



LABORATORIET FOR

FUNDERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

FORMELSAMLING

FOR

KURSUS 5811 - GEOTEKNIK 1

KURSUS 5821 - GEOTEKNIK 2

JØRGEN S. STEENFELT

1980

Udgivet af og med tilskud fra

Den private ingeniørfond ved DTH

FORORD

Uden at gøre krav på at være komplet dækker denne formelsamling geotekniske begreber og formler svarende til undervisningen i de to grundlæggende kurser Geoteknik 1 og 2.

Formålet med formelsamlingen er, dels at give en oversigt over det stofområde kurserne Geoteknik 1 og 2 dækker, dels at tjene som hjælpemiddel ved geotekniske beregninger.

Så kortfattet som muligt dækker den de i praksis hyppigst anvendte beregningsmetoder, men naturligvis kun den del af forelæsningsstoffet, der direkte kan beskrives v.hj.a. formler.

Det indskræpes, at formelsamlingen er et hjælpemiddel, hvor det som ved anvendelsen af funderingsnormen er en forudsætning, "at brugeren har den fornødne tekniske indsigt".

Formelsamlingen er forsøgt opbygget med formlerne samlet på højresiderne og den tilhørende forklaring, advarsler etc. på venstresiderne. Af hensyn til en rimelig ensartet fremstilling er der enkelte steder anvendt symboler, der afviger fra hhv. forelæsningsnotaterne og funderingsnormen, men det fremgår direkte af forklaringerne.

Ved henvisninger benyttes referencer på formen G1 og G2 til forelæsningsnotaterne og Fn til funderingsnormen.

Mine kolleger N.H.Christensen, Frands Haahr, Hans Denver og Bent Hansen takkes for kritisk gennemsyn af manuskriptet. Tegnearbejdet er udført af Ulla Jørhof og den meget krævende og perfekt udførte maskinskrivning af Birgit Lauritsen. En varm tak for det dygtige arbejde.

DTH, November 1980

Jørgen S.Steenfelt



trykt på genbrugspapir

ISBN 87-87245-59-0

Stougaard Jensen/København

Un 04-83

INDHOLDSFORTEGNELSE

	side
GRUNDLÆGGENDE BEGREBER.....	4
GRUNDLÆGGENDE GEOSTATIK	10
VANDPROBLEMER.....	12
PLANE STRØMNINGER	12
STRØMNET	14
BRØNDE	16
JORDS SAMMENTRYKKELIGHED.....	18
ENDIMENSIONAL KONSOLIDERING	18
KONSOLIDERINGENS TIDSFORLØB	20
SÆTNING AF FUNDAMENTER	22
JORDS STYRKEEGENSKABER	24
BRUDBETINGELSE – BRUDPARAMETRE	24
BÆREEVNE AF FUNDAMENTER	26
BELASTNINGER OG BÆREEVNEKRITERIUM	26
BÆREEVNEBEREGNING EFTER FUNDERINGSNORMEN	28
BÆREEVNE EFTER FORELÆSNINGSNOTATERNE.....	30
BÆREEVNE AF ENKELTPÆLE	36
RAMMEFORMEL.....	36
GEOSTATISK BÆREEVNEBEREGNING	38
NEGATIV OVERFLADEMODSTAND	40
ZONEBRUDBEREGNING	42
JORDTRYK PÅ LODRET VÆG, VANDRET JORDOVERFLADE	42
JORDTRYK PÅ HÆLDENDE VÆG, SKRÅ JORDOVERFLADE.....	45
JORDTRYKSBEREGNING FOR SPUNSVÆGGE	46
JORDTRYKSFORDELING	46
JORDTRYKSBEREGNING FOR SPUNSVÆGGE MED FLYDECHARNIERER.....	48
JORDTRYKSDIAGRAMMER FOR LODRET VÆG VANDRET JORDOVEFLADE	49
ANKERPLADER	58
JORDTRYKSBEREGNING FOR ANKERPLADER.....	58
JORDTRYKSDIAGRAMMER FOR ANKERPLADER	60
APPENDIX	62
ENHEDER.....	63
SYMBOLFORTEGNELSE	64
FORTEGNELSE OVER FAGLITTERATUR.....	69

GRUNDLÆGGENDE BEGREBER

G1 afsn.1- 2, Fn afsn.3.1

Den grundlæggende beskrivelse af jords egenskaber og struktur er stærkt knyttet til en skematisk opdeling af jorden i tre faser: Tørstof (korn), vand og luft.

Tørstoffet (kornene) karakteriseres ved ækvivalente kornstørrelser d mm fundet ved sigtning ($d > 0,06$ mm), hvor d er maskevidden i den fineste sigte kornet kan passere, eller ved sedimentation.

Fordelingen af kornstørrelser i fraktionerne ler, silt, sand, grus, sten og blokke beskrives ved hjælp af kornkurven.

Kornstørrelsen og -fordelingen beskrives ved middeldiameteren d_{50} mm og uensformighedstallet U .

Porerne er hulrummene mellem tørstoffet (kornene). De er fyldt op med luft og vand i volumenforholdet $(1 - S_r) / S_r$ hvor S_r er mætningsgraden.

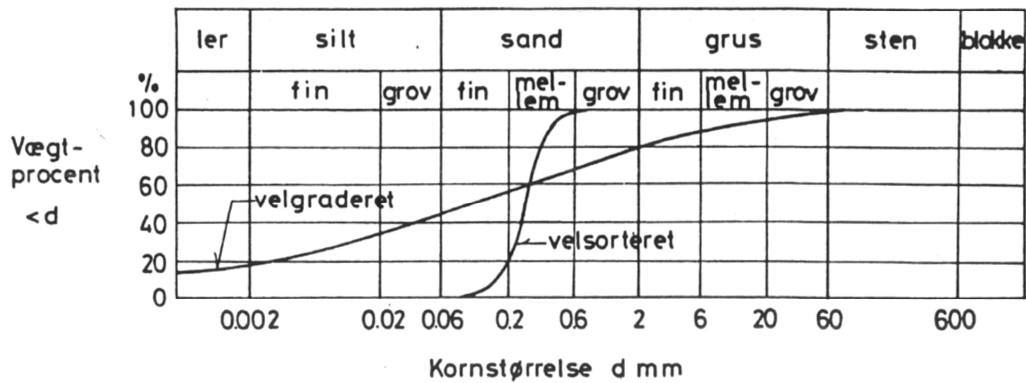
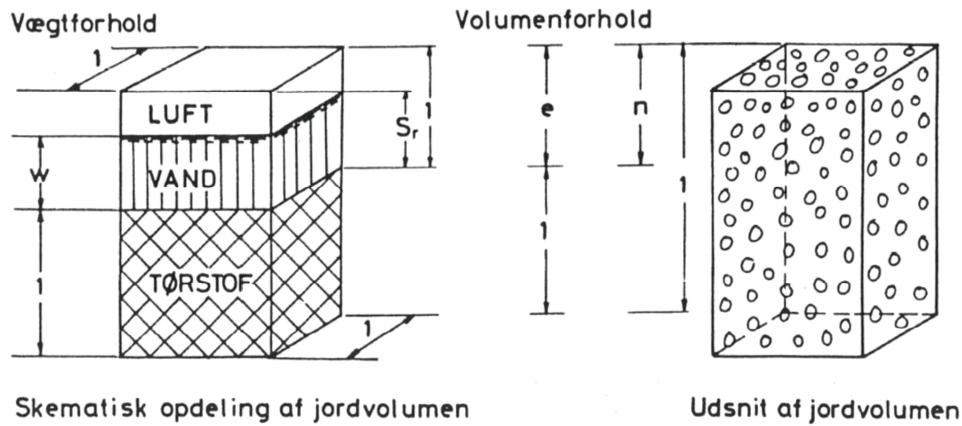
Husk, at både poretal og vandindhold på grund af deres definition kan blive væsentlig større end henholdsvis 1 og 100 %.

Iforbindelse med gængse geotekniske problemer og normale belastnings hastigheder, kan en jordart normalt betragtes som

KOHÆSIONSJORD: lerindhold $> 20\%$ og plasticitetsindeks $I_p > 10\%$

FRIKTIONSJORD: lerindhold $< 10\%$ og plasticitetsindeks $I_p < 5\%$
--

Imellemintervallerne kan der ikke angives generelle anvisninger.



korn	middelkorndiameter(mm)	d_{50}	G1(0102)
	uensformighedstal	$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	
porer	poretal	$e = \frac{\text{porevolumen } P}{\text{kornvolumen } R}$	G1(0201)
	porøsitet	$n = \frac{\text{porevolumen } P}{\text{totalvolumen } P+K}$	G1(0202)
	vandindhold (%)	$w = \frac{\text{vægt af porevand}}{\text{vægt af korn}}$	G1(0208)
	mætningsgrad (%)	$S_r = \frac{\text{vandvolumen}}{\text{porevolumen}}$	G1(0211)
	relativ lejringsstæthed	$I_d = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$	G1(0206)

RUMVÆGTE

Jords rumvægt defineres som vægt pr.volumenhed og betegnes γ med enheden kN/m^3 .

Det er vigtigt at skelne mellem de forskellige indices, der udtrykker, om det er mættet, tør, effektiv etc. rumvægt.

Husk, altid at medtage rumvægten af vand γ_w i alle formler.
I praksis regnes med $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$.

Husk at skelne mellem S_r og w ! Naturfugtigt sand med 10% vandmætning betyder $S_r = 0,1$.

Ved beregning af rumvægt med hensyntagen til strømning (d.v.s. med gradienten i) se under VANDPROBLEMER, side 13 - 14.

BEREGNING AF RUMVÆGTE γ

Beregning baseret på poretal				Beregning baseret på vandindhold			
Fase	Volumen	Rumvægt	Vægt	Fase	Vægt	Rumvægt	Volumen
Luft	$e(1 - S_r)$	0	0	Luft	0	0	$\frac{w}{\gamma_w} \frac{1 - S_r}{S_r}$
Vand	$e S_r$	γ_w	$e S_r \gamma_w$	Vand	w	γ_w	$\frac{w}{\gamma_w}$
Korn	1	γ_s	γ_s	Korn	1	γ_s	$\frac{1}{\gamma_s}$
Ialt	$1 + e$	γ	$\gamma_s + e S_r \gamma_w$	Ialt	$1 + w$	γ	$\frac{1}{\gamma_s} + \frac{w}{\gamma_w S_r}$

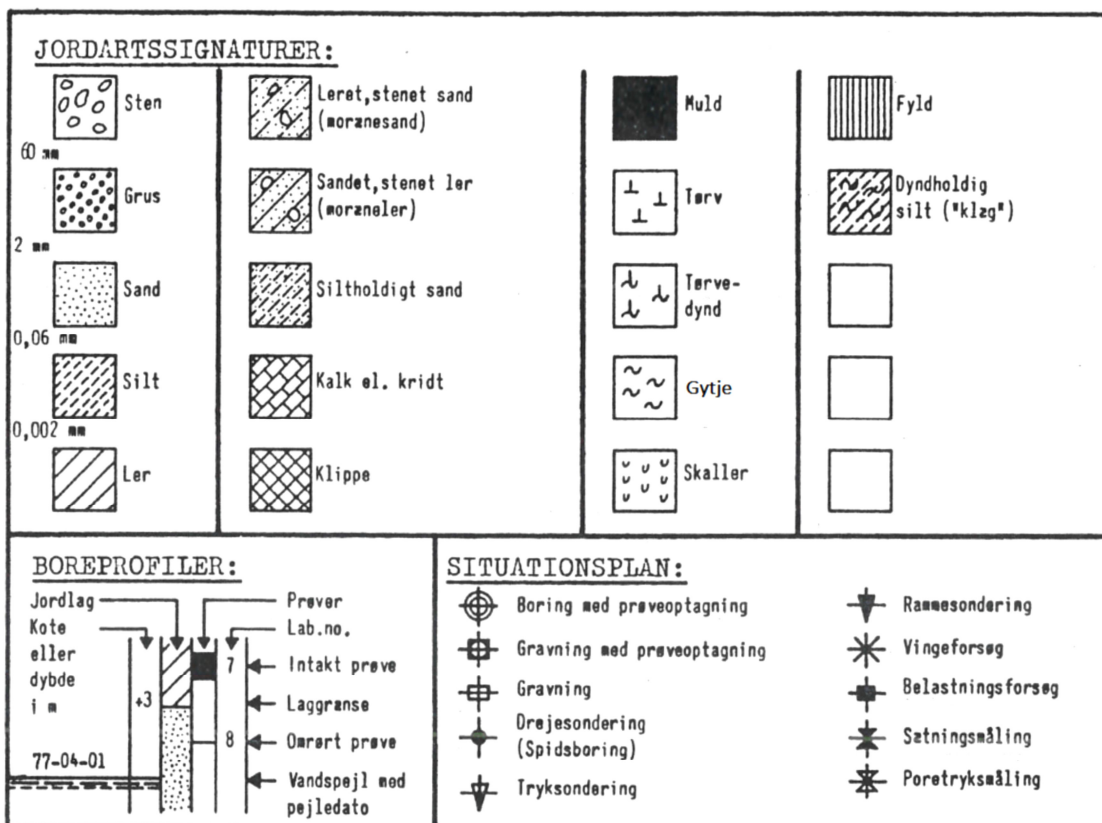
Hjælpekema til beregning af jords rumvægt

rumvægt af vand	$\gamma_w \sim 10 \text{ kN/m}^3$	
kornrumvægt	γ_s	
total rumvægt	$\gamma = \frac{\gamma_s + e S_r \gamma_w}{1 + e} = \frac{\gamma_w \gamma_s S_r (1 + w)}{\gamma_w S_r + w \gamma_s}$	G1(0215)
tør rumvægt	$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + e} = \frac{\gamma_m}{1 + w}$	G1(0216)
vandmættet rumvægt	$\gamma_m = \frac{\gamma_s + e \gamma_w}{1 + e} = \frac{\gamma_w \gamma_s (1 + w)}{\gamma_w + w \gamma_s}$	G1(0217)
reduceret rumvægt	$\gamma' = \gamma - \gamma_w$	G1(0218)
effektiv rumvægt	$\gamma' = \begin{cases} \gamma & \text{over vand} \\ \gamma' + i \gamma_w & \text{under vand} \end{cases}$	

KONSISTENSGRÆNSER, SIGNATURER, SKØNSFORMLER

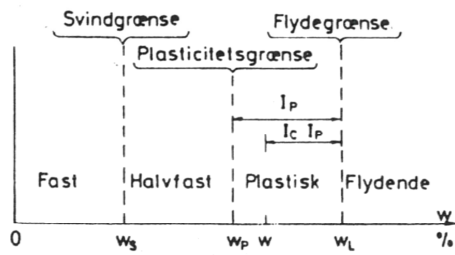
Til beskrivelse af sammenhængen mellem kohæsjonsjords fasthed og vandindhold benyttes konsistensgrænserne, udtrykt ved karakteristisk vandindhold i%.

