



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Sands styrke

Jacobsen, H. Moust ; Jørgensen, Mogens B.; Poulsen, H. Serup

Published in:
NGM 75

Publication date:
1975

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Jacobsen, H. M., Jørgensen, M. B., & Poulsen, H. S. (1975). Sands styrke. I *NGM 75: København 1975* (s. 57-69). Polyteknisk Forlag.

General rights

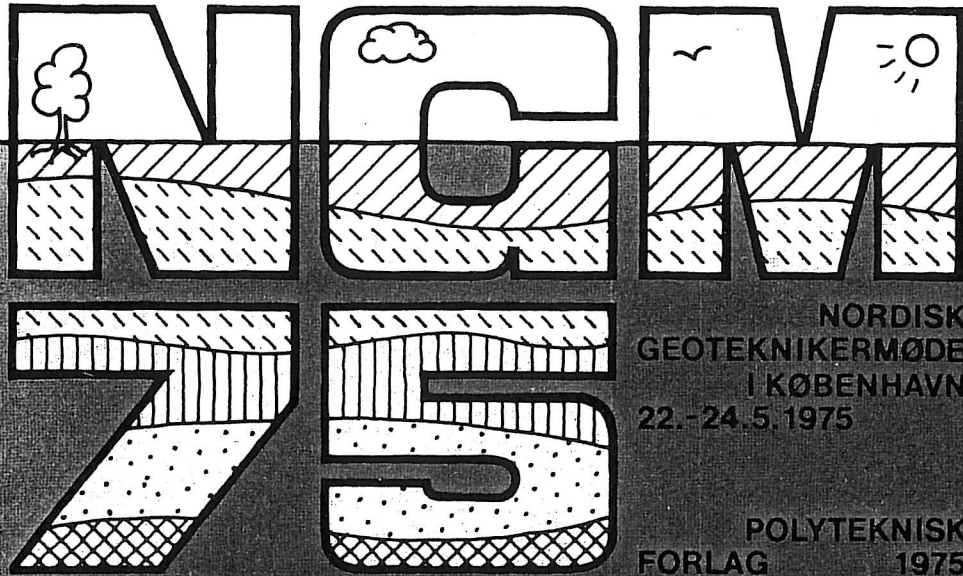
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

M.B.7.



NORDISK
GEOTEKNIKERMØDE
I KØBENHAVN
22.-24. 5. 1975

POLYTEKNIISK
FORLAG 1975

selv om det samlede sandvolumen skulle undergå en degradation i løbet af forsøgsprogrammet.

PLANE MODELFORSG

I fortsættelse af de ovenfor refererede undersøgelser, og med udnyttelse af de herved indvundne erfaringer, er der bygget en forsøgsopstilling, hvor et sandvolumen placeret ved inddrysning mellem to 100 cm lange og 30 cm dybe, glatte vægge i en indbyrdes afstand på 20 cm kan bringes til brud i plan tøjningstilstand, enten

ved jordtryksforsøg, hvor en 25 cm høj endevæg roteres om en i princippet vilkårlig vandret omdrejningsakse i væggen plan, eller

ved belastningsforsøg, hvor et sribefundament anbragt på sandoverfladen belastes til brud, foreløbig ved en lodret og centralt placeret linielast.

Ved indeslutning af sandvoluminet i en membran og påførelse af et vakuum kan sandoverfladen belastes svarende til en ensformigt fordelt overfladelast. Parallelt med modelforsøgene i denne opstilling udføres trykforsøg i plan tøjningstilstand i det kubiske apparat (20 x 20 x 20 cm prøver).

De indtil nu opnåede resultater med denne forsøgsopstilling tyder på, at det hermed er muligt at udføre egentlig plane modelforsøg i sand.

SANDS STYRKE

H. Moust Jacobsen, civilingeniør, lic.techn.,
M. Bitsch Jørgensen, civilingeniør og
H. Serup Poulsen, akademiingeniør,
Aalborg Universitetscenter

RESUME:

På grundlag af triaxialforsøg med $D = 7$ og 20 cm og varierende højde på løse og faste lejringer af Blokhussand kan effekten af varierende højde-breddeforhold og spændingsniveau samt skalaeffekten bestemmes. Ved sammenligning med pladeforsøg med overfladelast op til 8 t/m^2 kan den almindelige fremgangsmåde ved bæreevneberegninger på sand undersøges.

