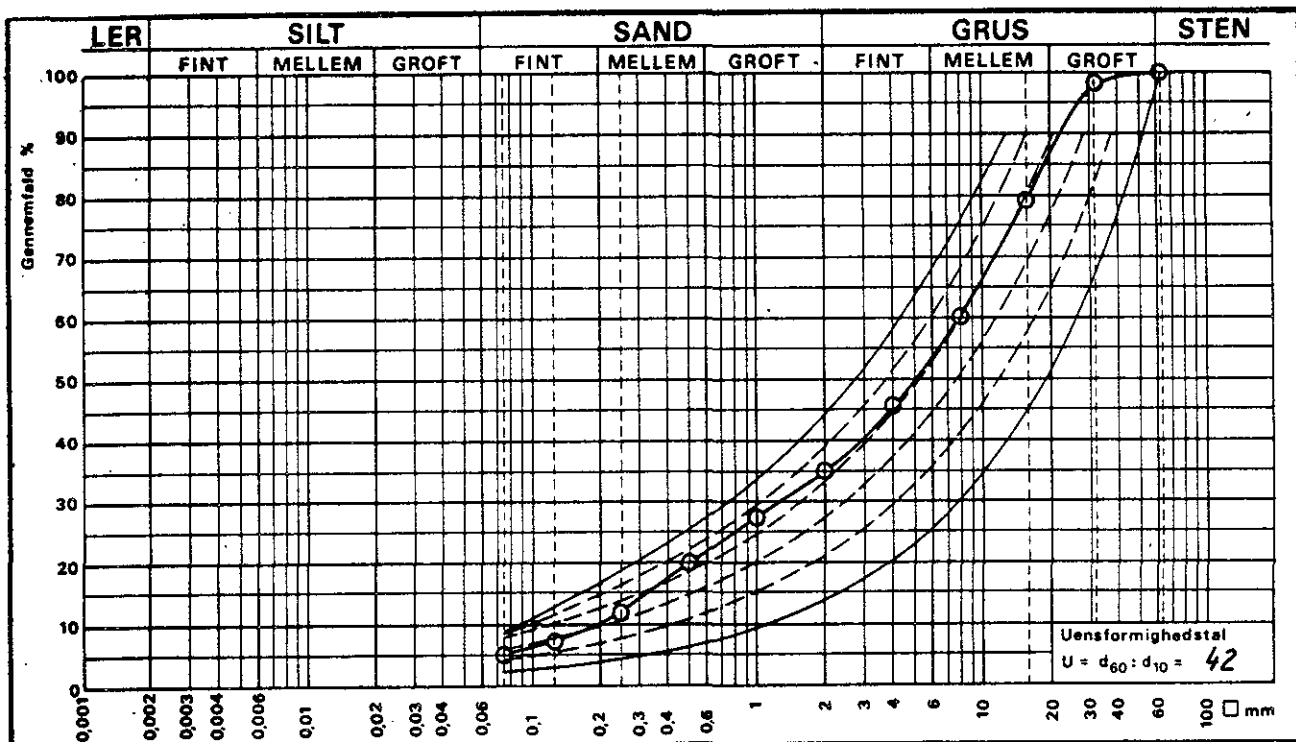
Rekvirant: COWIconsult		STATENS VEILABORATORIUM			FORSØGSOVERSIGT	
Sted: Øst: Gasværk	Mrk:	Dybd: Kote:	Station: Boring:	SVnr.: 1		
Udt.d.: 87.06.28	Tegn.: HAAJ	Godk.d.: 19-87	572	Sag nr.: 764209 T509-01	Bilag nr.: 1	



Frasigtet > 16 mm	s	18	%	Vandindhold in situ	w_{nat}	%	Vurderet frostfare	
Flydegrænse	w_L		%	Plasticitetsgrænse	w_p	%	Plasticitetsindeks	I_p %
Korndensitet (0-75 μ m)	ρ_s		t/m ³	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 %
Glødetab	g_l		%	Glødetab reduceret	$g_{l,red}$	%	Humusindhold	
Sandækvivalent	SE	49	%	Kapillaritet	h_c	50 cm	ASTM $p_{d,max}$	1,75 t/m ²
Tærdensitet i marken	ρ_d		t/m ³	Tærdensitet korrigeret	$\rho_{d,k}$	t/m ³	Vanindhold w_{opt}	17,0 %

Prøvebeskrivelse: GRUS (op til ca. 3cm), sandet, kalkh.. Materialet består langt overvejende af knust tegl, men indeholder desuden bl.a. en del knust cementbeton.