Til beskrivelse af lagfølger, udførte forsøg, observerede vandspejl etc. benyttes forskellige signaturer. De mest almindelige er:

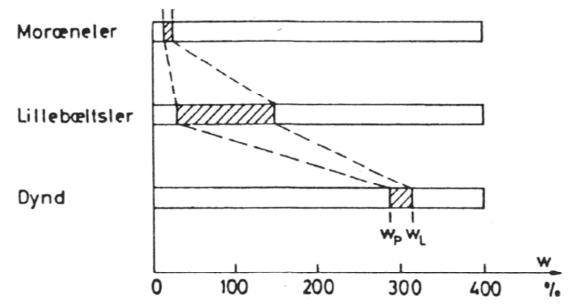


På grundlag af klassifikationsegenskaberne for jorden kan der angives skønsformler for visse af jordens parametre. Skønnene bør anvendes med forsigtighed og giver først og fremmest størrelsesordenen for den pågældende parameter.

KONSISTENSGRÆNSER (kohæsionsjord)



Konsistensgrænser



Eksempler på konsistensgrænser

flydegrænse	w_L
plasticitetsgrænse	w_P
svindgrænse	w_S

plasticitetsindeks (%)	$I_P = w_L - w_P$	G1(0213)
konsistensindeks (%)	$I_C = \frac{w_L - w}{I_P}$	G1(0214)
aktivitet	$A = \frac{I_P}{\text{vægtprocent lerfraktion}}$	

SKØNSFORMLER

Karakteristisk værdi af triaksial friktionsvinkel

$$\varphi_{tr} \sim 30^\circ - \frac{3}{U} + \left(14 - \frac{4}{U}\right) I_D - \begin{cases} 2^\circ \text{ ved } 10\% \text{ silt} \\ 5^\circ \text{ ved } 20\% \text{ silt} \\ 3^\circ \text{ afrundede korn} \end{cases}$$

G1 (1213)
(1214)
Fn(3.1.4)Kapillær stighøjde h_c mm (d_{10} mm):

$$h_c d_{10} \sim 30 \text{ mm}^2$$

G1(0302)

Permeabilitetskoefficient k m/s (d_{10} mm):

$$k \sim C_k d_{10}^2 \quad C_k \sim \begin{cases} 0,01 \text{ skarpe korn, fast lejrings} \\ 0,05 \text{ afrundede korn, løs lejrings} \end{cases}$$

GRUNDLÆGGENDE GEOSTATIK

G1 afsn.3, 4, 5

Det er af helt fundamental betydning at kunne skelne mellem totale spændinger σ , effektive spændinger σ' og poretryk u .

Spændinger regnes positive ved tryk og angives normalt i kN/m^2 (kPa).

I éndimensional tilstand gælder for de lodrette normalspændinger:

Totalspænding	$\sigma =$ vægt af alt overliggende (jord, vand, overfladelast)
Porevandtryk	$u =$ hydrostatisk + evt.strømningsbidrag
Effektiv spænding	$\sigma' = \sigma - u$

Totale spændinger og spændingsændringer, σ og $\Delta\sigma$:

bestemmes altid direkte.

Porevandtryk u og Δu bestemmes:

drænet tilstand: afhængig af strømningstilstanden (ofte hydrostatisk)

udrænet tilstand: ud fra kravet konstant volumen. For éndimensional tilstand fås specielt:

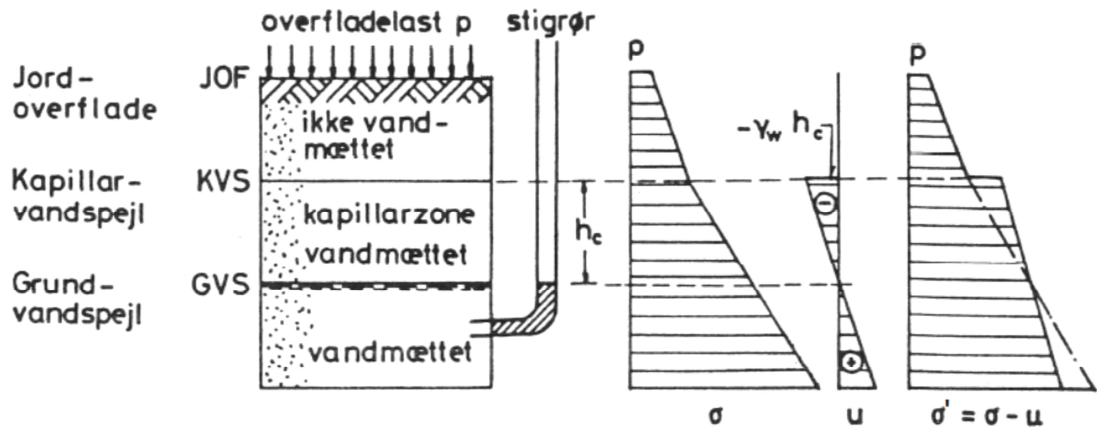
$$\Delta u = \Delta\sigma \quad ; \quad \Delta\sigma' = 0$$

Fundamentalligning for normalspændinger

$\sigma = \sigma' + u$
$\sigma' = \sigma - u$

G1(0304)

ENDIMENSIONAL TILSTAND



Grundvandspejl:	niveau hvor	$u = 0$
Kapillarvandspejl:	niveau hvor	$u = -\gamma_w h_c$
Kapillær stighøjde:	fra GVS til KVS	$h_c \sim \frac{30mm^2}{d_{10}}$

Vandrette spændinger (hviletryk e_0) og spændingstilvækster

drænet
$e'_0 = K_0 \sigma'$
$e_0 = e'_0 + u$
$\Delta e'_0 = K_0 \Delta \sigma'$
$\Delta e_0 = \Delta e'_0 + \Delta u$

G1(0504)
G1(0506)

udrænet
$\Delta e_0 = \Delta \sigma$

G1(0511)

hviletrykskoefficienten	$K_0 \sim 1 - \sin \varphi_{tr}$
-------------------------	----------------------------------

G1(0505)

VANDPROBLEMER**PLANE STRØMNINGER**

G1 afsn.6, G2 afsn.1, 2, 3, 4, 5

Trykniveauet h i et givet punkt er det niveau, hvortil vandet vil stige i et standrør, der er forbundet med porevandet i punktet.

Trykniveauet h findes som summen af den geometriske højde y over et vilkårligt valgt udgangsniveau og trykhøjden i punktet u/γ_w .

Gradienten i_s i retningen s udtrykker ændringen i trykniveau i denne retning. Specielt er $i_z = -\partial h / \partial z$ (positiv nedad som z -aksen) G1(0603).

Filterhastigheden v_s i retningen s er den hastighed, hvormed vandmængden Q transporteres gennem et enhedstværsnit vinkelret på s -retningen.

Strømkraften $j = i \gamma_w = \gamma_w \times (-\text{grad } h)$ er en (vektoriel) volumenkraft, der virker fremad i strømretningen på jordskelettet (og bagud på porevandet), d.v.s. proportional med filterhastigheden.

strømning	effektiv rumvægt γ'	porevandtryk u	total rumvægt σ
lodret nedadrettet	forøges	formindskes	uforandret
lodret opadrettet	formindskes	forøges	uforandret

STRØMNET

Fordelingen af trykniveau (og af poretryk) i et strømningsområde kan findes grafisk ved hjælp af strømnet. Nettet består af familier af potential- og strømmlinier, der danner vinklen $\alpha = \frac{\pi}{2}$ med hinanden. Det er en forudsætning for anvendelsen, at maskerne i nettet er "kvadratiske", d.v.s. samme middelfastand mellem potential- og strømmlinier $\Delta s = \Delta b$.

Det er vigtigt først at afgrænse strømningsområdet, d.v.s. at finde grænsepotential- og strømmlinier samt evt. singulære punkter, hvorefter strømnettet kan skitseres.

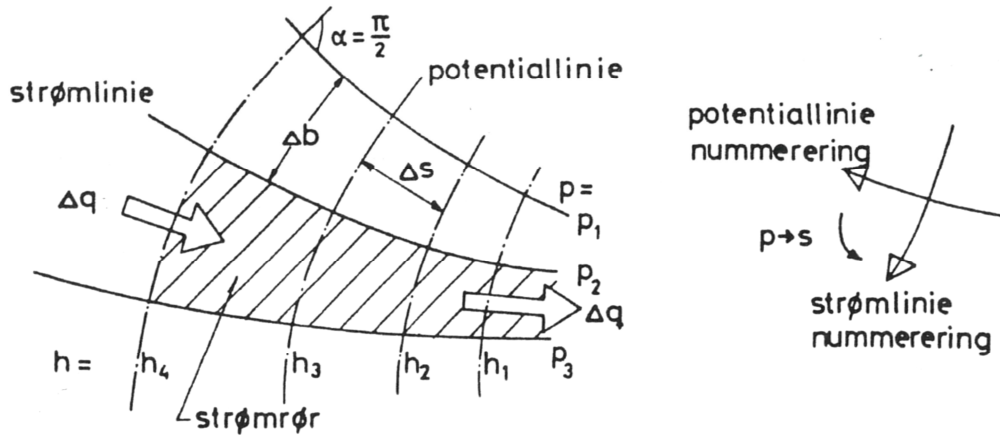
Porevandtrykkene fundet ved hjælp af strømnettet kan benyttes til beregning og vurdering af

- a) Vandtryksfordeling langs konstruktioner (f.eks. opdrift langs vandrette flader).
- b) Sætningsberegning: σ er kendt, og σ' skal findes.
- c) Ligevægt af jordlegeme ved stabilitetsundersøgelse (G2 afsn.10 - 11).
- d) Hævningsrisiko langs vandrette snit (middelværdi af σ , u og hermed σ').

Strømkræfterne $j = i \gamma_w = -\gamma_w \text{ grad } h$ fundet ved strømnettet kan benyttes til:

- a) Vurdering af erosionsfare ved vandret jordoverflade ($\gamma' + j \leq 0$). Her kan det ofte udnyttes, at p og h er konjugerede, idet det langs en vandret jordoverflade gælder, at $\partial h / \partial z = \partial p / \partial x$.
- b) Vurdering af strømningens indflydelse på jordtryk (især for j lodret).

For strømning i anisotrop jord og strømning i dæmninger, se G2 afsn.2 og 4.



Potentiellinier $h = \text{konstant}, \Delta h = \frac{\Delta q}{k}$

Strømmlinier $p = \text{konstant}, \Delta p = \frac{\Delta q}{k}$

Vandføring i strømnrør	$\Delta q = k \Delta p = k \Delta h$
------------------------	--------------------------------------

G2(0115)

Samlet vandføring i strømningssområdet	$q = k H \frac{n_s}{n_p}$
--	---------------------------

G2(0118)

H : samlet fald af trykniveau i strømningssområdet

n_s : antal strømnrør

n_p : antal potentialspring

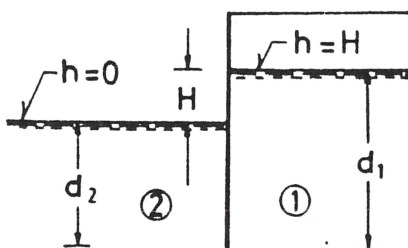
Porevandtryk i netpunkt	$u = \gamma_w (h - y)$
-------------------------	------------------------

G2(0119)

Singulære punkter	$\alpha < \frac{\pi}{2} \Rightarrow v \rightarrow 0$ d. v. s. <i>udtynding af nettet</i>
	$\alpha > \frac{\pi}{2} \Rightarrow v \rightarrow \infty$ d. v. s. <i>fortætning af nettet</i>

Tilnærmelse for strømning omkring spunsvæg fra side (1) til side (2).

Trykniveau ved spids



$h_0 \sim \frac{H}{1 + \sqrt{d_1/d_2}}$

G2(0309)

Middelgradienter på de to sider:

$i_1 \sim 0,7 \frac{H}{d_1 + \sqrt{d_1 d_2}}$
$i_2 \sim -0,7 \frac{H}{d_2 + \sqrt{d_1 d_2}}$

G2(0312)

BRØNDE

Ved beregning af vandtilstrømning til brønde skelnes mellem

a) Artesisk strømning i lag af tykkelsen t .

Det usænkede trykniveau er $h_u(m)$ ($=0$, hvis udgangsniveau for h vælges i vandspejlet), den oppumpede vandmængde Q (m^3/s) og rækkevidden $r_a(m)$.

NB! Det er en forudsætning, at sænkningstragten ligger helt over det vandførende lag.

b) Strømning med frit vandspejl.

Udgangsniveau, $y=0$, for trykniveauet h antages i den impermeable grænse, der afgrænser det vandførende lag.