INDLEDNING

Ved beregning af fundamenteres bæreevne på sand kan ifølge de danske funderingsnormer anvendes en korrigeret friktionsvinkel ϕ_k , der er 10% højere end den, der måles i triaxialforsøg ϕ_{tr} . Det skyldes to samvirkende årsager. For det første beregnes bæreevnen ud fra en plan deformationstilstand, medens ϕ_{tr} måles i en aksialsymmetrisk tilstand. Det er bekræftet ved nyere forsøg i kubiske triaxialapparater, at den plane friktionsvinkel er højere end den aksialsymmetriske. For det andet måles ϕ_{tr} af forsøgstekniske årsager ved et højere spændingsniveau end normalt anvendt i praksis eller ved modelforsøg, selv om det er en almindelig erfaring, at ϕ vokser med aftagende spændingsniveau.

Da der eventuelt kan være andre medvirkende årsager til forskelle mellem ϕ_{tr} og ϕ_k , kan det være formålstjenligt at eliminere spændingsniveauets indflydelse. Dette kan realiseres ved at udføre modelforsøg med overfladelast af tilpas størrelse, i dette tilfælde op til 8 t/m^2 og samtidigt udføre triaxialforsøg ved så små tryk som muligt.

Der omtales resultaterne fra en række forsøg med Blokhussand efter disse retningslinier og til sidst gives en detaljeret beskrivelse af forsøgsteknikken. Da alle spændinger er effektive, er strengen over σ udeladt.

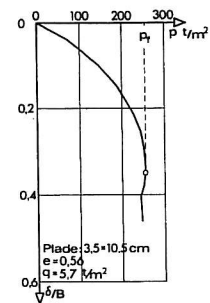
FORSØGSSAND

Alle forsøg er udført med en strandsand fra Blokhussand ved Vesterhavet. Sandet er tørret før anvendelse og har det originale saltindhold ($6,5 \text{ mg Cl}^-$ pr. kg sand). "Tørt" sands vandindhold er $0,5-0,8\%$, idet det afhænger lidt af fugtigheden i laboratoriet. Sandets kornkurve er vist på figur 7.

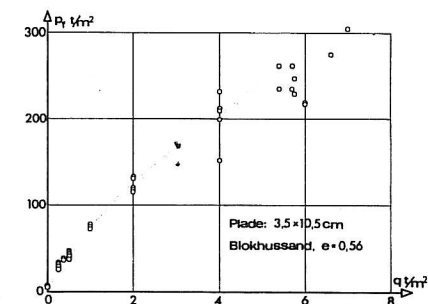
PLADEFORSØG

I den almindelige bæreevneformel indgår et γ -led, et q -led og et c -led. For fundamenter på sand medregnes kun de to førstnævnte led, idet sand betragtes som kohæsionsløst.

Der er gennem mange år udført modelforsøg med små plader på ubelastede sandoverflader. Fremgangsmåden har været at søge



Figur 1: Arbejdskurve for pladeforsøg.



Figur 2: Pladebelastningsforsøg.

bæreevnefaktoren N_Y bestemt ved at anvende lodret, central belastning og varierende bredder og længde-breddeforhold. Anvendelsen af sådanne forsøgsresultater har været forbundet med følgende vanskeligheder:

Afbildningen af målte bæreevners variation med pladebredden bestemmer oftest kurver, der ikke går gennem begyndelsespunktet. Det afskårne stykke på bæreevne-aksen ($B = 0$) er tolket som bidrag fra en "tilsyneladende kohæsion".

I takt med pladens nedsynkning under forsøget opstår en voksende overfladelast, der sammen med en dybdevirkning giver bidrag til de målte bæreevner. Begge de nævnte forhold giver anledning til usikre korrektionsled, der for små plader ofte er af samme størrelsesorden som det korrigerede resultat, hvorved N_Y bestemmes dårligt. Dertil kommer, at den teoretiske sammenhæng mellem N_Y og ϕ endnu ikke kan beregnes eksakt.

I den hensigt at søge disse ulemper elimineret er der blevet udført en serie pladeforsøg med varierende belastninger på den udlejrede sandoverflade. Alle forsøg er udført med samme pladestørrelse ($L:B = 3$).