Rekvirent:	COWiconsult	STATENS VEJLABORATORIUM	FORSØGSOVERSIGT
Sted:	Øsire G. væk	Mrk.: 1	Dynde: Kote:
Udt.d.:	87.07.27	Tegn.: HAAJ	Godk.d.: 19-87 574
			Station: Boring: SVnr.: 2
			Sag nr.: 764209 Bilag nr.: 2

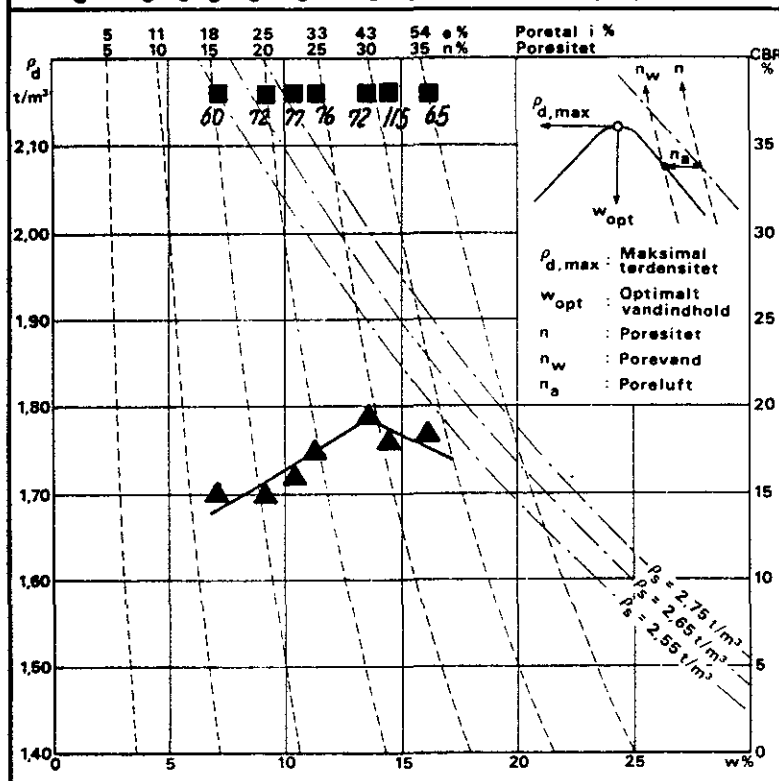
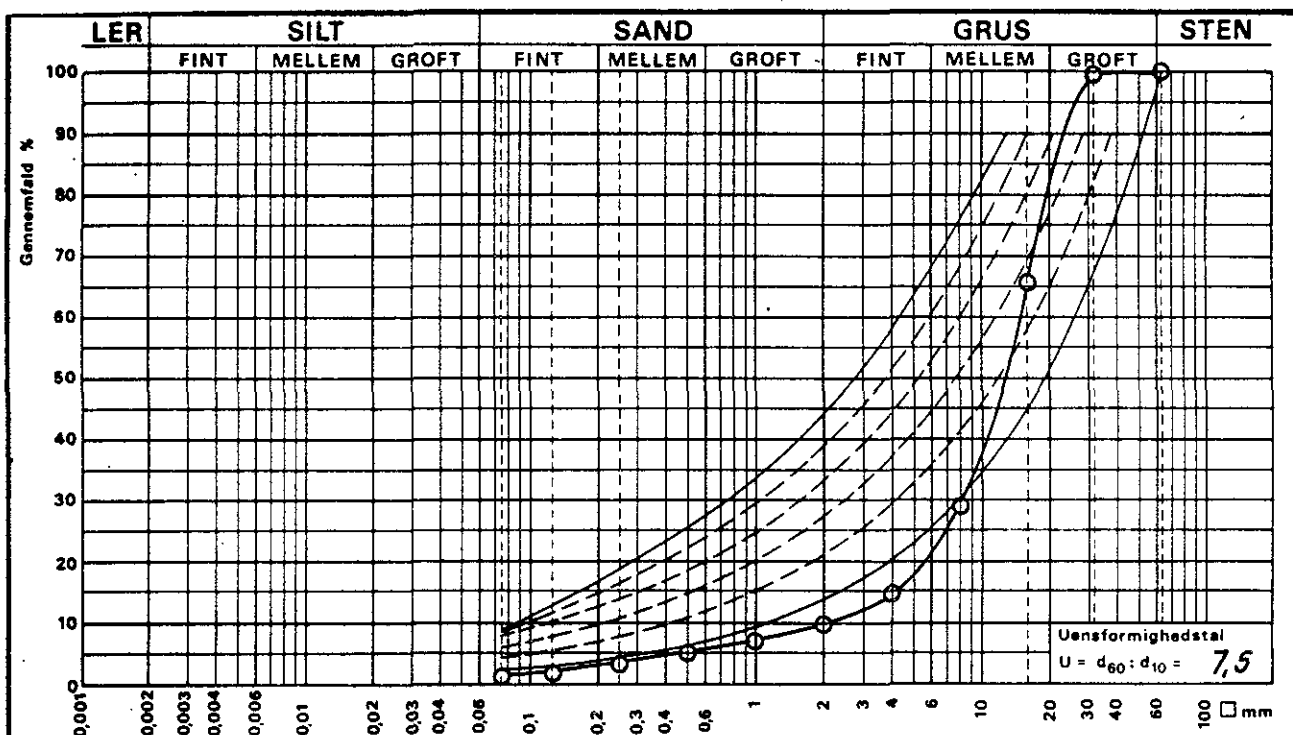


Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering	CBR	
Standard	○	△	□
Modificeret	●	▲	■
Måtningslinje	---	---	m. vandl.
Hjælpelinie	---	---	☑ ☑
Proctorforsøg			
Indstamping	Standard	Modificeret	
$\rho_{d,max}$	t/m³		1,74
w_{opt}	%		14,5
CBR - forsøg			
Indstamping	Standard	Standard	
CBR	%		
Tørdensitet, ρ_d	t/m³		
Vandindhold, w	%		
Vandlagret	nej	ja	nej ja
Vandoptagelse	%	---	---
Udkvældning	mm	---	---

Fresigtet > 16 mm	s	21	%	Vandindhold in situ	w_{nat}	%	Vurderet frostfare	
Flydegrænse	w_L		%	Plasticitetsgrænse	w_P	%	Plasticitetsindeks	I_P %
Korndensitet (0-75 µm)	ρ_s		t/m³	Korndensitet (0-16 mm)	ρ_s	t/m³	Korndensitet (> 16 mm)	ρ_s t/m³
Kalkindhold (0-1 mm)	ka		%	Kalkindhold (0-16 mm)	ka	%	Kalkindhold (> 16 mm)	ka %
Glødetab	gl		%	Glødetab reduceret	gl _{red}	%	Humusindhold	
Sandækvivalent	SE	67	%	Kapillaritet	h_c	30	cm	ASTM $\rho_{d,max}$ 1,79 t/m³
Tørdensitet i marken	ρ_d		t/m³	Tørdensitet korrigeret	$\rho_{d,k}$	t/m³	Vandindhold w_{opt}	15,7 %

Prøvebeskrivelse: GRUS (op til ca. 3cm), sandet, kalkh.. Materialet består langt overvejende af knust cementbeton og knust flint, men indeholder desuden en del knust tegl.

