



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Skråningsstabilitet

Sørensen, Carsten Steen; Jensen, B.S.

Publication date:
2000

Document Version
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Sørensen, C. S., & Jensen, B. S. (2000). *Skråningsstabilitet*. Geotechnical Engineering Group. AAU Geotechnical Engineering Papers : Foundation Engineering Paper Bind R 2004 Nr. 16

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.

Skråningsstabilitet

C.S. Sørensen, B.S. Jensen

June 2000

Foundation Engineering Paper No 16



**GEOTECHNICAL ENGINEERING GROUP
AALBORG UNIVERSITY DENMARK**

Sørensen, C.S., Jensen, B.S. (2000). Skråningsstabilitet.

AAU Geotechnical Engineering Papers, ISSN 1398-6465 R2004.

Foundation Engineering Paper No 16

The paper has been accepted for publication in *Proc. Nordic Geotechnical Meeting NGM-2000, Helsinki, June 5-7.2000.*

© 2000 AAU Geotechnical Engineering Group.

Except for fair copying, no part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the Geotechnical Engineering Group.

Papers or other contributions in AAU Geotechnical Engineering Papers and the statements made or opinions expressed therein are published on the understanding that the author of the contribution is solely responsible for the opinions expressed in it and that its publication does not necessarily imply that such statements or opinions are or reflect the views of the AAU Geotechnical Engineering Group.

The AAU Geotechnical Engineering Papers - AGEPEP - are issued for early dissemination and book keeping of research results from the Geotechnical Engineering Group at Aalborg University (Department of Civil Engineering). Moreover, the papers accommodate proliferation and documentation of field and laboratory test series not directly suited for publication in journals or proceedings.

The papers are numbered ISSN 1398-6465 R<two digit year code><two digit consecutive number>. For internal purposes the papers are, further, submitted with coloured covers in the following series:

Series	Colour
Laboratory testing papers	sand
Field testing papers	grey
Manuals & guides	red
Soil Mechanics papers	blue
Foundation Engineering papers	green
Engineering Geology papers	yellow
Environmental Engineering papers	brown

In general the AGEPEP papers are submitted to journals, conferences or scientific meetings and hence, whenever possible, reference should be given to the final publication (journal, proceeding etc.) and not to the AGEPEP paper.

Skråningsstabilitet

Carsten S. Sørensen
COWI, Rådgivende Ingeniører A/S, Aalborg
GEOTEKNIKGRUPPEN, Aalborg Universitet, Danmark

Betty Stenstrup Jensen
COWI, Rådgivende Ingeniører A/S, Århus

ABSTRACT: Skråninger bryder også i Danmark. Artiklen beskriver stabilitetsbrud dels i en naturlig skråning i tertiært ler og dels i en gravet skråning i glacialt/senglaciale ler. De efterfølgende geotekniske undersøgelser omfatter bestemmelse af det maksimale sandsynlige vandtryk i skråningen, bestemmelse af udrænedede og drænedede styrkeparametre og endelig beregning af en uarmeret og en armeret skrånings stabilitet.