NB! Der skal anvendes samme udgangsniveau ved tolkning af prøvepumpning og senere beregning af evt. grundvandssænkingsanlæg.

Kendes beliggenheden af det underliggende impermeable lag ikke, kan referenceniveauet vælges $0,2$ á $0,5$ d under brønden (d er brøndens dybde under sænket vandspejl).

Det bemærkes, at selv om det viser sig, at den antagne strømningstype ikke er korrekt (ofte en kombination), bliver fejlen forholdsvis beskeden, blot samme strømningstype benyttes ved tolkning af prøvepumpning og beregning af aktuelt anlæg.

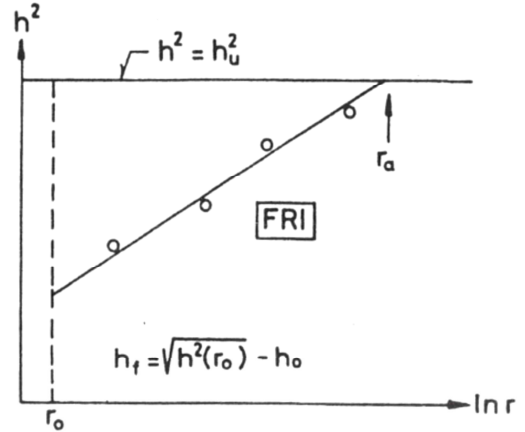
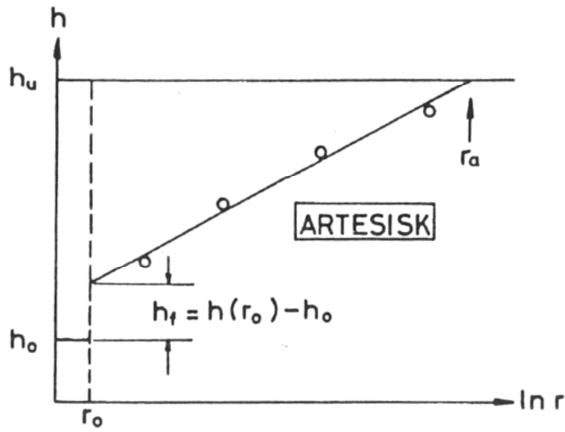
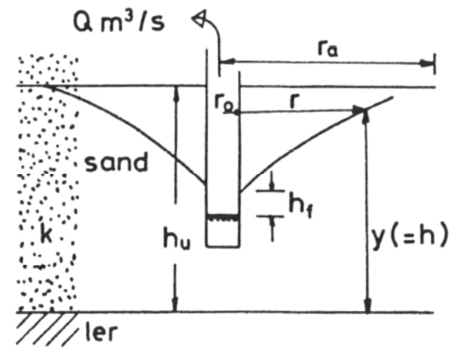
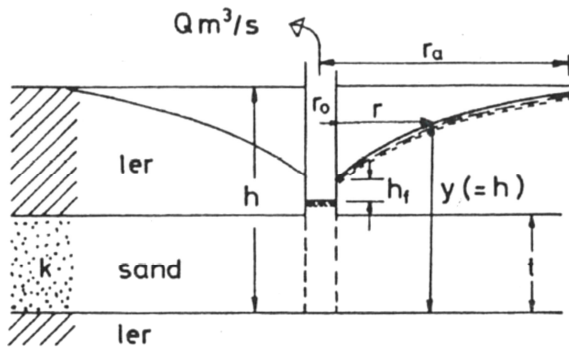
Ved samtidig strømning fra flere brønde kan bidragene fra de enkelte brønde superponeres (svarer til i de angivne formler at erstatte højresiderne med summer af bidrag fra hver brønd).

Filtertabet h_f er forskellen mellem vandspejlsniveau lige uden for brønden h ($r = r_0$) og i brønden h_0 .

For vandmængder mindre end Q ved prøvepumpning er det på den sikre side at regne filtretabet h_f proportionalt med Q .

ARTESISK STRØMNING

FRI STRØMNING



Resultat af prøvepumpning

Resultat af prøvepumpning

Trykniveausænkning $h_u - h$ i afstand r fra enkelt brønd:

Artesisk:
$$h_u - h = \frac{Q}{2\pi k t} \ln \frac{r_a}{r} \quad \text{G2(0506)}$$

Fri strømning
$$h_u^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{r_a}{r} \quad \text{G2(0518)}$$

Filterkriterier
$$\frac{d_{15,dræn}}{d_{85,jord}} < 4 \text{ á } 5 \quad \text{G2(0601)}$$

$$\frac{d_{15,dræn}}{d_{15,jord}} > 4 \quad \text{G2(0602)}$$

JORDS SAMMENTRYKKELIGHED

ENDIMENSIONAL KONSOLIDERING

G1 afsn.7, 8, 22

Det grundlæggende deformationstilfælde er éndimensional konsolidering, hvor jordskelettet deformeres i lodret retning på grund af ændringer i de lodrette effektive spændinger. Det er også dette tilfælde, der normalt reproduceres i laboratoriet - konsolideringsforsøget - og hvoraf jordens stivhedsparametre defineres.

Da ler (kohæsionsjord) i reglen er mere sammentrykkeligt end sand (friktionsjord), er både fremstillingen i noterne og formlerne her koncentreret om ler. Det betyder ikke, at sammentrykning (sætning) af sandlag kan negligeres!

Det er meget vigtigt ved sætningsberegning at kende jordens belastningshistorie samt at reproducere den ved udførelse af laboratorieforsøg. I forbindelse med sætningsberegning er det derfor afgørende at kende og skelne mellem:

- Forkonsolideringsspænding σ'_{pc} : hidtil maksimale spænding
- Aflastningsspænding σ'_a : efterfølgende minimum
- In-situ spænding σ'_0 : nuværende spænding (overlejringsstrykket)
- Normalkonsolideret jord $\sigma'_0 = \sigma'_{pc}$: stamkurve i konsolideringsdiagram
- Forkonsolideret jord $\sigma'_0 + \Delta\sigma' < \sigma'_{pc}$: af- og genbelastningsgrene

NB! I skønsformlerne for Q og K indsættes her vandindholdet w i rent tal.

I funderingsnormen angives formlerne med w i %.

Bemærk, at K afhænger af σ'_{pc} og σ'_a .

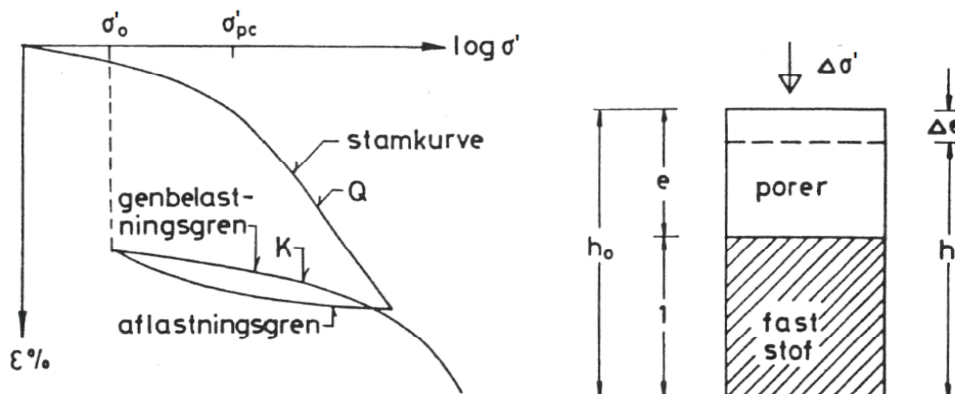
Konsolideringsmodulen K kan tilnærmeth anvendes til sætningsberegning ved forkonsolideret sand.

For overkors Jord:

$$E_{oed} = \frac{(1-\nu)}{(1-2\nu)(1+\nu)} E = k^* E^{CW-PI-5} \text{ eg.6-V}$$

$$\nu = 0,25 \Rightarrow k^* = \frac{1}{0,833} = 1,2 \quad E = \frac{E_{oed}}{1,2} \text{ for } \nu = 0,25$$

$$\nu = 0,3 \Rightarrow k^* = \frac{1}{0,743} = 1,35 \quad E = \frac{E_{oed}}{1,35} \text{ for } \nu = 0,3$$



Arbejdskurve for lerprøve ved
éndimensional sammentrykning

Virkning af ændring i lodret,
effektiv spænding σ'

NORMALT KONSOLIDERET LER

Dekadehældning

$$Q = \frac{d \varepsilon}{d \log_{10} \sigma'} = \text{konstant}$$

G1(0703)

Tøjningstilvækst

$$H \Delta \varepsilon = H Q \log_{10} \frac{\sigma'_{ny}}{\sigma'_{opr}} = Q \log_{10} \left(1 + \frac{\Delta \sigma}{\sigma'_{opr}} \right)$$

G1(0715)

Konsolideringsindeks

$$C = - \frac{d e}{d \log_{10} \sigma'} = Q(1 + e_0)$$

G1(0701)
(0706)

Skønsformel for dyndede
aflejninger

$$Q \sim 0,60 \frac{w - 0,25}{w + 0,40}$$

G1(0704)
Fn(3.1.5)

FORKONSOLIDERET LER (Konsolideringsmodul anvendes tilnærmet for sand)

Konsolideringsmodul

$$K = \frac{d \sigma'}{d \varepsilon} = \text{konstant} = \ln 10 \cdot \frac{\sigma'}{Q} = 2,3 \cdot \frac{\sigma'}{Q}$$

G1(0707)

Tøjningstilvækst

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta \sigma'}{K}$$

G1(0716)

Skønsformel for intakte
uorganiske
aflejninger

$$K \sim \frac{40}{w} c_v$$

G1(0713)
Fn(3.1.5)

SÆTNINGSBIDRAG for lag af tykkelse d med ε beregnet midt i laget

$$\delta = \varepsilon d$$

$$K = 2,3 \frac{\sigma'}{Q} \Rightarrow E$$

$$\text{HM: } E_u = (1 - 2) \cdot E \quad \text{for gytje}$$

$$E_u = 3 \cdot E \quad \text{for plaxis manual}$$

KONSOLIDERINGENS TIDSFORLØB

Konsolidering er den tidsafhængige beskrivelse af jordens lodrette sammentrykning under en konstant total éndimensional lodret belastningsændring $\Delta\sigma$.

Det er vigtigt at afgrænse laget (lagene), hvor konsolideringen foregår, samt at bestemme grænsebetingelserne, d.v.s. ensidig eller tosidig dræning.

Drænvejen d_c er den længste lige vej, en vandpartikel skal tilbagelægge, d.v.s. lagtykkelsen d ved ensidig og $d/2$ ved dobbeltsidig dræning.

Konsolideringsprocessen kan for alle praktiske formål regnes for overstået til tiden t_c .

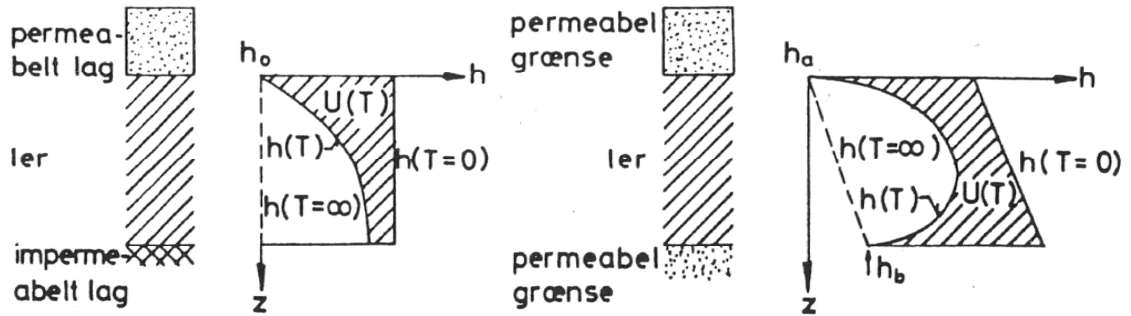
Konsolideringstiden: $t_c = \frac{d_c^2}{c_k}$

Størrelsen af konsolideringsmodulen K og permeabilitetskoefficienten k kan bestemmes direkte ved konsolideringsforsøget.

Ønskes konsolideringsteorien og de her angivne formler benyttet direkte for normalt konsolideret ler, kan der ud fra dekahældningen Q defineres en tilnærmet tangentmodul

$$K = K_t = 2,3 \frac{\sigma'}{Q} \quad G1(0711)$$

hvor der som σ' benyttes $\sigma'_0 + \frac{1}{2} \Delta\sigma'$



Ensidig dræning, ensformigt
fordelt poreovertryk

Dobbeltsidig dræning, ensformigt
fordelt poreovertryk.

Dimensionsløs tidsfaktor

$$T = \frac{k K}{\gamma_w d_c^2} t = \frac{c_k}{d_c^2} t = \frac{t}{t_c}$$

G1(0810)

Konsolideringstiden

$$t_c = \frac{\gamma_w d_c^2}{k K}$$

G1(0821)

Konsolideringsgraden
(dobbeltsidig dræning og ensidig
dræning med ensformigt fordelt
poreovertryk)

$$U(T) = \begin{cases} \sqrt{\frac{4}{\pi} T} & \text{for } T \leq 0,4 \\ 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2 T}{4}} & \text{for } T \geq 0,1 \end{cases}$$

G1(0820)

(Ensidig dræning, trekantformet
poreovertryk med 0 ved
drænende grænse)

$$U(T) = 2T \text{ i starten}$$

Endelig konsolideringssætning

$$\delta_c = \frac{\Delta \sigma' d_c}{K}$$

G1(0817)

Sætning som funktion af t

$$\delta(t) = \delta_c U(T)$$

G1(0818)

SÆTNING AF FUNDAMENTER

G1 afsn.9, 10 (og G2 afsn.7, 8, 9)

Ved sætningsberegning er det specielt vigtigt at skelne mellem brutto- og nettobelastninger, idet kun en ændring i de effektive spændinger i funderingsniveau bidrager til konsolideringssætning fra fundamentslasten. Endvidere betragtes normalt (kun) spændingsændringerne i bygværkets (fundamentets) centerlinie, da det er disse spændingstilstande, der kan reproduceres i laboratoriet.

