

GEOTEKNISKE  
BEREGNINGER.

J. BRINCH HANSEN

J. HESSNER

# GEOTEKNISKE BEREGNINGER

TEKNISK FORLAG

KØBENHAVN 1959

Copyright 1959  
J. Brinch Hansen og J. Hessner

S. L. Møllers Bogtrykkeri, København.

## INDHOLDSFORTEGNELSE

Forord . . . . .	5
Grundbegreber . . . . .	7
Eksempel 1 : Bestemmelse af fysiske grundegenskaber . . . . .	7
Eksempel 2 : Totale, neutrale og effektive spændinger . . . . .	8
Eksempel 3 : Bestemmelse af hovedspændinger i trykforsøg . . . . .	9
Eksempel 4 : Trykforsøg med sand . . . . .	10
Eksempel 5 : Trykforsøg med ler . . . . .	10
Strømningsproblemer . . . . .	11
Eksempel 6 : Vands strømning i jord . . . . .	11
Eksempel 7 : Vandtilstrømning til byggegrube i silt (E 1957 a) . . . . .	13
Eksempel 8 : Grundvandsbevægelse og sætninger (E 1959 a) . . . . .	16
Eksempel 9 : Grundvandsbevægelse i anisotrop jord . . . . .	18
Eksempel 10 : Løftning af bund i byggegrube . . . . .	21
Eksempel 11 : Ekspansion af bund i byggegrube (E 1955 a) . . . . .	23
Eksempel 12 : Grundvandsenkning med artesisk strømning . . . . .	25
Deformationsproblemer . . . . .	28
Eksempel 13 : Sætninger af bropille på ler . . . . .	28
Eksempel 14 : Sætning og bæreevne af fundament på ler (E 1954 a) . . . . .	30
Eksempel 15 : Sætning og stabilitet af silo på ler (E 1957 a) . . . . .	33
Eksempel 16 : Konsolideringens tidsforløb . . . . .	35
Eksempel 17 : Sætninger af bropille på pæle i ler . . . . .	36
Eksempel 18 : Reaktionsfordeling under stift silofundament . . . . .	38
Eksempel 19 : Reaktionsfordeling under bøjelig dokbund . . . . .	42
Eksempel 20 : Bøjelig kranbjælke på sand . . . . .	45
Generel brudteori . . . . .	49
Eksempel 21 : Beregning af liniebrud . . . . .	49
Eksempel 22 : Beregning af zonebrud . . . . .	50

Jordtryk . . . . .	52
Eksempel 23 : Støttemur som indfatning for vandbassin (E 1952 b) . . . . .	52
Eksempel 24 : Fri spunsvæg med grundvandstrømning . . . . .	56
Eksempel 25 : Spunsvæg med svigtende forankring (E 1956 a) . . . . .	58
Eksempel 26 : Forankret spunsvæg i sand . . . . .	61
Eksempel 27 : Forankret spunsvæg med vandoverttryk . . . . .	64
Eksempel 28 : Forankret spunsvæg i ler og sand . . . . .	66
Eksempel 29 : Indspændt spunsvæg bag aflastningsplade . . . . .	71
Eksempel 30 : Indspændt spunsvæg foran aflastningsplade . . . . .	74
Eksempel 31 : Afstivet spunsvæg i ler og sand . . . . .	77
Eksempel 32 : Ankerplade i sand . . . . .	79
Fundamenters bæreevne . . . . .	80
Eksempel 33 : Sands bæreevne bestemt ved modelforsøg (E 1956 a) . . . . .	80
Eksempel 34 : Lers bæreevne bestemt ved triaksialforsøg (E 1958 a) . . . . .	83
Eksempel 35 : Søjlefundamenter på sand . . . . .	85
Eksempel 36 : Stabilitet af støttemur på sand . . . . .	88
Eksempel 37 : Stabilitet af bropille på ler . . . . .	90
Pæles bæreevne . . . . .	94
Eksempel 38 : Bæreevne af enkeltpæle (E 1956 b) . . . . .	94
Eksempel 39 : Pæle med negativ friktion og gruppevirkning . . . . .	96
Eksempel 40 : Bæreevne af enkeltpæle og plant pæleværk (E 1959 a) . . . . .	100
Eksempel 41 : Støttemur på pæle i sand . . . . .	102
Eksempel 42 : Kaj på stålpæle i sand . . . . .	105
Eksempel 43 : Bropille på træpæle i ler . . . . .	113
Stabilitet . . . . .	117
Eksempel 44 : Stabilitet af skråning i ler . . . . .	117
Eksempel 45 : Stabilitet af kaj på blød bund . . . . .	120
Eksempel 46 : Stabilisering af kaj ved konsolidering (E 1958 a) . . . . .	122
Eksempel 47 : Langtidsstabilitet af flodbred . . . . .	126
Eksempel 48 : Stabilitet af cellefangedæmning i sand . . . . .	129
Eksempel 49 : Bestemmelse af ankerlængde i sand . . . . .	130
Eksempel 50 : Stabiliserende pæle i ler . . . . .	132
Partialkoefficienter . . . . .	135
Spændingsinfluenkort . . . . .	137
Jordtryksdiagrammer . . . . .	141
Sagsregister . . . . .	150