1. INDLEDNING

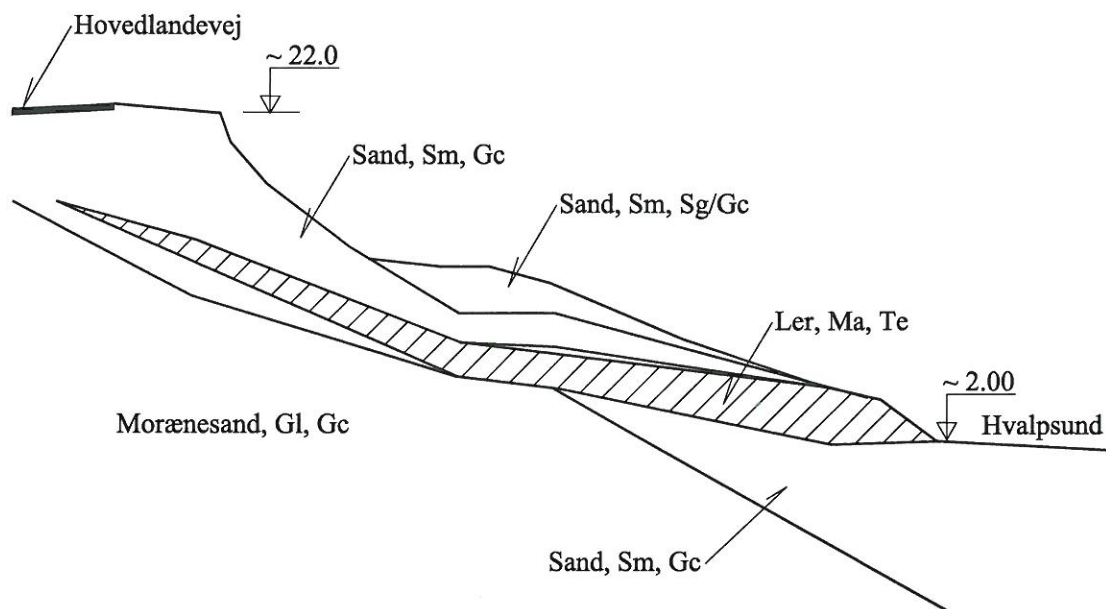
Selvom Danmark er et fladt land (det højeste punkt er 170 m over havoverfladen) sker der også i Danmark brud i såvel naturlige som i gravede skråninger. Disse brud optræder primært efter en periode med regn, hvor poretrykket forøges i skråningerne med deraf følgende mindre stabilitet. Artiklen beskriver brud i to skråninger hver med en højde på ca. 20 m. Det ene brud var varslet det andet ikke. Konsekvensen af begge brud var meget dramatisk. Ved det ene brud - i Sundsøre - forsvandt en vejbane på en 20 m lang strækning på en hovedlandevej, og ved det andet brud - i Vejle - blev et 2-familie hus delvist ødelagt. På grund af bruddenes alvorlige karakter blev begge brud undersøgt tilbundsående.

2. AKTUELLE FORHOLD

2.1 Sundsøre

Skråningen i Sundsøre ligger ved Limfjorden i det nordøstlige Jylland ved vigen Hvalpsund, hvor hovedlandevejen på en strækning løber på toppen af en 21 m høj skråning. Gennem de seneste 8 år er der på denne strækning sket flere skred, hvilket har bevirket, at skråningstoppen på undersøgelsestidspunktet kun lå 6 m fra kanten af hovedlandevejen. Vejmyndigheden frygtede derfor for hovedlandevejens stabilitet og ønskede stabiliteten undersøgt nærmere.

Boringerne i skråningen viste, at bundforholdene var meget komplicerede med hensyn til stabiliteten af skråningen. En boring ved skråningstoppen viste øverst 1 m udvasket, glacialt, gletscheraflejret moræneler, underlejret af ca. 6,5 m glacialt, smeltevandsaflejret sand, med kornstørrelse og indhold af grus voksende med dybden. Herunder en ca. 2 m tyk flage af tertiært, marint, siltet, sprækket ler. Under den tertiære ler fandtes glacialt, fin-grovkornet smeltevandssand til 14,5 m under terræn. De øvrige boringer i skråningen bekræftede, at det var en løs flage af tertiært ler, som var indlejret skråt, både på langs og på tværs af skråningen. Et tværsnit med laggrænser fremgår af figur 1.