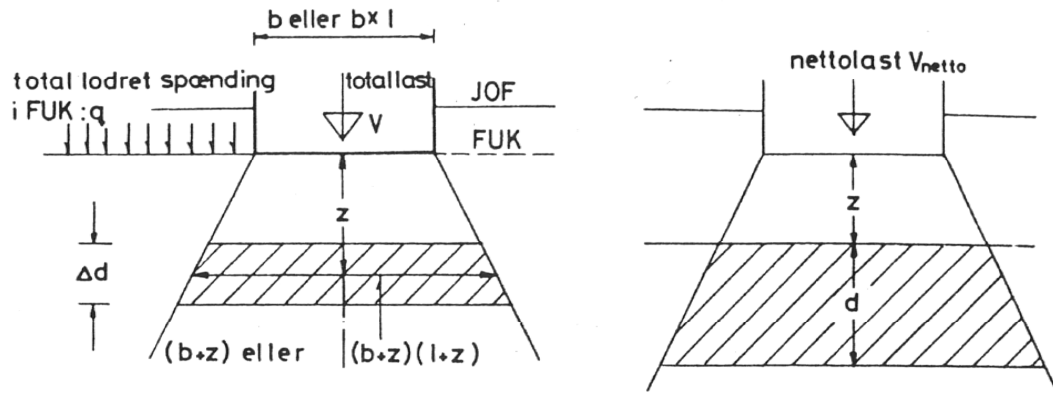
Der er her, analogt med bæreevneberegning for fundamenter, benyttet symbolet V for den lodrette belastning på fundamentet.

Ved den konventionelle sætningsberegning - svarende til de angivne formler - beregnes direkte den totale sætning, som om hele sætningen stammer fra konsolideringssætningen. Dette er ikke korrekt, da en (somme tider ganske væsentlig) del af sætningen, initialsætningen δ_i , indtræffer "momentant", d.v.s. uden volumenændring i jorden. Ligeledes ses der bort fra krybningen δ_s , der er en tidsafhængig sætning, som finder sted efter den endelige konsolideringssætning. De angivne formler er derfor kun en tilnærmelse, selv om det er disse, der stadig anvendes i praksis.

De angivne formler for spændingerne i dybden z under fundamentet, svarende til 1:2-fordelingen, er en simpel tilnærmelse og giver altså ikke de korrekte spændinger.

Det bør bemærkes, at 1:2-fordelingen angiver tilvæksten i lodrette totale spændinger, som kan afvige fra den drænedes tilvækst i effektive spændinger, hvis konstruktionen samtidig betinger en ændring i strømningsforholdene.

Ved beregning af sætningsbidraget ved underinddeling af det sætningsgivende lag bør lagtykkelsen øges med dybden.



Trykspredning ved sætningsberegning
for dellag af tykkelse Δd

Direkte sætningsberegning for lag af
tykkelse d med $K =$ konstant

Lodret spændingsændring under midten af fundament	rektangulært fundament	stribefundament	
Total fundamentslast overført gennem FUK	V (kN)	V (kN/m)	
Lodret total spænding i FUK (uden for fundamentet)	q (kN/m ²)	q (kN/m ²)	
Nettobelastning (sætningsgivende)	$V_{netto} = V - q \cdot b \cdot l$	$V_{netto} = V - q \cdot b$	G1(0911)
Ændring af total spænding σ i dybden z under midten af fundamentet	$\Delta\sigma = \Delta q + \frac{\Delta V_{netto}}{(b+z)(l+z)}$	$\Delta\sigma = \Delta q + \frac{\Delta V_{netto}}{b+z}$	G1(0926) G1(0927)
Ændring i poretryk u	Δu findes ud fra grundvandsforholdene evt. fra strømnet		
Sætningsbidrag fra dellag af tykkelsen Δd med $\Delta\sigma'$ i midten	$\Delta\delta = \frac{\Delta\sigma' \Delta d}{K}$		

Direkte beregning af sætningsbidraget δ fra nettobelastning V_{netto} på fundamentet for et lag af tykkelse d med overside i dybden z under FUK, når K er konstant.

NB! Bidrag fra Δq og Δu må beregnes separat.

Lagtykkelse	rektangulært	kvadratisk	stribefundament	
d	$\delta = \frac{V_{netto}}{K(l-b)} \ln \frac{1 + \frac{d}{b+z}}{1 + \frac{d}{l+z}}$	$\delta = \frac{V_{netto}}{K(b+z)} \frac{\frac{d}{b+z}}{1 + \frac{d}{b+z}}$	$\delta = \frac{V_{netto}}{K} \ln \left(1 + \frac{d}{b+z} \right)$	G1(1019) G1(1023) G1(1024)
$d \rightarrow \infty$	$\delta \rightarrow \frac{V_{netto}}{K(l-b)} \ln \frac{l+z}{b+z}$	$\delta \rightarrow \frac{V_{netto}}{K(b+z)}$	$\delta \rightarrow \infty$	

JORDS STYRKEEGENSKABER

BRUDBETINGELSE – BRUDPARAMETRE

Gl afsn.11, 12, 23 og FN 3.1.3

Mohr's cirkel for spændinger er et nyttigt hjælpemiddel ved beskrivelse af spændingerne i brudtilstanden. I et σ_n, τ_{nt} -koordinatsystem er cirklen det geometriske sted for snitkraftkomposanterne σ_n, τ_{nt} for alle mulige snitretninger gennem punktet, hvor spændingstilstanden undersøges (her i en plan tilstand).

Snitkræfterne på en bestemt t -retning kan findes ved at trække en linie gennem polen P parallelt med snitretningen til skæring med cirklen. Skæringspunktet angiver direkte σ_n , d.v.s. spændingen vinkelret på snitretningen, og τ_{nt} forskydningsspændingen på snitretningen. (Polens beliggenhed bestemmes naturligvis ud fra kendte spændingskomponenter på en given snitretning).

Mohr - Coulomb's brudbetingelse udtrykker, at jorden i et bestemt punkt er i brudtilstand, hvis der netop eksisterer to snitretninger gennem punktet, hvor $|\tau_{nt}| = \sigma_n \tan \varphi + c$. Man kan derfor også sige, at der er brud, når Mohr's cirkel for spændinger netop rører de rette linier $|\tau_{nt}| = \sigma_n \tan \varphi + c$.

Det er meget vigtigt at skelne mellem drænet og udrænet brudtilstand, da styrkeparametrene i de to tilfælde er vidt forskellige.

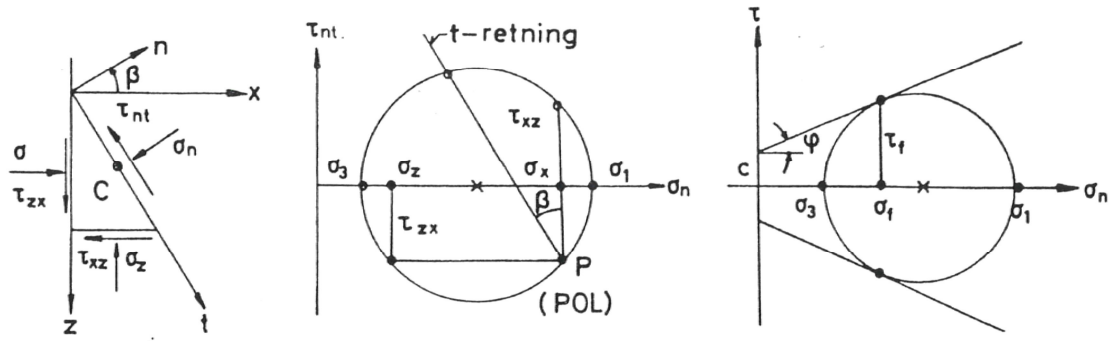
I udrænet brudtilstand benyttes totale spændinger og de udrænedede parametre

$$c = c_u \text{ og } \varphi = \varphi_u = 0.$$

I drænet brudtilstand benyttes effektive spændinger og drænedede (effektive) parametre $c = c'$ og $\varphi = \varphi'$.

For friktionsjord (se side 4) er det uhyre vigtigt at skelne mellem plan og triaksial brudtilstand, idet $\varphi_{pl} \sim 1,1 \varphi_{tr}$.

- * I virkeligheden er også c' forskellig i plan og triaksial tilstand; men da der ikke på nogen simpel måde kan gives en sammenhæng, benyttes indtil videre den triaksiale værdi (hvis der ikke er udført plane forsøg). Det må endvidere understreges, at man ofte forsigtigvis vælger at se bort fra c' , da værdien kan være stærkt apparatafhængig.



Snitkomponenter afbildet ved Mohr's cirkel

Mohr - Coulomb's brudbetingelse

Generel brudbetingelse

$$|\tau_f| = \sigma_f \tan \varphi + c \tag{G1(1101)}$$

Brudbetingelse udtrykt ved hovedspændingerne

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \varphi + c \cos \varphi \tag{G1(1113-14)}$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} + c \frac{2 \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \tag{G1(1115)}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_3 \frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} + c \frac{2 \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \tag{G1(2302)}$$

Brudparametre der indsættes i angivne formler

Parameter	drænet brud	udrænet brud
σ	σ'	σ
φ	<i>triaks.</i> φ'_{tr}	$\varphi_u = 0$
	<i>plan</i> $\varphi'_{pl} \sim 1,1 \varphi'_{tr}$	
c	c'^*	c_u

Skøn af friktionsvinkel: se formelsamling pag.9.

BÆREEVNE AF FUNDAMENTER

BELASTNINGER OG BÆREEVNEKRITERIUM

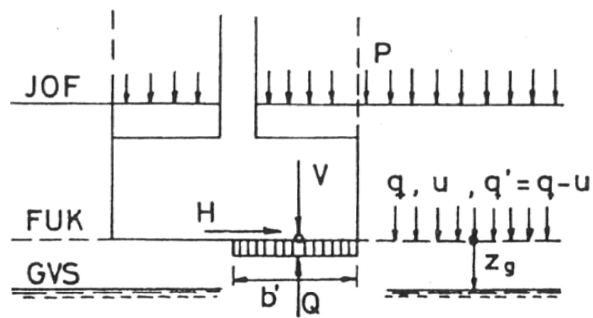
GI afsn.16, 24, G2 afsn.16, Fn 4.1.1

Fundamenters bæreevne beregnes tilnærmet ved superposition af løsninger for γ -, q - og c -tilfældene, der tilsammen udgør bæreevneformlen. Der tages hensyn til belastningens hældning og ekscentricitet, fundamentets dybde under jordoverfladen og jordoverfladens hældning ved i bæreevneformlen at multiplicere henholdsvis γ -, q - og c -leddene med faktorer.

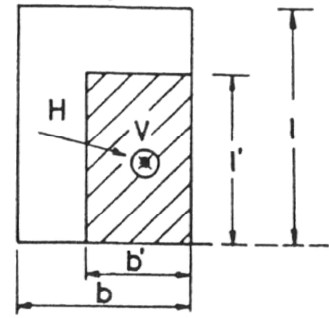
På de følgende sider er det tilstræbt at angive: 1) belastninger og bæreevnekriterier, 2) bæreevneformlen som angivet i funderingsnormen og 3) teoretiske værdier, der afviger fra normernes værdier.

For at kunne bruge bæreevneformlen må man gøre sig klart, at:

- a) Alle faktorer i bæreevneformlen er udledt for plan tøjningstilstand svarende til et stribefundament, hvilket bl.a. medfører, at φ for friktionsjord skal indsættes som φ_{pl} ($= 1,1 \varphi_{tr}$). Afvigelsen fra plan tøjningstilstand ved endelige fundamenter (rektangulære, cirkulære etc.) tages der hensyn til ved hjælp af formfaktorer på γ -, q - og c -leddene.
- b) Principielt skal der benyttes totale spændinger og laster ved udrænet brud. Af hensyn til korrekt beregning af ekscentrisk påvirkede fundamenter er det simplest i alle tilfælde formelt at regne med effektive laster og effektivt overlejringstryk, d.v.s. totale laster og totale spændinger q reduceret med poretrykket i FUK uden for fundamentet.
- c) Værdierne for bæreevnefaktorer etc. angivet i normerne kan fraviges, hvis berettigelsen heraf godtgøres. Derfor er der her angivet dels normernes værdier og dels noternes værdier.
- d) Ved beregning af karakteristiske brudværdier anvendes karakteristiske laster og brudparametre (svarer til eftervisning af indtrådt brud, modelforsøg o.lign.).
- e) Ved beregning af regningsmæssige brudværdier anvendes regningsmæssige laster og brudparametre (svarer til dimensionering).



Snit gennem fundament



Plan af fundament

BELASTNINGER

Total lodret last på FUK	V	inklusive jord etc. afgrænset ved lodrette flader omkring fundamentet
Total vandret last i funderingsniveau	H	
Total spænding i funderingsniveau uden for fundamentet	q	den <u>mindste</u> værdi på de to sider af fundamentet
Poretryk i funderingsniveau	u	uden for fundamentet
	u_m	middelværdi under fundamentet
Effektiv rumvægt i bæreevneformel, når GVS er i afstand z_g fra FUK	γ	γ' for $z_g < 0$ γ_d for $z_g > b$ $\gamma' + \frac{z_g}{b}(\gamma_d - \gamma')$ for $0 < z_g < b$
(Lodret komponent af) Bærevnen	Q	normalt effektiv; kan være total (Q_t) ved central belastning i udrænet tilstand
Effektivt areal	A'	$= b' \cdot l'$ ækvivalent rektangel symmetrisk om angrebepunktet for V .