## FORORD

Ved udgivelsen af "Geoteknik" (Teknisk Forlag 1958) havde forfatterne, H. Lundgren og J. Brinch Hansen, af hensyn til en hurtig fremkomst af bogen undladt at forsyne den med taleksempler. Det har dog været følt som et stort savn, og for at afhjælpe dette udsendes nu nærværende værk, der må betragtes som et nødvendigt supplement til "Geoteknik".

En stor del af de foreliggende taleksempler er helt nye. De øvrige er - i mere eller mindre ændret form - hentet fra følgende kilder

- 1) "Geotekniske Øvelsesopgaver" af H. Lundgren (Polyteknisk Forening 1952).
- 2) "Earth Pressure Calculation" (Teknisk Forlag 1953) og diverse geotekniske artikler af J. Brinch Hansen.
- 3) Eksamensopgaver fra Danmarks tekniske Højskole. Sådanne opgaver er betegnet med E og årstallet samt henholdsvis a (for alle retninger) eller b (kun for retningerne BJ og BV).

Eksamensopgaverne er gengivet i deres originale form, bortset fra at symbolerne er blevet bragt i overensstemmelse med de i "Geoteknik" anvendte.

De opgaver, der er hentet fra de to øvrige kilder, er derimod - om fornødent - blevet omarbejdet under anvendelse af de i "Geoteknik" angivne metoder, formler og symboler.

Det har iøvrigt allerede nu vist sig nødvendigt på visse punkter at modificere eller forbedre angivelserne i "Geoteknik". Dette gælder navnlig det anvendte system af partialkoefficienter (side 135). Opmærksomheden henledes desuden på ændrede regler for beregning af korttidsbæreevnen for fundamenter på ler (eksempel 37) og pæles overflademodstand i sandlag (eksempel 39). Endelig er Newmarks influenkort medtaget (side 137).

Det skal ligeledes bemærkes, at der i eksemplerne med forankrede eller indspændte spunsvægge er indført en simpel korrektionsberegning, der praktisk talt overflødiggør omregninger. Det er endvidere påvist, at det negative moment ved forankrings-

punktet aldrig bliver dimensionsbestemmende, når man regner med et flydecharnier i væggens midterparti.

For at lette opsporingen af et taleksempel vedrørende et bestemt problem er der i sagsregisteret angivet numrene på de eksempler, i hvilke de pågældende problemer er behandlet.

Forkortelsen G henviser til "Geoteknik" og EPC til "Earth Pressure Calculation"; et efterfølgende tal angiver sidetallet i det pågældende værk. Formelnumre og figurnumre uden nærmere kildeangivelse henviser alle til "Geoteknik".

Efter udgivelsen af "Geoteknik" har det desværre vist sig, at nogle af kurverne på fig. 5.25.H (G 201 nederst) ikke er helt korrekte. Da desuden visse af kurverne på fig. 5.25.A-P kun vanskeligt kan skelnes fra koordinatnettets linier, er samtlige 15 figurer blevet forbedret (og fig. 5.25.H rettet) og gengives nu bagest i nærværende værk. Til praktisk brug må det derfor anbefales at bruge de her gengivne diagrammer i stedet for dem, der findes i "Geoteknik".