Figur 1. Tværsnit i skrånning ved Sundløse



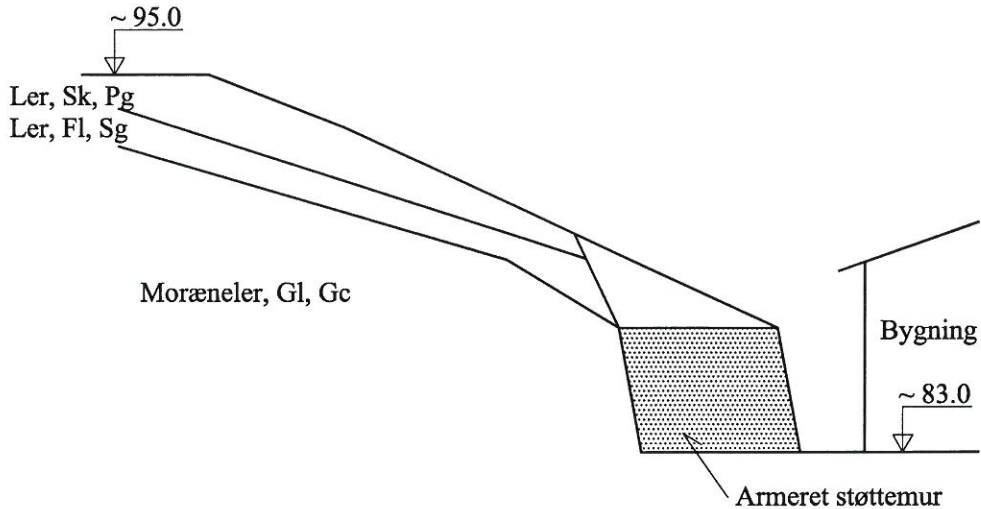
Figur 2. Brud i skrånning ved Sundløse

2.2 Høgsholtparken i Vejle

Skrånningen i Vejle ligger i den nordlige del af byen i Østjylland og er 20 m høj. For at give plads til en række nye boliger var der blevet fjernet op til 16 m af skråningsfoden. Da skrånningstoppen ikke kunne flyttes tilsvarende tilbage på grund af eksisterende bygninger, var der i stedet etableret en op til 5 m høj sandstøttemur ved skråningsfoden, blot 2 m bag andelsboligerne. Skrånningen var dog ikke stabil, idet der gennem en længere periode kunne registreres flere skred, det værste i oktober 1998, hvor gavlen på en af boligerne blev trykket ind på grund af et skred i skrånningen, jfr. figur 4.

Boringer fordelt over skrånningen viste recent sand- og lerfyldt til 1-3 m under terræn, herefter sen-glacialt flydejordsaflejret ler, hvorunder der fandtes glacialt, gletscheraflejret ret fedt moræneler

til ca. 12 m under terræn. Herunder til boringernes bund 15 m under terræn fandtes glacialt, fin til mellemkornet smeltevandssand. I moræneleren fandtes flere striber af mellem til grovkornet morænesand. Det primære vandspejl blev fundet beliggende dybere end skråningsfoden. Et tværsnit med laggrænser fremgår af figur 3.



Figur 3. Tværsnit i skråning bag Høgsholtparken



Figur 4. Brud i skråning bag Høgsholtparken

3. BESTEMMELSE AF VANDTRYK OG STYRKEPARAMETRE

For at kunne beregne skråningernes stabilitetsforhold er det meget væsentligt at få fastlagt vandtrykkene og jordens styrkeparametre med god nøjagtighed.

Normalt vil der efter et brud blive foretaget geotekniske undersøgelser bl.a. til bestemmelse af vandtryksforholdene. En nøjagtig fastlæggelse af vandtrykkene i en skråning i brudøjeblikket er praktisk talt umulig at foretage. Og da vandtrykkene normalt falder umiddelbart efter bruddet, er en efterfølgende måling heller ikke mulig. På baggrund af vandspejlsobservationer over en tid og

sammenhørende registreringer af nedbørsmængder er det dog normalt muligt at beregne et sandsynligt maksimal vandtrykssituation i en skråning som kan antages virkende i brudøjeblikket.

Ligeledes er bestemmelse af styrkeparametre vanskelig. I de to sager blev styrkerne dels bestemt ved forsøg og dels ved efterberegning af tidligere skred.

I sådanne sager er det normalt ikke muligt ved simple rutineforsøg at fastlægge de betydende parametre, hvorfor mere avancerede forsøg er påkrævet. Selv dette er tit vanskeligt, især fordi visse sandede jordtyper mister "deres hukommelse" ved prøvetagningen. Dette medfører, at det er meget vanskeligt f. eks. at bestemme en jords forbelastningsspænding, hvilket er en forudsætning, når en jordprøves belastningshistorie skal rekonstrueres forud for et styrkeforsøg i f. eks. et triaxialapparat eller i en skærbox. Korrekte styrkeparametre måles kun hvis en jordprøves spændingshistorie rekonstrueres korrekt.

De ved forsøgene bestemte værdier blev i de aktuelle tilfælde kontrolleret ud fra beregnede styrkeparametre fra de tidligere skred. Skredområdet og den intakte skråning ved siden af skredområdet blev opmålt nøjagtigt. På grundlag af disse opmålinger, de geotekniske borer og skøn af styrkeparametre for de ikke skredfarlige jordarter, blev der foretaget en omvendt beregning af stabilitetsbruddene. Ved at antage at skråningen i skredområdet oprindeligt har haft samme hældning som registreret udenfor skredområdet, kunne styrkeparametrene for de skredfarlige jordlag fastlægges til de værdier, der i stabilitetsberegningerne gav den brudfigur, der kunne matche den, der var blevet målt i skredområdet.