BÆREEVNEKRITERIUM

brudtilstand		Stribefundament (Q, V og H er last pr. m)	rektangulært	γ	q
drænet		$Q \geq V - u_m b'$	$Q \geq V - u_m b' l'$	γ'	q'
udrænet	Central last	$Q_t \geq V$	$Q_t \geq V$	γ	q'
	generelt	$Q \geq V - u b'$	$Q \geq V - u b' l'$	γ'	q'

BÆREEVNEBEREGNING EFTER FUNDERINGSNORMEN

Fundamenter med vandret belastning skal også undersøges for glidning:

$$\varphi > 0: \quad H < A'c + V \tan \varphi_{PL}$$

$$\varphi = 0: \quad H < A'c_u$$

Bemærk, at den effektive fundamentsflade A' (b' for stribefundament) er bestemt således, at den er centralt påvirket af den regningsmæssige last med fradrag for eventuel opdrift. Den effektive fundamentsflade omformes til et skønnet ækvivalent rektangel med sidelængde b' og l' ($b' < l'$). For et centralt påvirket cirkulært fundament med diameter D er således: $b' = l' =$

$$D \sqrt{\frac{\pi}{4}}$$

Tabel over bæreevnefaktorer

φ	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
N_γ	2,8	4,0	5,5	7,6	10,6	14,8	20,6	29,0	41,1	58,9	85,6	126	190	291
N_q	6,4	7,8	9,6	11,9	14,7	18,4	23,2	29,4	37,8	48,9	64,2	85,4	115	159
N_c	14,8	16,9	19,3	22,3	25,8	30,1	35,5	42,2	50,6	61,4	75,3	93,7	118	152

NB: I normen angiver A , b og l effektivt areal, bredde og længde af fundamentet. Her er benyttet streger over symbolerne for at tydeliggøre, at det er effektive størrelser.

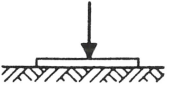
Ved skrå ekscentrisk belastning virker H stabiliserende ($i > 1$), når den vender mod den fjerneste kant.

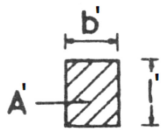
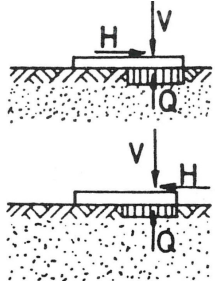
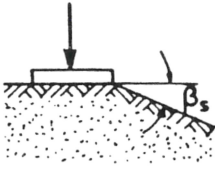
Ved fundering op til en skråning, der hælder β_s med vandret (positiv, når overfladen falder væk fra fundamentet) kan der på den sikre side anvendes de angivne skråningsfaktorer g .

For stærkt ekscentrisk påvirkede fundamenter ($b' < 0,4 b$) undersøges det, om multiplikation af γ – og c – led med henholdsvis 2 og $(1,05 + \tan^3 \varphi)$ samt bortkastning af q – leddet er farligere end den normale bæreevneberregning.

Generel bæreevneformel	$\frac{Q}{A'} = \frac{1}{2} \gamma' b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma g_\gamma + q' N_q s_q i_q g_q + c N_c s_c i_c g_c$
Vandret terræn og $c = 0$ (sand og grus)	$\frac{Q}{A'} = \frac{1}{2} \gamma' b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma + q' N_q s_q i_q$
Vandret terræn og $\varphi = 0$ (korttidsbæreevne af ler)	$\frac{Q}{A'} = c_u N_c^o s_c^o i_c^o + q'$ NB! se note b side 26

BÆREEVNEFAKTORER

	$N_\gamma = F(\varphi) \left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{\frac{3\pi}{2} \tan \varphi} - 1 \right)$ $F(\varphi) \approx 0,08705 + 0,32310 \sin 2\varphi - 0,04836 \sin^2 2\varphi$	G1(1612)
	$N_q = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{\pi \tan \varphi}$	G1(1609)
	$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$	G1(1610)
	$N_c^o = \pi + 2 = 5,14$	G1(1606)

Lasttilfælde	Bæreevneled		
	γ	q	c
	$s_\gamma = 1 - 0,4 \frac{b'}{l'}$	$s_q = 1 + 0,2 \frac{b'}{l'}$	$s_c = s_c^o = s_q$
	$i_\gamma = i_q^2$	$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A'c \cot \varphi} \right)^2$ $i_q = 1 + \frac{H}{V + A'c \cot \varphi}$	$i_c^o = 0,5 + 0,5 \sqrt{1 - \frac{H}{A'c_u}}$ $i_c = \sqrt{0,5 + 0,5 \sqrt{1 + \frac{H}{A'c_u}}}$ $i_c = i_q$
	$g_\gamma \sim g_q$	$g_q \sim 1 - \sin 2\beta_s$	$g_c \sim e^{-2\beta_s \tan \varphi}$ <p>$\varphi = 0$: subtraher $2\beta_s c_u$ (β rad.)</p>

For stribefundamenter: A' erstattes med b' og $s = 1$ pr.definition

BÆREEVNE EFTER FORELÆSNINGSNOTATERNE

NB: Ved fravigelse af funderingsnormens værdier skal det dokumenteres, at det er forsvarligt.

I plan tøjningstilstand (stribefundament) kan værdierne af $N_q i_q$, $N_c i_c$, $N_q i_q g_q$ og $N_c i_c g_c$ svarende til central belastning på jordoverfladen beregnes eksakt og angives explicit. $N_\gamma i_\gamma$ og $N_\gamma i_\gamma g_\gamma$ kan også beregnes eksakt, men kan ikke angives explicit. N_γ , N_q , N_c , $N_\gamma i_\gamma$, $N_q i_q$ og $N_c i_c$ er angivet på siderne 32 - 35 med anvendelse af samme betegnelser som her.

Bemærk, at

- γ -leddet ikke forsvinder ved udrænnet brud i ler, $\varphi = 0$, når der er hældende jordoverflade.
- ved hældende jordoverflade med vandspejl, der gennemskærer brudfiguren, må der defineres en middelværdi af q' på basis af brudfigurens udstrækning.
- glidningskriteriet er indbygget i de angivne formler, idet der fås $\sin v > 1$, når fundamentet glider.
- anvendelse af dybdefaktorer forudsætter, at jorden over FUK har samme styrke som under FUK, samt kontakt mellem jord og fundamentssider. Dybdefaktorerne er udeladt af Funderingsnormen (på den sikre side). Værdierne her er fundet for udrænnet ler (nyere beregning) og afviger fra G1(1636), der er på den usikre side.

Regne- og hjælpeformler:

lodret last	$V' = \begin{cases} V + A'c \cot \varphi & \text{for rektangulære fundamenter} \\ V + b'c \cot \varphi & \text{for stribefundamenter} \end{cases}$	G1(1642) G1(1616)
hældning af last	$\sin v = \begin{cases} \frac{H}{A'c} & \text{for } \varphi = 0 \\ \frac{\sin \delta}{\sin \varphi} & \text{for } \varphi > 0; \tan \delta = \frac{H}{V'} \end{cases}$	G1(1628) G1(1622, 1618)
	$\psi = v + \delta$	G1(1623)
	$2\psi_1 = -\delta + \arccos \frac{\sin \delta}{\sin \varphi}$	G2(1515)
hældning af overflade	$\left. \begin{aligned} \tau_0 &= q' \sin \beta_s \cos \beta_s \\ \sigma'_0 &= q' \cos \beta_s + c \cot \varphi \end{aligned} \right\} \quad \tan \beta_0 = \frac{\tau_0}{\sigma'_0}$	G2(1508, 09)
	$2\psi_0 = \beta_0 + \arccos \frac{\sin \beta_0}{\sin \varphi}$	G2(1510)
$\varphi = 0$	$\cos 2m_t = \frac{q'}{c} \sin \beta_s \cos \beta_s$	G2(1522)
	$\cos 2m_1 = \frac{H}{A'c}$	

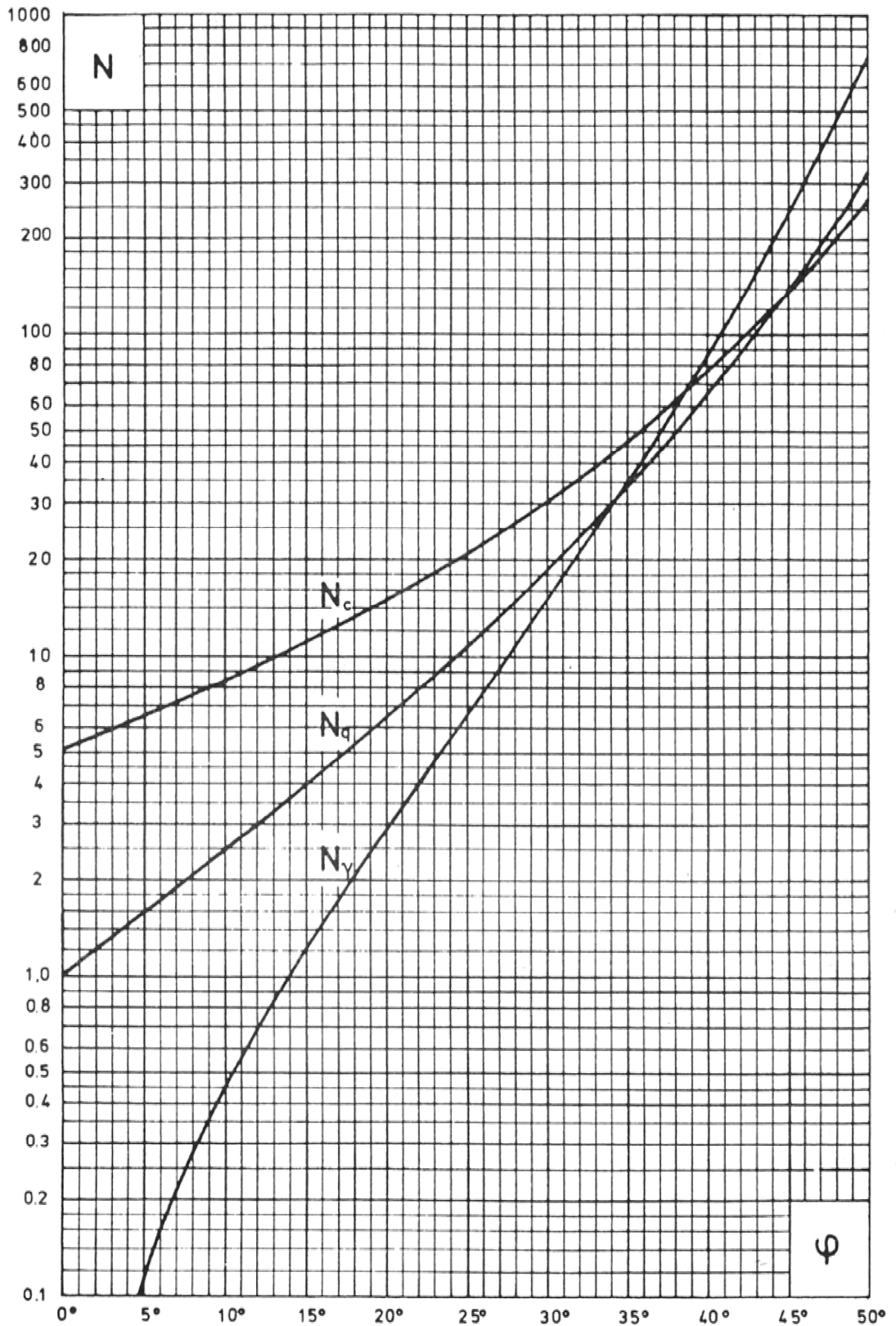


Diagram 1: Bæreevnemfaktorer for lodret, centralt belastet stribefundament på jordoverfladen (svarende til såvel norm som notater).