Disse forsøgsomstændigheder indebærer følgende fordele:

1. Overfladelastens bidrag til bæreevnen er ved selv små værdier helt dominerende i forhold til bidragene fra γ -led, tilsyneladende kohæsion og dybdevirkning. Herved bestemmes dette bidrag med minimal usikkerhed.

- Usikkerheden omkring den præcise værdi af s_q får kun ringe indflydelse på resultaterne - sammenlignet med en anvendelse af kvadratiske eller cirkulære plader.
- I stedet for N_Y bestemmes nu værdier af N_Q , hvis sammenhæng med ϕ er eksakt beregnet.
- Med voksende overfladelast øges spændingsniveauet i brudtilstanden, hvorved der åbnes muligheder for relevante sammenligninger med triaxialforsøg.

Forsøgene er af udlejringstekniske grunde kun gennemført ved een - relativ fast lejringstæthed ($e = 0,56$). Derved er yderligere opnået den fordel, at alle arbejdskurver har udvist samme form med et tydeligt spændingsmaksimum. Denne værdi er tolket som forsøgets brudværdi. Figur 1 viser en typisk arbejdskurve. I figur 2 er vist en afbildning af de opnåede forsøgsresultater. Det ses, at forsøgsværdierne bestemmer en kurve, der er tydeligt krum på det første stykke.

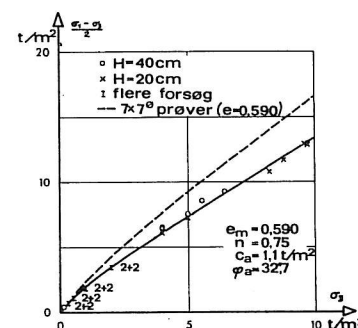
TRIAXIALFORSØG

Før en sammenligning med pladeforsøg er det hensigtsmæssigt at undersøge indflydelsen på målingerne af forskelligt højdebredde forhold, prøvestørrelse, poretal og mætningsgrad. De udførte triaxialforsøg er vist oversigtsmæssigt i tabel 1.

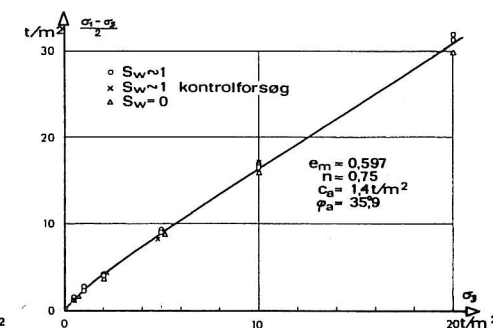
Der er udført forsøg med store, næsten tørre prøver ($D = 20$ cm) ($w = 0,5-0,8\%$) med $H = 20$ cm og 40 cm, og som det er vist på figur 3 for fast lejring er det ikke muligt at skelne resultaterne fra hinanden på trods af en særdeles ringe forsøgsspredning. Også forsøg på løs lejring viser det samme. Forsøg med små prøver ($H=D=7$ cm) med gennemsnitsmætningsgrad $S_w = 0,97$ er udført i begyndelsen og slutningen af forsøgsperioden og viser, at der ikke er nogen

Prøvedim. HxD	Poretal e	Antal forsøg	S_w	
40x20	0.59	14	~0	Kontrolforsøg
	0.71	5	~0	
20x20	0.59	15	~0	Kontrolforsøg
	0.67	12	~0	
7x7	0.60	18	~1	Kontrolforsøg
	0.585	4	~1	
	0.586	7	~0	
	0.72	17	~1	

Tabel 1. Oversigt over udførte triaxialforsøg.



Figur 3: Triaxialforsøg med prøvediameter $D=20$ cm.



Figur 4: Triaxialforsøg med $7 \cdot 7$ cm prøver.

svækkelse af sandet, selv om det har været benyttet til forsøg adskillige gange. Det skyldes muligvis, at sandet er flyttet manuelt [3]. Figur 4 viser resultaterne for fast lejring. Der er endvidere udført forsøg med næsten tørre prøver ($w = 0,5-0,8\%$) og $H=D=7$ cm for at kunne finde prøvestørrelsens betydning. Forsøgene der er vist på figur 4 viser lavere brudstyrker end de næsten vandmættede prøver, men væsentlig større styrke end de store prøver. Forsøgsmaterialet viser altså en klar skalaeffekt.