Det kan endvidere nævnes, at der i 5.11.14 (G 156) mangler et kvadratrodsteget over hele nævneren i brøken til højre, og at der til venstre i 5.13.41 (G 166) skal stå  $\sigma_0^z$ . I 5.15.4 (G 169) skal der foran kvadratroden være et dobbeltfortegn  $\pm$ , hvoraf + anvendes ved passivt tryk, - ved aktivt, og i 5.32.2 (G 236) skal der i første led på højre side stå  $\bar{\gamma}_u$ .

Vi ønsker at takke afdelingsingeniør Bent Hansen for gennemsyn og kritik af manuskriptet, samt for undersøgelserne vedrørende plastisk instabilitet af pæleværkerne i eksempel 42 og 43. Vi er også tak skyldige til forskellige andre af Geoteknisk Instituts ingeniører for talmæssig checkning af eksemplerne. Vi takker endelig frøken E. Baruël for optrækning af figurerne og fru E. Thorsen for maskinskrivning af det endelige manuskript.

København, december 1959.

J. Brinch Hansen.

J. Hessner.

## SAGSREGISTER

(Tallene angiver Eks. No.)

## A

Adhæsion, negativ, 39  
 Aflastningsplade, 29, 30, 42  
 Afstivet spunsvæg, 31  
 Afstivningstryk, 31  
 Aksial påvirkning af spunsvæg, 42  
 Aksial virkning af pæle, 50  
 Aktivt jordtryk, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 41, 48, 49  
 Aktivt tryk i brudlinie, 21  
 Analyse,  $c\phi$ -, 28, 34, 39, 44, 47  
 korttids-, 14, 15, 28, 31, 34, 37, 38, 39, 43, 44, 45, 46, 50  
 langtids-, 28, 34, 39, 44, 47  
 $\phi = 0$ -, 14, 15, 28, 31, 34, 37, 38, 39, 43, 44, 45, 46, 50  
 Anisotrop jord, 9  
 Ankerlængde, nødvendig, 49  
 Ankerplade, 32  
 Ankertræk, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 50  
 Ankertværnsnit, nødvendigt, 26, 27  
 Artesisk strømning, 12

## B

Ballasttal, 20  
 Belastningsforsøg, 33  
 Betonpæle, 38, 39, 40, 41, 50  
 Betonspunsvæg, 28  
 Bjælke, elastisk, 20  
 Broplille, 13, 17, 37, 43  
 Brud, linie-, 21  
 zone-, 22  
 Byggegrube, 6, 7, 10, 11, 12, 24, 31  
 Bæreevne, fundamenter, 7, 14, 15, 33, 34, 35, 36, 37  
 korttids-, 14, 15, 34, 37, 38, 39, 40, 43, 50  
 langtids-, 34, 39  
 pæle, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 50  
 Bøjeligt fundament, 19, 20

## C

Cellefangedæmning, 48  
 Centralt belastet fundament, 7, 14, 15, 33, 34, 35  
 C&N-kaj, 30, 42  
 $c\phi$ -analyse, 28, 34, 39, 44, 47

## D

Danske rammeformel, 41  
 Differens-vandtryk, 23, 24, 25, 27  
 Direkte fundering, 7, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 33, 34, 35, 36, 37  
 Dobbelt ekscentricitet, 37  
 Dobbelt hældning, 37  
 Doktværnsnit, 19

## E

Effektiv friktionsvinkel, 34  
 Effektiv kohæsion, 34  
 Effektiv porediameter, 2  
 Effektiv rumvægt, 1, 35  
 Effektive styrkeparametre, 34  
 Effektivt areal, 36, 37  
 Ekscentricitet, dobbelt, 37  
 Ekscentrisk belastet fundament, 36, 37  
 Ekspansion, 11  
 Ekstra rammedybde, 24, 30  
 Elasticitetsteoretisk trykspredning, 18, 19  
 Erosion, 6, 7, 8, 11, 12