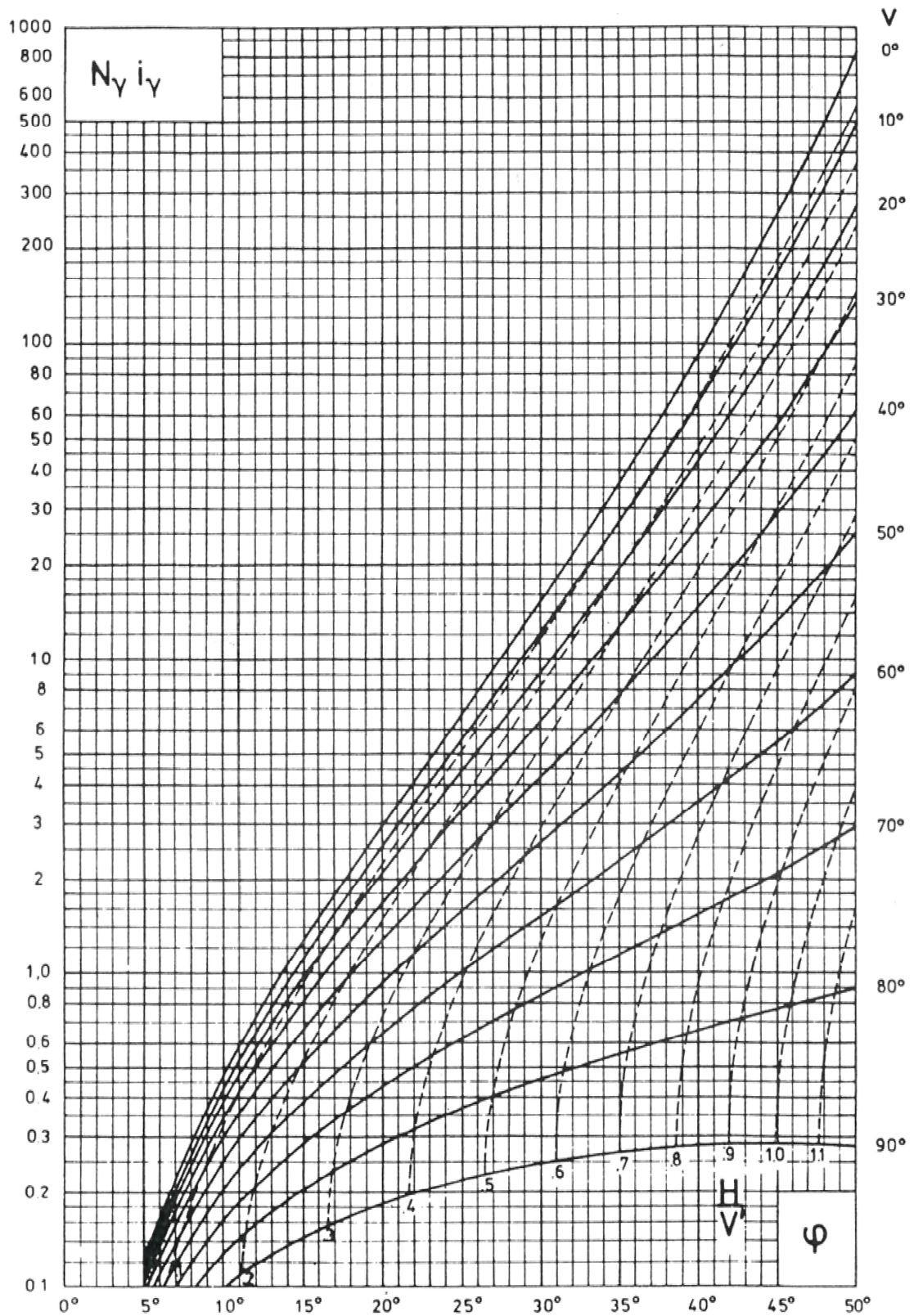


Diagram 2: Bæreevne af skråt, centralt belastet stribevundament på jordoverfladen i γ -tilfældet (svarende til notater).

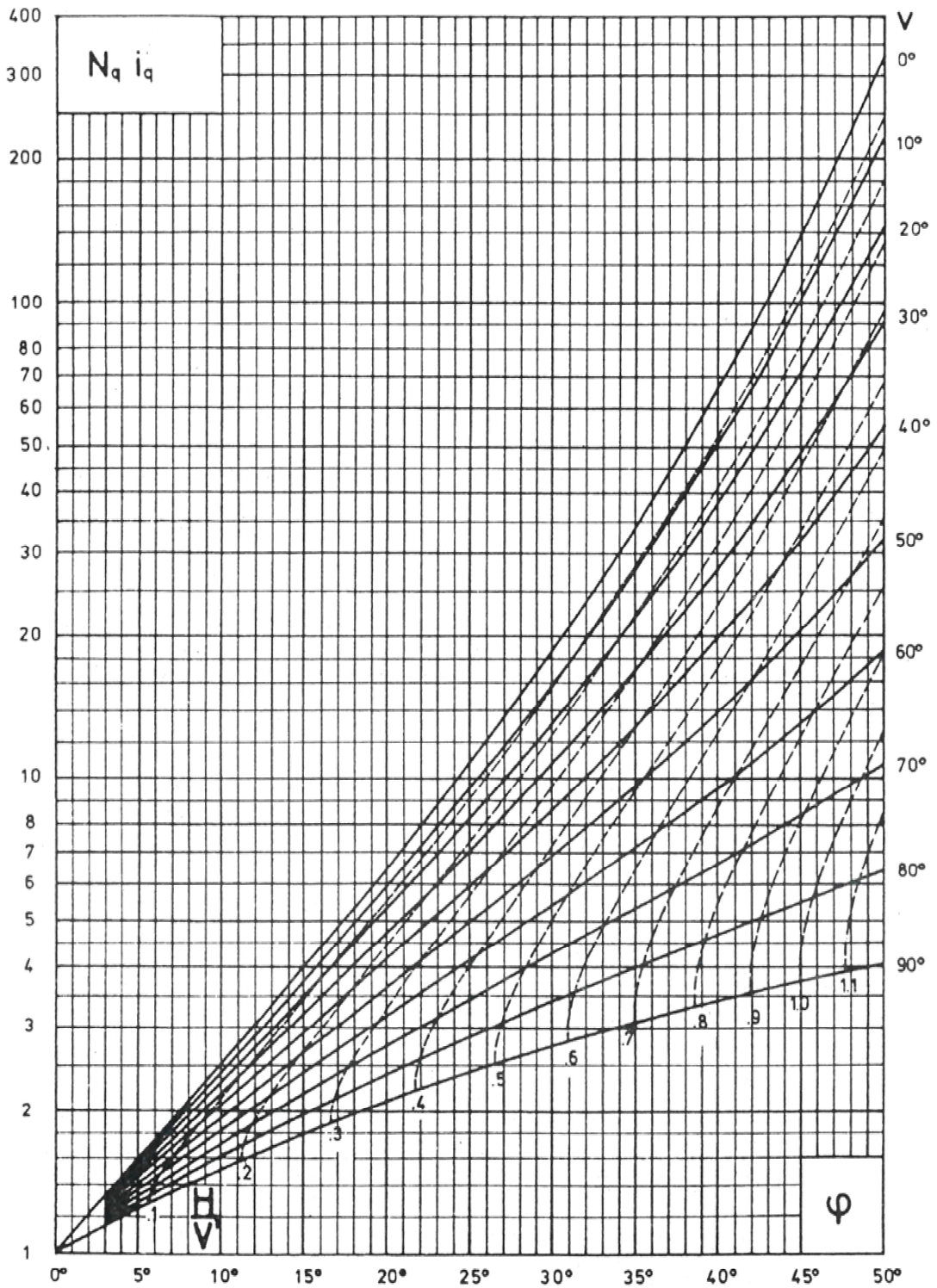


Diagram 3: Bæreevne af skråt, centralt belastet sribefundament på jordoverfladen i q -tilfældet (svarende til notater).

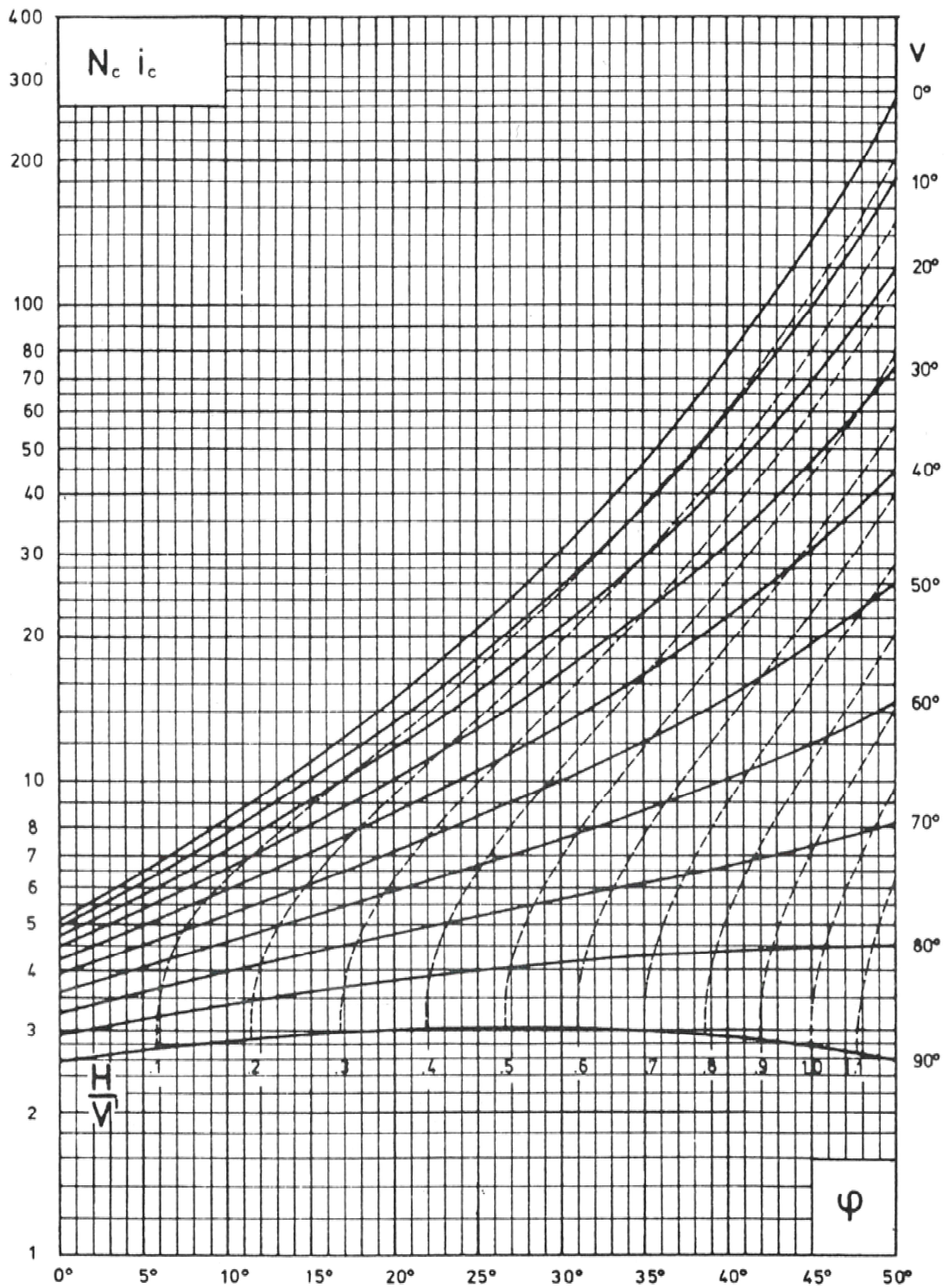


Diagram 4: Bæreevne af skråt, centralt belastet stribefundament på jordoverfladen i c -tilfældet (svarende til notater).

BÆREEVNE AF ENKELTPÆLE

RAMMEFORMEL

G1 afsn.26, 27, 28 Fn 4.3

Bæreevnen af en enkeltpæl vedrører dels bæreevnen af pæletværsnittet og dels bæreevnen betinget af jordens styrke. Sidstnævnte kan bestemmes ved: Vurdering af rammemodstanden, geostatisk beregning og prøvebelastning.

Ved rammemodstand, geostatisk beregning og prøvebelastning bestemmes altid karakteristiske brudværdier (karakteristiske værdier af φ og c indsættes i de geostatiske bæreevneformler). De regningsmæssige bæreevner fås heraf ved division med partialkoefficienten f_b .

Anvendelse af rammeformlen kræver:

- 1) Pælespiden står i friktionsjord (kan fraviges i lav projektklasse: Fn 4.3.2.3).
- 2) For pæle kortere end 20 gange sidelængden indsættes middelværdien af faktisk pælelængde og 20 gange sidelængden.
- 3) Elasticitetskoefficienter indsættes som:

Jernbeton	$E = 2 \cdot 10^7$ kN/m ²
Træ	$E = 10^7$ kN/m ²
Stål	$E = 21 \cdot 10^7$ kN/m ²

- 4) Effektivitetsfaktoren η for almindelige faldhamre

$$\eta = \eta_0 (1 - \mu \tan \theta)$$

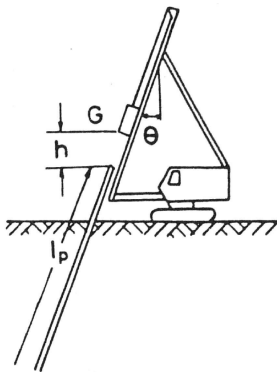
$\eta_0 = 0,7$ á $0,95$ afhængig af spil, mægler, hammer etc.

$\mu \sim 0,1$ á $0,4$

uden direkte måling: $\eta_0 \sim 0,7$ og $\mu \sim 0,4$

For dieselhamre etc. se normen afsn.4.3.2.3

For rimeligt økonomisk ramning bør der vælges en tungere hammer end strengt nødvendigt, helst f.eks. svarende til $Q_d/Q_0 < 0,8$.



A (m ²)	pælens tværsnitsareal
G (kN)	hammerens vægt
G_p (kN)	pælens vægt
E (kN/m ²)	elasticitetskoefficient af pælematerial
Q_d (kN)	enkeltpælens samlede bæreevne
Q_0 (kN)	enkeltpælens bæreevne svarende til $s = 0$
h (m)	hammerens lodrette faldhøjde
l_p (m)	pælens fulde længde
s (m)	blivende sætning pr.ramslag
η	effektivitetsfaktoren
σ_p (kN/m ²)	pælematerialets karakteristiske brudstyrke
θ	pælehældning med lodret

Den danske rammeformel

$$Q_d = \frac{\eta h G}{s + \frac{1}{2} s_0} \quad s_0 = \sqrt{2 \eta h G \frac{l_p}{A E}} \quad \begin{array}{l} \text{G1(2806)} \\ \text{G1(2805)} \end{array}$$

$$Q_0 = \frac{\eta h G}{\frac{1}{2} s_0} = \sqrt{2 \eta h G \frac{A E}{l_p}} \quad \text{G1(2804)}$$

Overranningsrisiko (knusning), hvis:

$$\frac{Q_0}{A} \sqrt{\frac{G_p}{G}} > \sigma_p \quad \text{eller} \quad \frac{Q_d}{A} > \sigma_p$$

Hensigtsmæssig ramning forudsætter:

$$Q_d \lesssim 0,9 Q_0 \quad \text{svarende til} \quad s > 0,01 s_0 \quad \text{G1(2812,13)}$$

GEOSTATISK BÆREEVNEBEREGNING

Ved en geostatisk bæreevneberegning findes bæreevnen af en enkeltpæl på grundlag af oplysninger om jordens karakteristiske brudparametre c og φ samt lagtykkelser af de lag, pælen gennemskærer. For trykpæle fås dels spidsmodstand Q_p , dels overflademodstand Q_m (summeret over alle gennemskårne lag), mens der for trækpæle kun optræder Q_m .