Den øjensynligt krumme brudlinie kan ikke fremstilles ved Coulombs brudbetingelse, der dog kan fungere som asymptote og give værdierne ϕ_a og c_a . Brinch Hansen opstillede allerede i 1968 [4] en brudbetingelse, der tog hensyn til krumningen, og som passede med de Beers forsøg med Molsand. Den beskriver dog de danske forsøgsresultater på en uheldig måde, og der be-

Sand	Prøvedim. HxD cm	S_w	e	$\tan \phi_a$	c_a	n	Spredning t/m^2
Blokhus-sand	40x20 og 20x20	~0	0.714	0.380	0.55	0.75	0.11
		~0	0.591	0.380	1.1	0.75	0.37
	7x7	~1	0.719	0.432	3.0	0.75	2.2
		~1	0.597	0.432	1.4	0.75	1.1
		~0	0.586	(0.432)	(0.8)	0.75	0.4
G-12 sand	7x7	~1	0.52	0.39	2.0	0.7	
		~1	0.64	0.44	1.1	0.7	
		~1	0.75	0.47	0.4	0.7	
Løss-sand	7x7	~1	0.47	0.44	1.8	0.8	
		~1	0.57	0.41	2.7	0.8	
		~1	0.64	0.42	2.3	0.8	
Stabilt grus	7x7	~1	0.33	0.27	3,6	0.55	
		~1	0.47	0.36	3,2	0.55	
			0.59	0.50	0,3	0.55	

Tabel 2. Målte styrkeparametre.

nytttes derfor følgende brudbetingelse, der er opstillet for moræneler i 1970 [5]:

$$\tau = \frac{\sin\phi_a}{1 - \sin\phi_a} \sigma_3^n (\sigma_3 + \sigma_0)^{1-n}, \text{ hvor } \sigma_0 = \frac{1}{1-n} c_a \cot\phi_a$$

hvor c_a og ϕ_a er Coulombske asymptoteværdier og n beskriver kurvens krumning. Såfremt kurven ikke skal krumme ($n = 0$ eller $c_a = 0$) fås netop Coulombs brudbetingelse. Brudbetingelsen er tegnet ind på figur 3 og 4, og ses at passe godt.

I tabel no 2 er vist værdier af $\tan\phi_a$, c_a og n , dels af de her refererede forsøg på Blokhussand, dels på andre sandsorter, der er udført på DGI og refereret i [6]. Bearbejdningen af sidstnævnte forsøg er dog af orienterende art.

Det ses, at $\tan\phi_a$ og n er konstanter for Blokhussand, samt at $\tan\phi_a$ og c_a udviser en kraftig skalaeffekt. Endvidere er vist spredningen på Blokhussandforsøgene, og det ses, at de store prøver giver den mindste forsøgsspredning.

Resultaterne af forsøg med 7·7 cm prøver og $S \sim 0$ er fremkommet ved at tillægge c_a hele forskellen. Dette resultat må indtil videre tages med et vist forbehold.

SAMMENLIGNING AF PLAEFORSØG OG TRIAXIALFORSØG

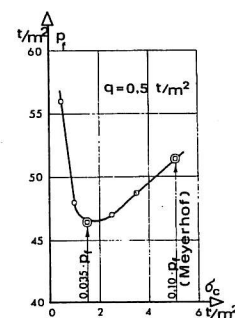
I triaxialforsøgene fandtes en variation af $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ med σ_3 , der viste, at indhyldningskurven til de Mohrske cirkler er krum, og brudbetingelsen blev beskrevet ved tre styrkeparametre ϕ_a , c_a og n . Også pladeforsøgenes bæreevne varierer krumlinet med overfladelasten.

Såfremt man kender det karakteristiske spændingsniveau σ_c for pladeforsøgene, der svarer til kammertrykket σ_3 i triaxialforsøgene, kan man finde ϕ_t og c_t (tangentværdierne) og på grundlag heraf beregne pladens bæreevne. σ_c er en ekstra parameter, der af Meyerhof er fundet til ca. 10% af bæreevnen p_f .