De to metoder resulterede i følgende parametre:

Tabel 1. Sundsøre: Ler, Marint, Tertiært

		Forsøg	Beregning
w	%	19 - 32	
I _p	%	17 - 42	
c _{uk}	kPa	50	35
c'	kPa	0	0
φ	grader	21	19,2

Tabel 2. Høgsholtparken i Vejle: Ler, Skred, Senglacialt

		Forsøg	Beregning
w	%	17 - 36	
c _{uk}	kPa	50	35
c'	kPa	14	7
φ	grader	24	24

På grundlag af de målte og de beregnede styrkeparametre kunne det konstateres, at parametrene målt ved forsøg var noget højere end de beregnede, hvilket kan skyldes flere årsager. Et ikke uvæsentligt forhold er usikkerheden på bestemmelse af vandtrykket i brudøjeblikket.

På den sikre side blev styrkeparametrene, fastlagt på grundlag af beregningsmetoden tillagt størst værdi for begge skråninger, hvorfor disse værdier derfor blev anvendt i den efterfølgende projektering af afhjælpningsforslagene.

4. LØSNINGSFORSLAG

4.1 Sundsøre

Efter fastlæggelsen af jordens styrkeparametre og det dimensionsgivende vandtryk kunne det eftervises ved stabilitetsberegninger, at skråningen ikke havde tilstrækkelig sikkerhed mod brud, jfr. den danske Norm for Fundering, DS 415. Derfor blev det besluttet at afspærre den halve vejbane, indtil

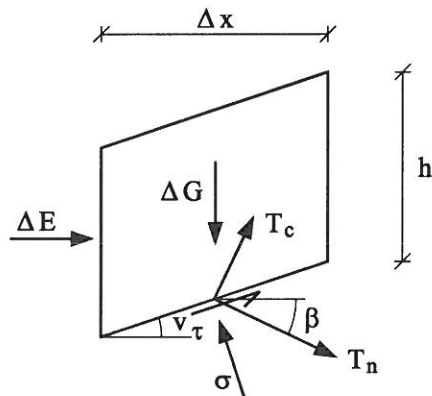
der var sket en sikring af vejen. Derefter besluttede vejmyndigheden at forlægge vejen permanent væk fra skrånningen, da en regulering af skråningshældningen ikke var hensigtsmæssig. Kort tid efter kom der et nyt skråningsbrud, hvor halvdelen af vejbanen forsvandt, jfr. figur 2. Det var derfor på høje tid at vejen blev forlagt. Mekanismen for dette brud svarede i øvrigt helt til det regningsmæssige brud.

4.2 Høgsholtparken i Vejle

Umiddelbart efter at bruddet i Vejle var sket, blev beboerne i den skadesramte bygning evakueret og der blev iværksat et overvågningsprogram (primært til måling af vandtryk i skrånningen) med henblik på vurdering af sikkerheden for beboerne i de øvrige ejendomme.

Da en regulering af skråningshældningen ikke var mulig på grund af ejendommenes beliggenhed tæt ved henholdsvis skrånningstoppen og skråningsfoden, blev der udbudt 2 forskellige sikringsløsninger. Den ene var en traditionel sikring med en topspuns og en reduktion af skråningshældningen. Den anden var en sikring med jordankre (soil nailing), en metode som endnu ikke er udbredt i Danmark. Ved soilnailing sikres skrånningen ved at etablere et net af jordankre gennem de svage jordlag og ned i de mere stabile jordlag. En eventuel brudfigur tvinges derfor til at bryde disse jordspyd eller til at gå under disse og derved ned i mere stabile jordlag.

I forbindelse med udbudsprojektet viste det sig nødvendigt at vurdere sikkerheden ved soil nailing. Erfaringer har hidtil baseret sig på totalsikkerhedsprincippet, som ikke anvendes i Danmark. Derfor måtte en række eksempler gennemregnes for at kunne sammenligne løsninger, som er dimensioneret efter totalsikkerhedsprincippet med løsninger dimensioneret efter partialkoefficientssystemet. Konklusionen var, at partialkoefficientssystemet ofte resulterer i samme antal ankre og ankerlængder som totalsikkerhedssystemet.