For sprækket ler skal den af sprækkerne reducerede værdi for c_u anvendes ved beregning af spidsmodstanden, mens $c_u \sim c_v$ (vingestyrken) anvendes ved beregning af overflademodstanden.

For pæle, hvor overflademodstanden er dominerende (trykpæle i ler og trækpæle), skal gruppevirkningens indflydelse på brudsikkerheden undersøges.

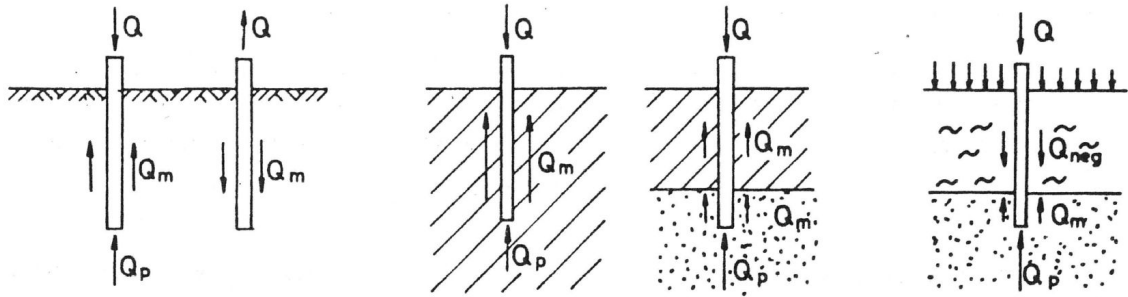
Normalt kan der ses bort fra gruppevirkning, hvis:

- a) centerafstanden mellem nabopæle er > 3 á 5 gange pælens mindste sidelinie
- b) pælegruppens omkreds mindst er lig summen af enkeltpælernes omkreds.

Pæletværsnittet

Den regningsmæssige bæreevne for pæletværsnittet skal kontrolleres ved hjælp af DS 411 (V 6.4.1.2) for både normal og ækvivalent brudbelastning (normal geostatisk bæreevne) og bæreevne med hensyn til evt. negativ overflademodstand, se Fn 4.3.3).

Pælen skal endvidere undersøges for løftning og transport (se Gl afsn.26.4). I denne undersøgelse indføres pælens egenvægt i beregningen med en stødfaktor 2,0 i en ækvivalent brudundersøgelse.



spidsmodstand Q_p og
overflademodstand Q_m for tryk-
og trækpæle

kohæsionspæl

spidsbærende
pæl

pæl med negativ
overflademodstand
 Q_{neg}

Betegnelser

ΔA_m	pælens overfladeareal i betragtet jordlag	
A_p	pælens spidsareal	
N_q	bæreevnefaktor som ved bæreevne af fundamenter ($\varphi = \varphi_k$)	
c_u	udrænet karakteristisk forskydningsstyrke	
m	materialefaktor $\begin{cases} \sim 1 & \text{for beton og træ} \\ 0,7 & \text{for stål} \end{cases}$	G1(2607)
r	regenerationsfaktor $\begin{cases} \sim 0,4 & \text{ved manglende bestemmelse} \\ \sim 1 & \text{ved negativ overflademodstand} \end{cases}$	
q'_m	effektivt lodret overlejringsstryk i midte af betragtet lag	
q'_p	effektivt lodret overlejringsstryk ved pælespidsniveau	

Bæreevne af enkeltpæl

	$Q = Q_p + \Sigma \Delta Q_m$		G1(2601)
$c = 0$ sand, grus	Q_p	ΔQ_m	
	$2N_q q'_p A_p^*$	$0,6 q'_m \Delta A_m$	
$\varphi = 0$ ler, udrænet	normalt: $9c_u A_p$	$m r c_u \Delta A_m$	G1(2602-06)
	fast moræneler: $18c_u A_p$		

- * Normalt kun fuld spidsmodstand, hvis jordlaget findes i en tykkelse på mindst 3 gange pælens mindste tværmål under pælespidsen og mindst 5 gange over denne.

NEGATIV OVERFLADEMODSTAND

For pæle, der rammes gennem stærkt sætningsgivende lag, kan overflademodstanden i lagene falde bort. I stedet fås ekstralaster fra sammentrykning af lagene forårsaget af overfladelaster, opfyldninger, grundvandssænkning etc.

Som vist på figurerne til højre, skelnes der mellem tillægslast (overført direkte til skrå eller vandrette konstruktionsflader) og negativ overflademodstand, der er adhæsion/friktion på lodrette konstruktionsflader (hovedsageligt pælene).

Den negative overflademodstand er den mindste af følgende to værdier:

$$Q_{neg} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1) \text{ Geostatisk beregnet overflademodstand i aflejringerne over de bæredygtige lag.} \\ 2) \text{ Sætningsgivende last virkende over flader hældende 1:2 med lodret gående gennem pæletværsnittets skæring med de bæredygtige lags overflade minus den del af den sætningsgivende last, der indgår i tillægslasten.} \end{array} \right.$$

Der skal kun medtages den del af den sætningsgivende last, der vil forøge effektive spændinger i de sætningsgivende lag efter pælernes nedføring.

For et sætningsgivende lag, der er færdigkonsolideret og uden krybning, når pælene nedføres, bidrager kun de påfølgende belastningsændringer til den negative overflademodstand (se figuren yderst til højre).

En sætningsgivende lag, der ikke er færdigkonsolideret på tidspunktet, hvor pælene nedføres, vil give anledning til negativ overflademodstand som vist på figuren til venstre.

ZONEBRUDBEREGNING**JORDTRYK PÅ LODRET VÆG, VANDRET JORDOVERFLADE**

Gl afsn.13, G2 afsn.13, Fn 4.4.1

Plan tøjningstilstand er forudsat ved alle jordtryksformler

Den simpleste jordtryksberegning fås, når der udvikles fuld brudtilstand (zonebrud) i jorden langs hele væggen. Det forudsætter, at væggen parallelforskydes eller roterer omkring et punkt under fodpunktet. Zonebrudsberegning benyttes typisk ved beregning af støttemure.

De angivne formler gælder for homogen og isotrop jord med konstant rumvægt γ og styrkeparametre φ og c .

Der kan tilnærmet tages hensyn til lagdeling ved at beregne jordtrykskoefficienterne for hvert lag med de lokalt gældende parametre, mens det er det faktiske overlejringstryk $\sum \gamma d$ eller $\sum \gamma' d$, der indgår i γ -leddet.

Det er meget vigtigt ved beregning i drænet brudtilstand at forstå, at de beregnede jordtryk e' er effektive.

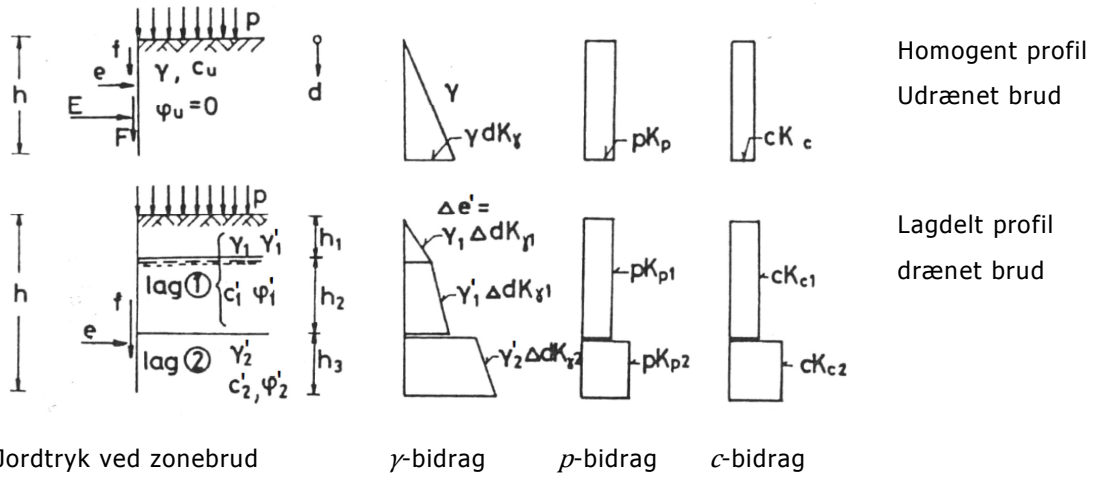
De totale jordtryk e fås derfor ved addition af vandtrykket u på væggen!

Passiv brudtilstand svarer til, at væggen bevæger sig ind imod jorden, mens den ved aktiv brudtilstand bevæger sig væk fra jorden. I formlerne foretages denne skelnen ved at benytte hhv positive og negative værdier af brudparametrene.

Findes negative jordtryk, ses der bort fra disse. (Desuden overvejes konsekvensen af fuldt vandtryk ved dannelse af en vandfyldt sprække: måske bør heller ikke e' blive negativ).

På side 44 er zonebrudskoefficienterne K_γ , K_p og K_c vist for lodret væg og vandret jordoverflade som funktion af φ (φ positiv i diagrammet).

Der benyttes følgende	}	$a = \text{aktiv};$	$s = \text{smooth} = \text{glat}$
superskript på K		$p = \text{passiv};$	$r = \text{rough} = \text{ru}$



Generelt

udrænet	$e = \Sigma (\gamma d) K_\gamma + p K_p + c_u K_c ; f = a_u$	G2(1307)
drænet	$e' = \Sigma (\gamma' d) K_\gamma + p' K_p + c' K_c$ $e = e' + u ; f = e' \tan \delta' + a'$	

Zonebrudskoefficienter (lodret væg, vandret jord)

glat væg $a = c = 0$	$\varphi \neq 0$	$\varphi = 0$	
K_γ	$K_\gamma = K_p$	1	G1(1302-03) G1(1311)
K_p	$\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$	1	
K_c	$(K_p - 1) \cot \varphi$	2	
ru væg $a = c, \delta = \varphi$	$\varphi \neq 0$	$\varphi = 0$	
K_γ	$\approx K_p + 0,007 (e^{9 \sin \varphi} - 1)$	1	G1(1317-19)
K_p	$(1 + \sin \varphi) e^{\frac{\pi}{2} + \varphi} \tan \varphi$	1	
K_c	$(K_p - 1) \cot \varphi$	$\frac{\pi}{2} + 1 \sim 2,57$	
passiv brudtilstand: indsæt φ, c, a positive aktiv brudtilstand: indsæt φ, c, a negative			

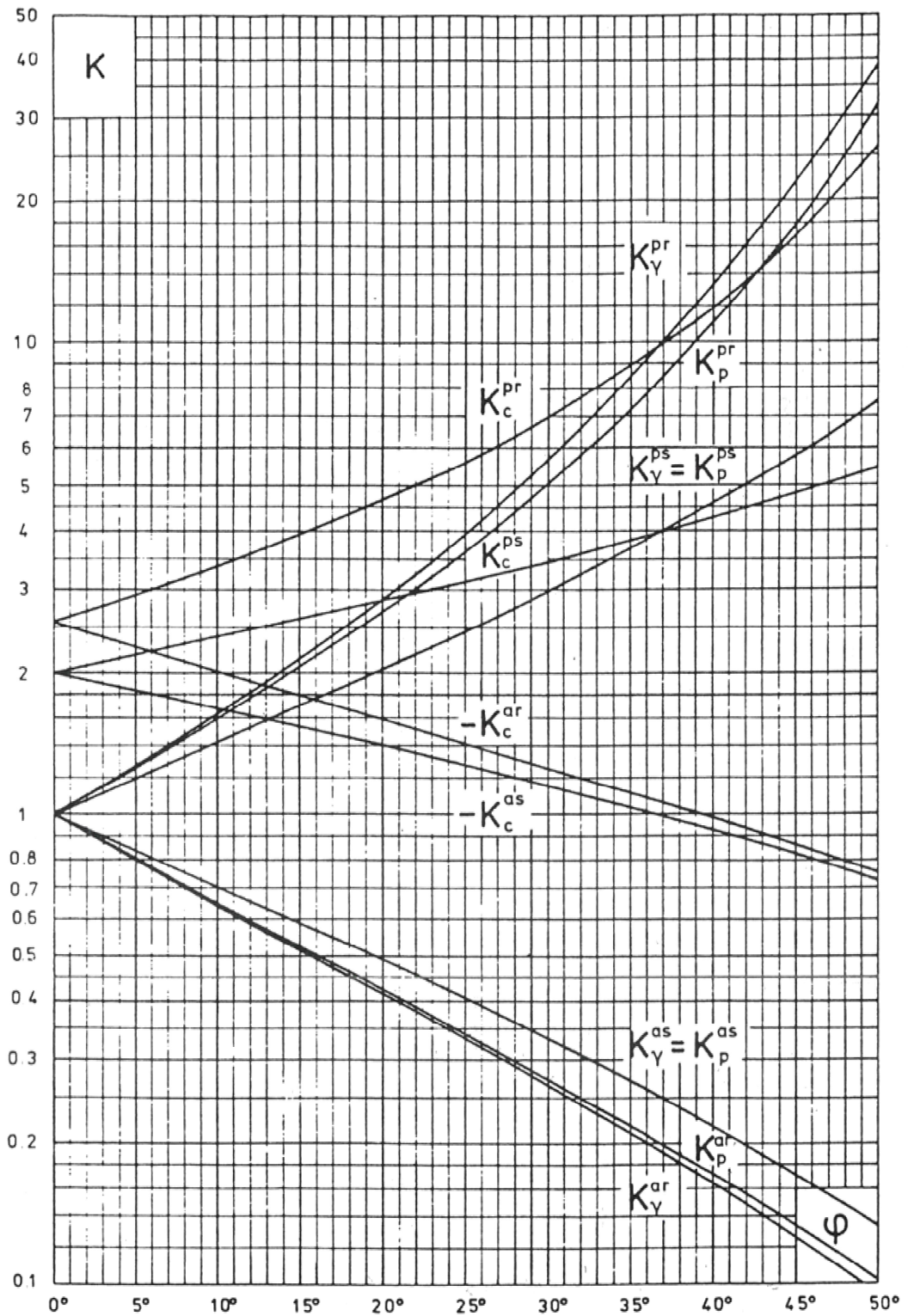
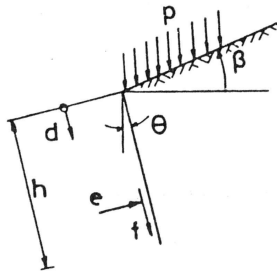


Diagram 5: Jordtrykskoefficienter svarende til zonebrud for lodret væg og vandret jordoverflade (benyt altid ϕ positiv i diagram).