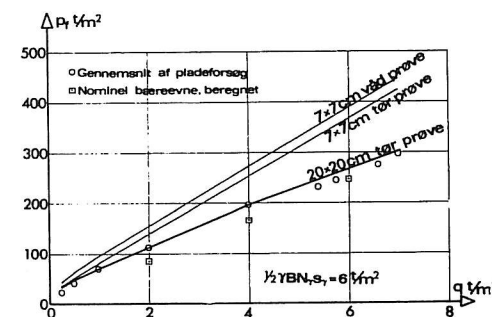
Ved de højeste spændingsniveauer ($q > 2 \text{ t/m}^2$) indgår dog kun ϕ_a og c_a med nogen vægt og her viser en beregning, at resultaterne opnået med store triaxialprøver er i nøje overensstemmelse med pladeforsøgene (figur 6). Ved spændingsniveauer under ca. 2 t/m^2 er indflydelsen af både σ_c og n mærkbar, og

det viser sig, at $\sigma_c < 0,1 p_f$. For $\sigma_c \sim 0,035 p_f$ fås minimum af bæreevne (på figur 5 ses et enkelt eksempel), og det er derfor rimeligt at anvende denne værdi. Den kraftigt optrukne kurve er optegnet på dette grundlag. For meget små værdier af q giver beregningen stadig lidt for høje værdier. (Såfremt n sættes til 0,8 og ikke som målt til 0,75 opnås tilpasning for alle målte værdier af q .)

Ved at anvende resultater fra de små triaxialforsøg overvurderes bæreevnen groft! (Se de svagt optrukne kurver på figur 6.) Forsøgsmaterialet viser altså, at bæreevnen kan bestemmes med stor nøjagtighed ud fra triaxialforsøg med store prøver, uden at der tages hensyn til den rumlige spændingstilstand. Det er tilsyneladende i modstrid med [2], og rejser spørgsmålet, om andre faktorer må tages med i de teoretiske overvejelser. Forsøgene med små prøver viser en så stor fejlvurdering af fundamenters bæreevne, at man kan undre sig over, at der ikke er sket bæreevnebrud i praksis. Det skyldes imidlertid to ting, nemlig dels at man aldrig har turdet medregne en målt kohæsion på sand, dels at man i følge de danske funderingsnormer ikke må anvende nominelle bæreevner på over 100 t/m^2 uden belastningsforsøg in situ. På figur 6 ses et par nominelle bæreevner, beregnet på grundlag af små prøver, og det ses, at der er nogen sikkerhed tilbage.



Figur 5: Bæreevnen variation med σ_c .



Figur 6: Sammenligning af plade- og triaxialforsøg.

UDLEJRINGSTEKNIK

Udlejringsmeknikken er valgt med henblik på at opnå så homogen en aflejring som mulig. Nyere undersøgelser [7] [8] viser at det bedst opnås ved at lade tørt sand falde samtidigt over hele forsøgsarealet som "en mild regn".

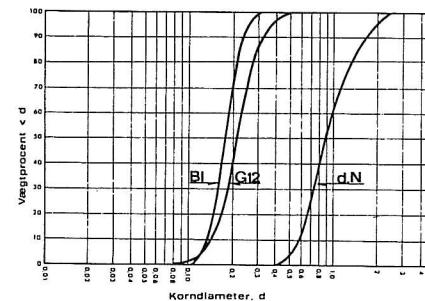
Såfremt sandet kan betragtes som en række kugler med samme diameter, der falder frit uden at støde på hinanden, kan opstilles en simpel faldlov, der tager hensyn til tyngdekraften og den opadrettede luftmodstand. Kornene opnår en maksimal hastighed v_{\max} , der afhænger af kornstørrelse og kornvægtfylde. Såfremt den "kritiske" faldhøjde defineres som den faldhøjde der giver kornet en hastighed på $0,98 v_{\max}$ fås med god tilnærmelse for kvartssand:

$$H_{kr} \text{ (m)} \sim 13 d_{50}^2 \text{ (mm)}$$

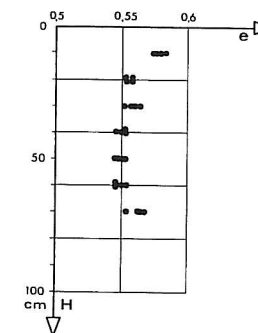
Da lejringsstæthed afhænger af faldenergien og udlejringsintensiteten, giver beregningen af H_{kr} en ide om hvilken sand, der skal vælges når den praktisk opnåelige faldhøjde kendes. Bliver faldhøjden nemlig af samme størrelsesorden som H_{kr} , opnår man, at udlejringsmekanismen kan holdes i ro under udlejringen. På figur 7 ses de tre sandsorter, der har været overvejret. Blokhussandet valgtes, fordi faldhøjden ikke kunne blive større end 50-80 cm.