Figur 5. Beregningsfigur

På baggrund af figur 5 kan sikkerhedsfaktoren for en skrånning beregnes. Hvis partialkoefficientssystemet anvendes, skal sikkerhedsfaktoren, SF, blot være $> 1,0$, da sikkerheden er indført på jordens og ankrenes styrkeparametre. Hvis totalsikkerhedssystemet anvendes skal sikkerhedsfaktoren, SF $> 1,4$, da der her ingen sikkerhed er indført på materialeparametrene.

Den maksimale regningsmæssige forskydningsspænding τ i brudlinjen kan beregnes på baggrund af figur 5, q er en evt. overfladelast, γ er jordens total rumvægt og u er vandtrykket i brudlinjen; c og φ skal være regningsmæssige.

$$\tau = \frac{c + (q + \gamma \cdot h - u) \cdot \tan \varphi}{1 + \tan v \cdot \tan \varphi}$$

Sikkerhedsfaktoren, SF, mod glidning ved henholdsvis ankre og uden ankre kan ligeledes beregnes ud fra figur 5. Herved fremkommer nedenstående velkendte ligninger. Det anbefales ved dimensionering af jordankre at undersøge både sikkerhedsfaktoren med og uden ankre.

$$SF \text{ med ankre} = \frac{\sum [\tau \cdot \Delta x \cdot \sec^2 \nu + T_n \cdot \sec \nu \cdot \cos(\nu + \beta) + T_c \cdot \sec \nu \cdot \sin(\beta + \nu)]}{\sum [\Delta G \cdot \tan \nu]}$$

$$SF \text{ uden ankre} = \frac{\sum [\tau \cdot \Delta x \cdot \sec^2 \nu]}{\sum [\Delta G \cdot \tan \nu]}$$

T_n og T_c er de enkelte ankres træk- og forskydningsstyrke. Øvrige geometriske størrelser fremgår af figur 5.

5. AFSLUTNING

For Sundsøre projektet viste det sig ½ år efter undersøgelserne var afsluttet, at skråningen - som forudset - ikke var stabil. Der skete et skred, som involverede det halve af hovedlandevejen, jfr. figur 2. Der skete heldigvis ikke personskader, idet vejen forinden var afspærret. Siden er der foretaget en permanent forlægning af hovedlandevejen væk fra skråningen, således at eventuelle fremtidige skred ikke har nogen indflydelse på vejen.

Vejle sagen er endnu ikke afsluttet, men det der kan erfares i denne sag er, at det naturligvis er nødvendigt at udføre geotekniske undersøgelser for det aktuelle byggeri, men at det er mindst lige så vigtigt at undersøge de geotekniske forhold for de omkringliggende konstruktioner og anlæg.

6. TAK

Forfatterne vil benytte lejligheden til at takke Peter Borchardt fra Geoteknisk *Spets*-Teknik AB, Göteborg for stor hjælpsomhed i forbindelse med forsøg på at indføre soilnailing som en forstærkningsmetode af skråninger i Danmark. Desværre ser det på nuværende tidspunkt ikke ud til at metoden er økonomisk fordelagtig i Danmark, hvilket måske skyldes særlige danske konkurrenceforhold.

7. REFERENCER

Code of practice for Strengthened/reinforced soils and other fills, BS 8006 : 1995. ISBN 0-580-24216-1

Recommendations Clouterre 1991, Pour la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des soutènements réalisés par clouage des sols. ISBN 2-85978-170-6