## F

Filtertab, 12  
 Filterhastighed, 23  
 Flodbred, stabilitet af, 47  
 Flydecharnier, 24, 26, 27, 28, 30  
 Forankret spunsvæg, 25, 26, 27, 28, 49, 50  
 Forkonsolidering, 8  
 Fri spunsvæg, 24  
 Friktion, negativ, 39  
 Friktionsvinkel, bestemmelse af, 34  
 Fundament, bøjeligt, 19, 20  
 centralt belastet, 7, 14, 15, 33, 34, 35  
 ekscentrisk belastet, 36, 37  
 på ler, 14, 15, 18, 19, 34, 37  
 på sand, 7, 33, 35, 36  
 skråt belastet, 36, 37  
 Fundamenters bæreevne, 7, 14, 15, 33, 34, 35, 36, 37  
 Fundering, direkte, 7, 14, 15, 18, 19, 33, 34, 35, 36, 37  
 pæle-, 17, 23, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 50

## G

Gennemlokning, 35  
 Geostatisk beregning for pæl, 38, 39, 40, 42, 43, 50  
 Grundvandsenkning, 12, 14, 15  
 prøve-, 12  
 Gruppevirkning, 39

## H

Hovedspændinger, bestemmelse af, 3  
 Hviletryk, 42  
 Hydrostatisk jordtryk, 22, 32  
 Hældning, dobbelt, 37

## I

Indspænding i jorden, 24, 30  
 Indspændt spunsvæg, 29, 30, 42  
 Influenskort, Newmarks, 18  
 Initialsætning, 13, 17  
 Instabilitet, plastisk, 42, 43

## J

Jordtryk, aktivt, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 41, 48, 49  
 negativt, 28  
 passivt, 10, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 48, 49, 50  
 ved liniebrud, 21  
 ved zonebrud, 22

## K

Kaj, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 42, 45, 46, 49, 50  
 Kapillartryk, 44  
 Kapillær stighøjde, 2, 7, 44  
 Konsolidering, negativ, 11  
 primær, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 46  
 stabilisering ved, 46  
 Konsolideringens tidsforløb, 15, 16, 23, 46  
 Konsolideringsforsøg, 14, 16  
 Konsolideringsgrad, 15, 16, 23, 46  
 Konsolideringsindeks, 39  
 Konsolideringskurve, 14  
 Konsolideringsmodul, bestemmelse af, 16  
 Konsolideringssætning, beregning ved konsolideringsindeks, 39  
 beregning ved konsolideringskurve, 14  
 beregning ved konsolideringsmodul, 8, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 23  
 Korttidsanalyse, 14, 15, 28, 31, 34, 37, 38, 39, 43, 44, 45, 46, 50  
 Korttidsbæreevne, 14, 15, 34, 37, 38, 39, 40, 43, 50

Korttidsstabilitet, 14, 15, 28, 31, 34, 37, 44, 45, 46, 49, 50  
 Kranbjælke, 20

## L

Langtidsanalyse, 28, 34, 39, 44, 47  
 Langtidsbæreevne, 34, 39  
 Langtidsstabilitet, 28, 34, 44, 47  
 Liniebrud, 21  
 Lodpæle, 23, 38, 39, 42, 43, 50  
 Lodret parallelstrømning, 7, 10, 11, 12, 23  
 Løftning af bund, 7, 10, 11, 12  
 af pæle, 39

## M

Modelforsøg, 33  
 Modellove, 33  
 Modstandsmoment, nødvendigt, 24, 26  
 Mohr's cirkel for spændinger, 4, 5, 34  
 Mætningsgrad, 1

## N

Naturlig skråning, 44, 47  
 Negativ adhæsion, 39  
 Negativ friktion, 39  
 Negativ konsolidering, 11  
 Negativ overflademodstand, 39  
 Negativt jordtryk, 28  
 Newmark's influenskort, 18  
 Nødvendig ankerlængde, 49  
 Nødvendig rammedybde, 24, 26, 27, 28, 29, 30  
 Nødvendigt ankertværnsnit, 26, 27  
 Nødvendigt modstandsmoment, 24, 26

## O

Opfyldning, virkning af, 38, 39  
 Overflademodstand, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 50  
 negativ, 39

## P

Parallelstrømning, lodret, 7, 10, 11, 12, 23  
 Passivt jordtryk, 10, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 48, 49, 50  
 Passivt tryk i brudlinie, 22  
 Permeabilitet, bestemmelse af, 12  
 Plastisk instabilitet, 42, 43  
 Platformskaj, 29  
 Porediameter, effektiv, 2  
 Poretal, 1  
 Poretryk, 6, 7, 8, 9, 34, 47  
 Poretrykskoefficient, 4  
 Porøsitet, 1