Ved udlejringsforsøg med lille udlejringsintensitet (figur 8) fandtes god overensstemmelse med beregningerne. I praksis behøver faldhøjden blot at overstige $\frac{1}{4} - \frac{1}{2} \times H_{kr}$ for at opnå konstant lejringsstæthed. Ved store intensiteter optræder kraftig tværkontraktion i sandstrålen og den bliver ustabil, hvorved udlejring af løst sand vanskeliggøres.

Foruden faldhøjde og intensitet afhænger udlejringsens poretal også af den færdige lejrings geometri samt begrænsningens elektriske egenskaber. På figur 9 ses således, at i triaxialforsøgene hvor begrænsningen er gummi er poretallet for samme intensitet størst ved store prøver. Samme tendens ses, såfremt begrænsningen er af metal, men her er lejringerne tættere. Udlejringen af triaxialprøver foregår gennem en hulplade og et soldevæv. Herved reguleres intensiteten og sandstrålerne



Figur 7: Blokhusand, G-12 sand, dansk normalsand.

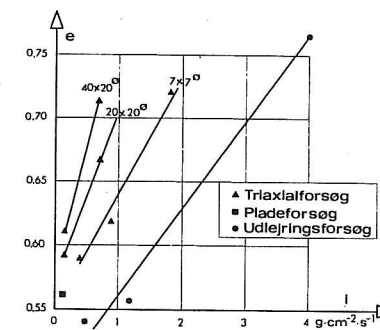


Figur 8: Udlejringsforsøg med faldhøjden H.

fra hulpladen findeles og falder herefter som en jævn regn ned i prøveformen, hvis overside er ca. 20 cm under soldevævet. Soldevævet består ved de små triaxialprøver af en 1 mm sigte, ved de store prøver af 6 indbyrdes forskudte lag med en maskevidde på 2 mm. Udlejringen af de største prøver er kontrolleret ved poretalsmålinger i forskellige niveauer i prøven og det viser sig, at variationen er tilfældig og ringe.

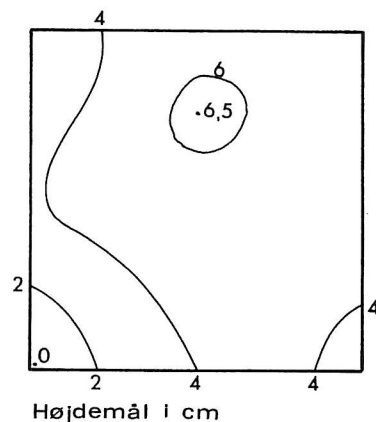
Under udlejringen i modelforsøgskassen passerer sandet først en hulplade udført i plexiglas. Efter 10 cm's fald rammer sandstrålerne seks lag udspændt soldevæv ($\square = 2$ mm) og fordeles herved jævnt over udlejringsarealet. Den fri faldhøjde er mindst 50 cm. Efter udlejringen er sandoverfladens topografi et mål for lejringskvalitet. Poretalsvariationen er sædvanligvis lille i en lejrings med en jævn overflade, medens den kan være så betydelig i en lejrings med ujævn overflade, at forsøgs materialet bliver uanvendeligt.