AGEP: Foundation Engineering papers

- 1 Sørensen, C.S., Steenfelt, J.S., Mortensen, J.K. (1995). Foundation for the East Bridge for the Storebælt Link. *Proc. 11th Eur. Conf. Soil Mech. & Fndn. Engng. Copenhagen*. Danish Geotechnical Society, Bulletin 11, Vol 5, pp 5.31-5.42. Also in *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9506.
- 2 Steenfelt, J.S., Hansen, H.K. (1995). Key Note Address: The Storebælt Link - a geotechnical view. *Proc. 11th Eur. Conf. Soil Mech. & Fndn. Engng. Copenhagen*. Danish Geotechnical Society, Bulletin 11, Vol 10, pp 10.11-10.40. Also in *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9509.
- 3 Feld, T., Sørensen, C.S. (1996). Structure-Foundation Interaction on the Storebælt Link East Bridge. *Proc. Int. Conf. for Bridge and Struct. Eng., Copenhagen*, pp 809-818. Also in *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9601.
- 4 Sørensen, C.S., Jensen B.S. (1996). Fod-pælens bæreevnetilvækst. *Proc. Nordic Geotechnical Meeting, NGM-96, Reykjavik*, Vol 1, pp 253-258. Also in *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9606.
- 5 Sørensen, C.S., Faber, M.H., Stenstrup, B. (1997). Reliability Based Reassessment of an Existing Pile Foundation. *Proc. XIV Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng., Hamburg*, Sept. 6-12 - 1997, pp 1197-1200. Also in *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9709.
- 6 Steenfelt, J.S. (1997). Type A prediction of settlements for railway box culvert in road embankment on clay till. *Proc. XIVth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg*, Vol 2, pp 1037-1044. Also in *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9710.
- 7 Sørensen, C.S., Steenfelt, J.S., Mortensen, J.K., Hansen, Aa., Gluver, H. (1998). Foundation of the East Bridge. In *"East Bridge"*, published by A/S Storebæltsforbindelsen, pp 97-110, ISBN 87-89366-91-3. Also in *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9813.
- 8 Sørensen, C.S., Hededal, O. (1999). Geotechnical design considerations for Storebælt East Bridge and Øresund Bridge. *Proc. IABSE Colloquium, Foundation for Major Bridges-Design and Construction*, New Delhi, India, pp. 25-30 . *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9817.
- 9 Hededal, O., Sørensen, C.S. (1999). Elasto-plastic foundation analysis of ship collision to The Øresund High Bridge. *Proc. IABSE Colloquium, Foundation for Major Bridges-Design and Construction*, New Delhi, India, pp. 175-180. *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9818.
- 10 Sørensen, C.S., Bisgaard, A., Hededal, O. (1999). Foundation of the Øresund Bridge. *Proc. XIIIth Eur. Conf. Soil Mech. Geotechn. Eng.*, 7- 10 June 1999, Vol. 1, pp. 609-616. *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9819.
- 11 Steenfelt, J.S., Jørgensen, M.B., Jørgensen, P.O. (1999). Preloaded motorway embankments - an environmentally sound solution for soft soil areas. *Proc. XIIth Eur. Conf. Soil Mech. Geotechn. Eng.*, 7- 10 June 1999, Vol. 3, pp. 1583-1592. *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9820.

AGEP: Foundation Engineering papers

- 12 Feld, T., Petersen, S.J. (1999). Establishment of Foundation Design Parameters for Limestone. *Proc. IABSE Colloquium, Foundation for Major Bridges - Design and Construction*, New Delhi, India, 24-26 Feb. 99, pp. 51-56. *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9901.
- 13 Feld, T. (1999). Development of the load-deformation curve for bridge piers subjected to ship impact. Published in *Proc. XIIth Eur. Conf. Soil Mech. Geotechn. Eng.*, 7- 10 June 1999, Vol. 1, pp. 737-742. *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9902.
- 14 Rasmussen, J.L., Feld, T. (1999). Pile Driving Fatigue Damage. A Case Story. Published in *Proc. XIIth Eur. Conf. Soil Mech. Geotechn. Eng.*, 7- 10 June 1999, Vol. 2, pp. 577-582. *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9903.
- 15 Feld, T., Rasmussen, J.L., Sørensen, P.H. (1999). Structural and Economic Optimization of Offshore Wind Turbine Support Structure and Foundation. Published in *Proc. OMAE-99, 18th Int. Conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, St.Johns Nfld. Canada July 99. Vol ?, pp. ? *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9904.
- 16 Sørensen, C.S., Jensen, B.S. (2000). Skråningsstabilitet. Accepted for publication in *Proc. Nordic Geotechnical Meeting, NGM-2000*, Helsinki, June 5.-7.2000. *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R2004.
- 17 Jensen, B.S., Sørensen, C.S. (2000). Effektivisering af forbelastning ved anvendelse af vertikaldræn. Accepted for publication in *Proc. Nordic Geotechnical Meeting, NGM-2000*, Helsinki, June 5.-7.2000. *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R2005.
- 18 Feld, T., Leth, C.T., Mikkelsen, H., Steenfelt, J.S. (2000). Nyt laboratorieudstyr til simulering af dynamisk påvirkede sugebøttefundamenter. Accepted for publication in *Proc. Nordic Geotechnical Meeting, NGM-2000*, Helsinki, June 5.-7.2000. *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R2006.