Potentialtryk, 44  
 Praktisk trykspredning, 13, 14, 15, 17  
 Primær konsolidering, 13, 14, 15, 16,  
 17, 18, 19, 23, 46  
 Prøvepumpning, 12  
 Pumpebrønd, 12  
 Pæle, 17, 23, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 50  
 aksial virkning, 50  
 beton-, 38, 39, 40, 41, 50  
 løftning af, 39  
 stabiliserende, 50  
 stål-, 42  
 transversal virkning, 50  
 træ-, 43  
 Pæleanordning, 40, 41, 42, 43  
 Pælegruppe, 39  
 Pæles bæreevne, 38, 39, 40, 41, 42,  
 43, 50  
 Pæles sætninger, 17  
 Pæleværk, 23, 40, 41, 42, 43, 50

## R

Rammedybde, ekstra, 24, 30  
 nødvendig, 24, 26, 27, 28, 29, 30  
 Rammeformel, den danske, 41  
 Reaktionsfordeling, bøjeligt fundament,  
 19, 20  
 stift fundament, 18, 35, 36  
 Rumvægt, bestemmelse af, 1, 35  
 Rækkevidde af grundvandsenkning, 12

## S

$S_0$ -formlen, 41  
 Silo, 15, 18  
 Simpelt trykforsøg, 3, 4, 5  
 Singulære punkter, 6, 7, 8, 9  
 Skred, 44, 45, 46, 47, 49, 50  
 Skråning, naturlig, 44, 47  
 Skråpæle, 23, 40, 41, 42, 43  
 Skråt belastet fundament, 36, 37  
 Spidsmodstand, 38, 39, 40, 41, 42, 43,  
 50  
 Spunsvæg, afstivet, 31  
 aksial påvirkning af, 42  
 beton-, 28  
 forankret, 25, 26, 27, 28, 49, 50  
 fri, 24  
 indspændt, 29, 30, 42  
 stål-, 24, 26, 27, 31, 42, 50  
 Stabiliserende pæle, 50  
 Stabilisering ved konsolidering, 46  
 Stabilitet, korttids-, 14, 15, 28, 31, 34,  
 37, 44, 45, 46, 49, 50  
 langtids-, 28, 34, 44, 47  
 lodret, 9, 10, 11

Stift fundament, 18, 35, 36  
 Strimmelmetoden, 47  
 Strømkrafter, 10, 25  
 Strømnet, 6, 7, 8, 9, 25, 44  
 Strømning, artesisk, 12  
 Støttemur, 23, 36, 41  
 Stålpæle, 42  
 Stålpunsvæg, 24, 26, 27, 31, 42, 50  
 Sænkingsanlæg, 12  
 Sætning, beregnet ved elasticitetsmodul,  
 13, 17  
 beregnet ved konsolideringsindeks, 39  
 beregnet ved konsolideringskurve, 14  
 beregnet ved konsolideringsmodul, 8,  
 11, 13, 15, 17, 18, 19, 23  
 beregnet ved sætningsmodul, 33  
 Sætninger, pæle, 17  
 Søjlefundament, 7, 33, 34, 35

## T

Tidsfaktor, 15, 16, 23, 46  
 Tidsforløb, konsolideringens, 15, 16,  
 23, 46  
 Totalsikkerhed, 14, 33, 44, 47  
 Transversal virkning af pæle, 50  
 Triaksiale trykforsøg, 34  
 Trykaflastning, 12  
 Trykforsøg, simpelt, 3, 4, 5  
 triaksialt, 34  
 Trykspredning, elasticitetsteoretisk, 18,  
 19  
 praktisk, 13, 14, 15, 17  
 Trykstyrke, 4, 5, 34  
 Træpæle, 43

## U

Ueftergivelig væg, 31, 42

## V

Vandindhold, 1  
 Vandtryk, 6, 7, 9, 10, 11, 23, 24, 25,  
 27, 47  
 Væg, afstivet, 31  
 med flydecharnier, 24, 26, 27, 28, 30  
 uden flydecharnier, 25, 29, 31  
 ueftergivelig, 31, 42

## Z

Zonebrud, 22

## φ

$\varphi = 0$  - analyse, 14, 15, 28, 31, 34, 37,  
 38, 39, 43, 44, 45, 46, 50