I begyndelsen var alle lejrings uanvendelige, og det var nødvendigt at udføre en serie på 30 udlejringsforsøg for at eliminere de største fejlkilder: Statisk elektricitet, luftstrøm-



Figur 9: Udlejringsintensiteter.

me i laboratoriet, buler i soldevævet og ujævn intensitet i den kontraherede sandstråle. Derfor blev kassens indvendige sider beklædt med aluminiumfolie, der opstilledes trådvæv omkring den faldende sandstråle og alt blev jordforbundet. Døre og vinduer holdtes lukkede, soldevævet blev justeret og hulpladen systematisk tilstoppet. Det viste sig, at sandstrålen væsentligst kontraherer langs periferien. Endelig skal bemærkes, at sandet jævnlige må sigtes for at undgå yderligere tilstopning af hulpladen. Herefter er det lykkedes - med en hyppighed på ca. 50% - at opnå brugbare sandlejringer ved een bestemt lejringstæthed ($e \approx 0,56$), hvorpå pladeforsøgene er udført. Der er kun accepteret lejringer med højdevariationer under 5 cm, dog 7 cm såfremt ekstrempunkterne findes i hjørnerne. Figur 10 viser opmålingsresultatet for en godkendt lejrning.



Figur 10: Overflade efter udlejring, før afretning.

FORSØGSTEKNIK VED PLADEFORSØG

Pladeforsøgene er alle udført med rektangulære plader med sidelængderne 3,5·10,5 cm og tykkelsen 5 mm. Undersiden er gjort ru ved at pålime sandkorn. Der kan udføres to forsøg pr. lejring uden randpåvirkning eller overlappning af brudzoner. Overfladelasten, der er etableret ved hjælp af undertryk i sandlejrningen, varierer mellem 0 og 8, t/m². Forsøgssandet er udlejret i en trækasse, hvis indre mål er 70·70 cm og hvis dybde er 50 cm. Kassens bund og sider er tætnet udvendig ved behandling med gummi, der senere er beklædt med flamingo for at beskytte gummilaget mod slag. Siderne er desuden afstivet med stålrammer for optagelse af ydre lufttryk uden mærkbare deformationer. I hver af kassens fire sider er anbragt en stuts for luftudsugning (se figur 11).

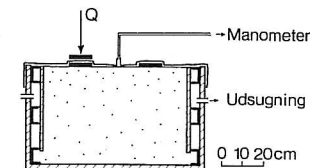
Efter udlejringen er sandoverfladen afrettet ved samtidig skrabning og bortsugning af overskydende sand, hvorved det er undgået at trække sandvolde henover overfladen. Forstyrrelsen af den færdige overflade er derfor minimal. Herefter skal overfladen dækkes af en tynd gummi-membran forsynet med nøjagtigt placerede, skarpkantede lommer, der slutter tæt omkring pladerne.

For også at undgå forstyrrelse ved placering af plader og membran er en speciel monteringsramme nødvendig.

Luftudsugning foregår gennem de fire stutse, medens målingen af det frembragte undertryk foretages midt mellem pladerne på sandoverfladen gennem en målestuts.

Belastningen, der er lodret og central, påføres pladerne gennem et kugleled. Forsøgene er udført med en konstant nedsyningshastighed på 1 mm pr. min.

Efter forsøget måles aflejringens poretal i fire-fem punkter uden for brudfiguren ved støvsugermetoden.



Figur 11: Forsøgskasse.

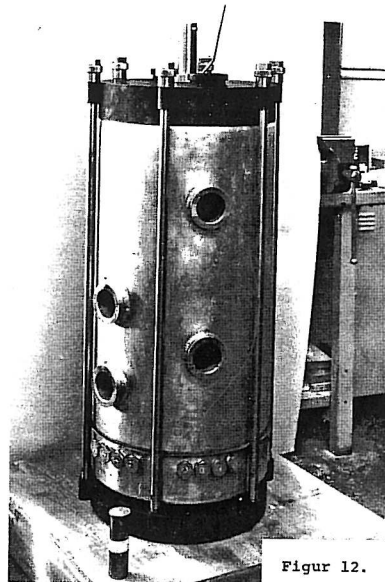
FORSØGSTEKNIK VED TRIAXIALFORSØG

Der er udført triaxialforsøg med tre forskellige prøvestørrelser. Forsøg med 7·7^ø cm prøver er gennemført i en videreudviklet udgave af det triaxialapparat, der er beskrevet i [5]. Forsøg med 20·20^ø cm og 40·20^ø cm prøver er udført under afprøvning af en stor triaxialcelle, der var udviklet til måling af stabilt grus (figur 12).

Forsøgene er alle udført med glatte trykhoveder, der hver er påmonteret 3 glidemembraner med siliconefedt imellem.