Rekvirant: COWIconsult		STATENS VEJLABORATORIUM		FORSØGSOVERSIGT	
Sted: Østre C sværk	Mrk.: 2	Dv. de: Kc. a:	Station: Boring	sv:	3
Udt. d.: 87.07.27	T. jn. HAAJ	Godk. d.: 1/8-87	Sag nr.: 764209	Bil. nr.:	3



Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering	Standard	CBR
Standard	○	△	□
Modificeret	●	▲	■
Måtningslinje	—	---	m.vandl.
Hjælpelinie	---	---	☒ ☒
Proctorforsøg			
Indstamping	Standard	Modificeret	
$\rho_{d,max}$	t/m ³		1,79
w_{opt}	%		13,5
CBR - forsøg			
Indstamping	Standard	Standard	
CBR	%		
Tærdensitet, ρ_d	t/m ³		
Vandindhold, w	%		
Vandlagret	nej	ja	nej
Vandoptagelse	%	—	—
Udkvældning	mm	—	—

Frasigtet > 16 mm	s	34	%	Vandindhold in situ	w_{nat}	%	Vurderet frostfare	
Flydegrænse	w_L		%	Plasticitetsgrænse	w_P	%	Plasticitetsindeks	I_P %
Korndensitet (0-75 μ m)	ρ_s		t/m ³	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 %
Gledetab	g_l		%	Gledetab reduceret	$g_{l,red}$	%	Humusindhold	
Sandækvivalent	SE	70	%	Kapillaritet	h_c	20	cm	ASTM $\rho_{d,max}$ 1,79 t/m ³
Tærdensitet i marken	ρ_d		t/m ³	Tærdensitet korrigeret	$\rho_{d,k}$	t/m ³	Vandindhold w_{opt}	11,2 %

Prøvebeskrivelse: GRUS (op til ca. 3cm), kalkh..Materialet består næsten udelukkende af knust cementbeton, desuden enkelte teglstykker.

Rekvirent: COWiconsult	STATENS VEJLABORATORIUM	FORSØGSOVERSIGT
Sted: Østre Gasverk	Mrk: 3	Dybde: Kote:
Udt.d.: 87.07.27	Tegn.: HA. J	Godk.d.: 1/4-87 572
		Station: Boring: Vnr.: 4
		Sag nr.: 764209 Bilag nr.: 4



VEJDIREKTORATET
Statens Vejlaboratorium

Densitet og absorption:
(0,075-4mm)

SVnr.			1	2	3	4
Tilsyneladende densitet	ρ_1	t/m ³	2,57	2,59	2,60	2,57
Korndensitet i tør tilstand	ρ_d	t/m ³	2,12	2,13	2,08	2,18
Korndensitet i vandmættet, overfladetør tilstand	ρ_{ssd}	t/m ³	2,29	2,30	2,28	2,33
Absorption	w_a	%	8,3	8,3	9,5	6,8

Densitet og absorption:
(4-32mm)

SVnr.			1	2	3	4
Tilsyneladende densitet	ρ_1	t/m ³	2,45	2,59	2,58	2,57
Korndensitet i tør tilstand	ρ_d	t/m ³	1,84	1,93	2,10	2,31
Korndensitet i vandmættet, overfladetør tilstand	ρ_{ssd}	t/m ³	2,09	2,19	2,29	2,41
Absorption	w_a	%	13,5	13,0	8,9	4,4

STATENS VEJLABORATORIUM
Laboratorieafdelingen

Rekvirent: COWIconsult
Sted : Østre Gasværk
Sag nr. : 764209
Ekspd. : 87.08.10
Lab./ing.: HAAJ/ STJ
Bilag nr.: 5



Los Angeles (Sortering A):

SVnr.	1	2	3	4
Slidprocent	40	41	37	29

Indhold af lette korn i zinkbromid:
(Andel partikler med densitet $< 2,2 \text{ t/m}^3$ for fraktion 4-32mm)

SVnr.	2	3	4
Lette korn %	27,1	19,2	1,5

Frasortering af lette partikler i vand:
(Andel partikler med densitet $< 1,0 \text{ t/m}^3$ i % af totalmateriale)

SVnr.	2	3	4
Træ %	0,3	0,0	0,0

STATENS VEJLABORATORIUM
Laboratorieafdelingen

Rekvirent: COWIconsult
Sted : Østre Gasværk
Sag nr. : 764209
Ekspd. : 87.08.31
Lab./ing.: HAAJ/ *STL*
Bilag nr.: 6