Forsøg med 7·7^ø cm prøver er gennemført i et normalt udstyret triaxialapparat med en deformationshastighed på 10% p.h., idet såvel den lodrette tøjning ϵ_1 som volumenændringen ϵ_v er målt. Brudspændingen $\sigma_1 - \sigma_3$ er herefter korrigeret for arealændringen ved at antage cylinderformen bevaret i brud. Ved vandmæt-

ning af prøven opnåedes en mid-
delmætningsgrad på 0,97.
Forsøg med $20 \cdot 20^\phi$ og $40 \cdot 20^\phi$ cm
prøver blev udført med tørre
sandprøver og sidetrykket blev
fremkaldt af undertryk i prøven.
Deformationshastigheden var hen-
holdsvis 30 og 15% p.h. Arealæn-
dringen blev målt af to-tre ma-
vebølter, der registrerede æn-
dringer i prøvens areal med en
nøjagtighed på under 2%. Ved
mindre værdier af σ_3 er egen-
vægtsbidraget til $(\sigma_1 - \sigma_3)$
stort i forhold til brudspæn-
dingen.



Figur 12.

Ved mindre sidetryk er egenvægt af prøve og trykhoveder bety-
delige og må medregnes i $(\sigma_1 - \sigma_3)$, der altså varierer ned
gennem prøven. $\sigma_1 - \sigma_3$ kan beregnes i de snit, hvor arealet
er målt, og findes ved $\sigma_3 < 1 \text{ t/m}^2$ at være størst i nedre
snit, hvor også de store deformationer observeres. For $\sigma_3 >$
 1 t/m^2 er variationen i $\sigma_1 - \sigma_3$ mindre end 4% og tilfældig
fordelt. Brudspændingen antages at være den største observere-
de spænding.

Volumenforøgelsen, der er målt for $7 \cdot 7^\phi$ cm prøver, varierer
for faste lejringer fra 2-6% og for løse lejringer fra 1-4%.
Poretallet i brudtilstanden er således højere end i begyndel-
sestilstanden. Da man i praksis kun kender begyndelsesporetal-
let knyttes brudværdierne alligevel hertil.

Forsøgsresultaterne korrigeres for poretallets afvigelse fra
middeltallet ved at benytte Kerisels formel $\text{etan}\phi = C$, idet
den med god tilnærmelse gælder for Blokhussand. C's størrelse
er ganske vist ikke kendt på forhånd, men selv et fejlskøn på
20%, giver kun en variation i $(\sigma_1 - \sigma_3)$ på 0,6%.

KONKLUSION

Triaxialforsøg med forskellige prøvestørrelser udviser en ret
stor skalaeffekt, således at forsøg med $7 \cdot 7$ cm prøver eller
endnu mindre prøver må antages at overvurdere sands styrke.
Det er endvidere vist, at Coulombs brudbetingelse, der ikke
gælder i større spændingsintervaller, kan erstattes med en
brudbetingelse, der indeholder endnu en styrkeparameter n .
Pladeforsøg udført på en fast lejrings overfladelast på op
til 8 t/m^2 viser, at bæreevnen bør beregnes ud fra triaxial-
forsøg med store prøver uden at udføre korrektion af ϕ_{tr} . Ved
den normalt anvendte fremgangsmåde bliver totalsikkerheden
mod brud reduceret noget. ($F \approx 1,5$)

REFERENCER

- [1] Beer, E.E. de (1970): Experimental determination of the
shape factors and the bearing capacity factors of
sand. Geotechnique, Vol XX no 4.
- [2] Bønding, Niels (1973): Treakset brudtilstand i sand. Af-
handling. DTH.
- [3] Denver, Hans (1974): The weakening effect on model sand
during model tests and triaxial tests. DGI int. rapp.
- [4] Hansen, J. Brinch (1968): Some empirical formulas for
the shear strength of Molsand. DGI bull. 26.
- [5] Jacobsen, H. Moust (1970): New oedometer and new triaxial
apparatus for firm soils. DGI bull. no 27.
- [6] Jacobsen, H. Moust (1970): Skøn af sands friktionsvinkel.
Rapp. no 1. DIAB-Aalborg.
- [7] Lyngsig, Kaj (1971): Sandudlejring. Eksamensprojekt DTH.
- [8] Steinfeldt, Jørgen (1974): Sand laying techniques. DGI
int. rapp.