JORDTRYK PÅ HÆLDENDE VÆG, SKRÅ JORDOVERFLADE



p kN/m	overfladelast pr.m ² vandret areal
β	overfladehældning; positiv når overfladen stiger væk fra væggen
θ	væghældning; positiv når vinklen mellem væg og vandret målt gennem jord < 90°
k_r	Ruhedsforholdet = $\tan \delta / \tan \varphi = a/c$ forudsættes kendt.

JORDTRYKSKOEFFICIENTER for $\theta \neq 0$ og $\beta \neq 0$:

(samme bemærkninger som for lodret væg og vandret jordoverflade)

Definer β_0 og find m_t og m_w .

Formlerne gælder kun, når $v_0 - v_1 = m_t + \beta - m_w - \theta \geq 0$

$$\tan \beta_0 = \frac{p \sin \beta \cos \beta}{p \cos^2 \beta + c \cot \varphi} \quad \text{eller} \quad \beta_0 = \beta \begin{cases} \text{for } c = 0, \text{ samt} \\ c = p = 0 \end{cases} \quad \text{G2(1317)}$$

$\varphi \neq 0$	$\cos(2m_t + \varphi + \beta_0) = -\frac{\sin \beta_0}{\sin \varphi}$	G2(1318)
	$\cos(2m_w + \varphi + \delta) = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi}$	G2(1321)
	$K = \frac{1 + \sin \varphi \sin(2m_w + \varphi)}{1 - \sin \varphi \sin(2m_t + \varphi)} e^{2(v_0 - v_1) \tan \varphi}$	G2(1326)
	$K_p = K \cos^2 \beta$	G2(1328)
	$K_c = (K_p - 1) \cot \varphi$	G2(1329)
	$K_y \approx \left[\frac{K_p(c=0)}{\cos \beta} + 0,007(e^{9 \sin \delta} - 1) \right] \cos(\beta - \theta)$	G2(1330)
s	$\cos 2m_t = -\frac{p}{c} \sin \beta \cos \beta$	G2(1319)
	$\cos 2m_w = \frac{a}{c}$	G2(1322)
$\varphi = 0$	$K_p = \cos^2 \beta$	G2(1323-24)
	$K_c = 2(v_0 - v_1) + \sin 2m_t + \sin 2m_w$	
	$K_y \approx \cos \theta + \frac{\sin \beta \cos m_w}{\sin m_t}$	

JORDTRYKSBEREGNING FOR SPUNSVÆGGE

JORDTRYKSFORDELING

(Lodret væg med vilkårligt omdrejningspunkt, vandret JOF)

G2 afsn.17 - 18.

På de følgende sider gennemgås fremgangsmåden ved anvendelse af Brinch Hansen's jordtryksteori. Det bemærkes, at teorien er generelt anvendelig og kan benyttes ved hældende væg og skrå jordoverflade.

Her betragtes kun lodret væg og vandret jordoverflade, hvor der er udviklet diagrammer over de nødvendige jordtrykoefficienter (se siderne 50 - 57) for grundtilfældet: en stiv væg, der roterer omkring et punkt p_h over fodpunktet.

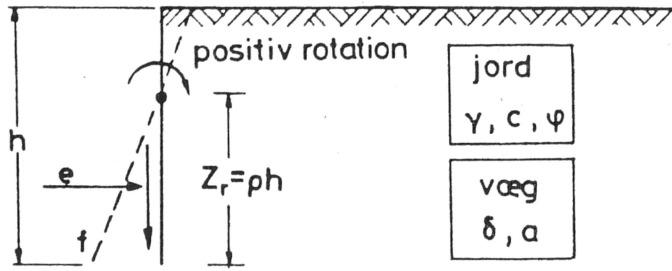
Jordtryksfordelingen for grundtilfældet afhænger af omdrejningspunktets beliggenhed ($z_r = p_h$ over fodpunkt) og rotationsretningen.

For $\rho = z_r/h > 0$ har jordtryksfordelingen et trykspring (diskontinuitet) i højden $z_j = \xi h$ over væggen fodpunkt. Over trykspringet benyttes jordtrykoefficienterne K^x og under trykspringet K^y . Tangentialjordtrykket er positivt, når det virker nedad på jorden.

Jordtrykoefficienterne K^x og K^y samt ξ findes af diagrammerne side 50 - 57. Bemærk, at φ og c her indsættes positive, idet rotationsretningen bestemmer fortegnet på K_c og korrekt valg af K_γ , K_p og K_c .

Ved lagdelt jord anvendes i ethvert jordlag de jordtrykoefficienter, man ville have, hvis det pågældende lag fandtes i hele væghøjden (bemærk dog, at det er det samlede faktiske overlejringstryk $\Sigma \gamma d$ eller $\Sigma \gamma' d$, der skal benyttes ved γ -leddet).

Husk at indsætte $\varphi_u = 0$, $c = c_u$ og γ (total) ved udrænet brud, og effektive parametre φ' , c' og γ' ved drænet brud. I drænet brudtilstand beregnes vandtrykket separat, idet der tages hensyn til eventuel strømning (der også påvirker γ').



Grundtilfælde for jordtryksberegning

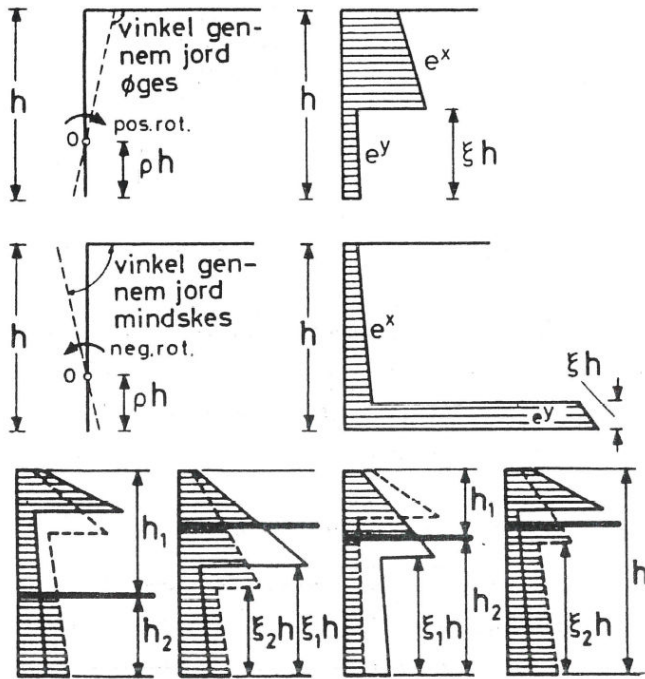
Omdrejningspunkt

$$p = \frac{Z_r}{h} \quad G2(1711)$$

Trykspring ($\rho > 0$)

$$z_j = \xi h \quad G2(1712)$$

over fodpunkt



Jordtryksfordeling positiv rotation $e^x > e^y$

Jordtryksfordeling negativ rotation $e^x < e^y$

Jordtryksfordeling for lagdelt jord (positiv rotation)

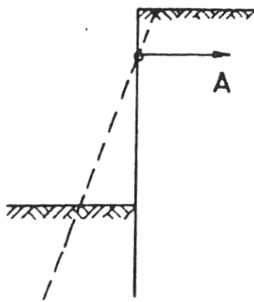
Jordtryksfordeling

$e^x = \Sigma \gamma d K_\gamma^x + p K_p^x + c K_c^x$	G2(1713)
$e^y = \Sigma \gamma d K_\gamma^y + p K_p^y + c K_c^y$	G2(1714)

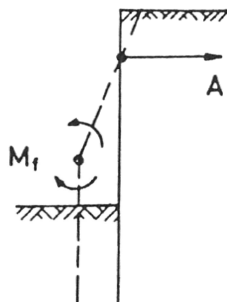
$f^x = \gamma d K_\gamma^x \tan \delta_\gamma + (p K_p^x + c K_c^x) \tan \delta_p + a$	G2(1715)
$f^y = \gamma d K_\gamma^y \tan \delta_\gamma + (p K_p^y + c K_c^y) \tan \delta_p + a$	G2(1716)
δ_γ, δ_p og a/c ens over og under trykspring	

JORDTRYKSBEREGNING FOR SPUNSVÆGGE MED FLYDECHARNIERER

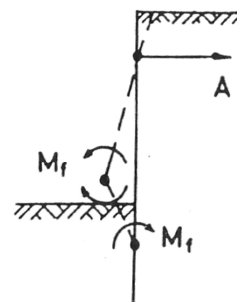
Ved hjælp af Brinch Hansen's jordtryksteori er det muligt at undersøge forskellige brudmåder (f.eks. 0,1 eller 2 flydecharnierer) for samme spunsvæg, hvorefter den mest økonomiske kan vælges.



stiv væg



væg med ét charnier



væg med to charnierer

Jordtryksfordelingen findes ved hjælp af grundtilfældet: stiv væg, der roterer omkring et punkt ρh over fodpunktet. Hver vægdel betragtes for sig med separate værdier af ρ og fortegn på rotationen. Bemærk, at disse størrelser vil være forskellige for samme vægdel på de to sider af væggen.

For den anden vægdel fra oven (der bevæger sig) gælder den specielle regel, at:

- Jordtrykket på øverste halvdel af nedre vægdel beregnes svarende til øvre vægdels bevægelse, men for de faktiske jordlag (γ og K^y -værdier for φ , c ved nedre vægdel, men for øvre vægdels bevægelse, d.v.s. ρ , rotation).
- Jordtrykket på nedre halvdel af nedre vægdel beregnes svarende til nedre vægdels bevægelse og jordlag.

Spunsvægge regnes normalt fuldstændig ru, med mindre der er foretaget specielle foranstaltninger, f.eks. tjæring.

Bemærk dog, at optagelse af lodrette kræfter, f.eks. fra skrånkræ, kan medføre, at væggens ruhed ikke kan udnyttes fuldt ud.

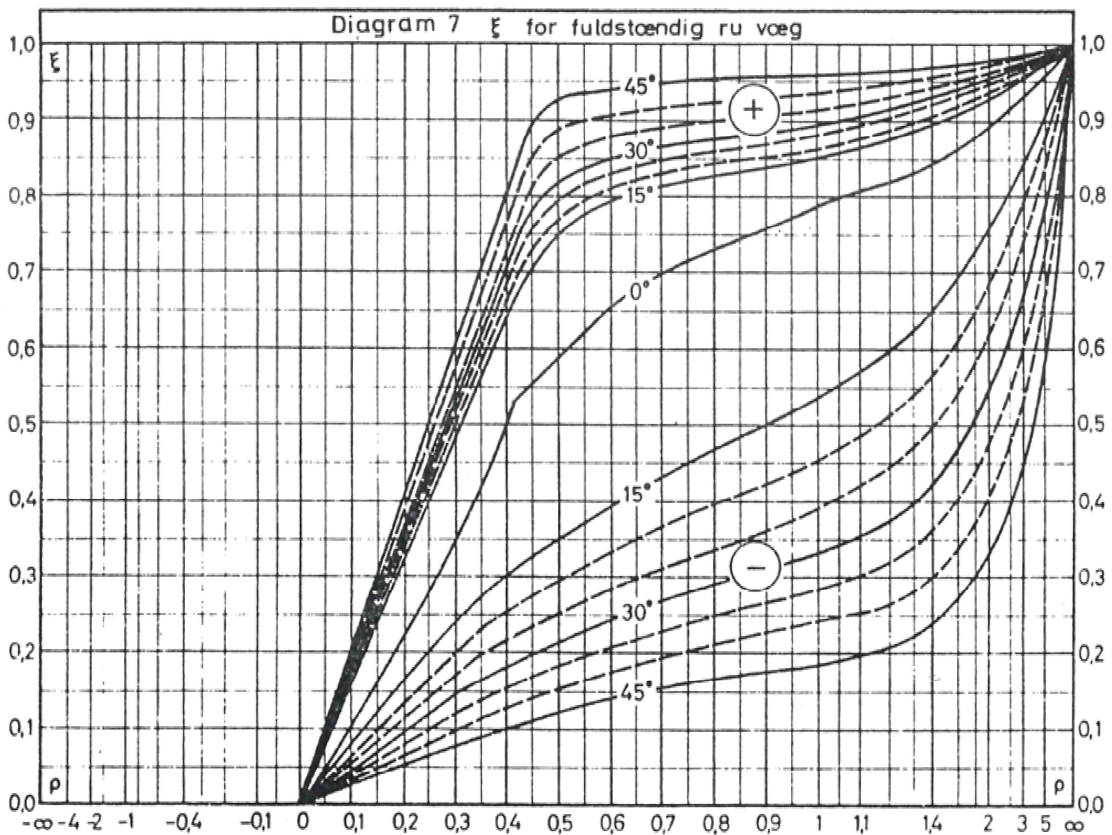
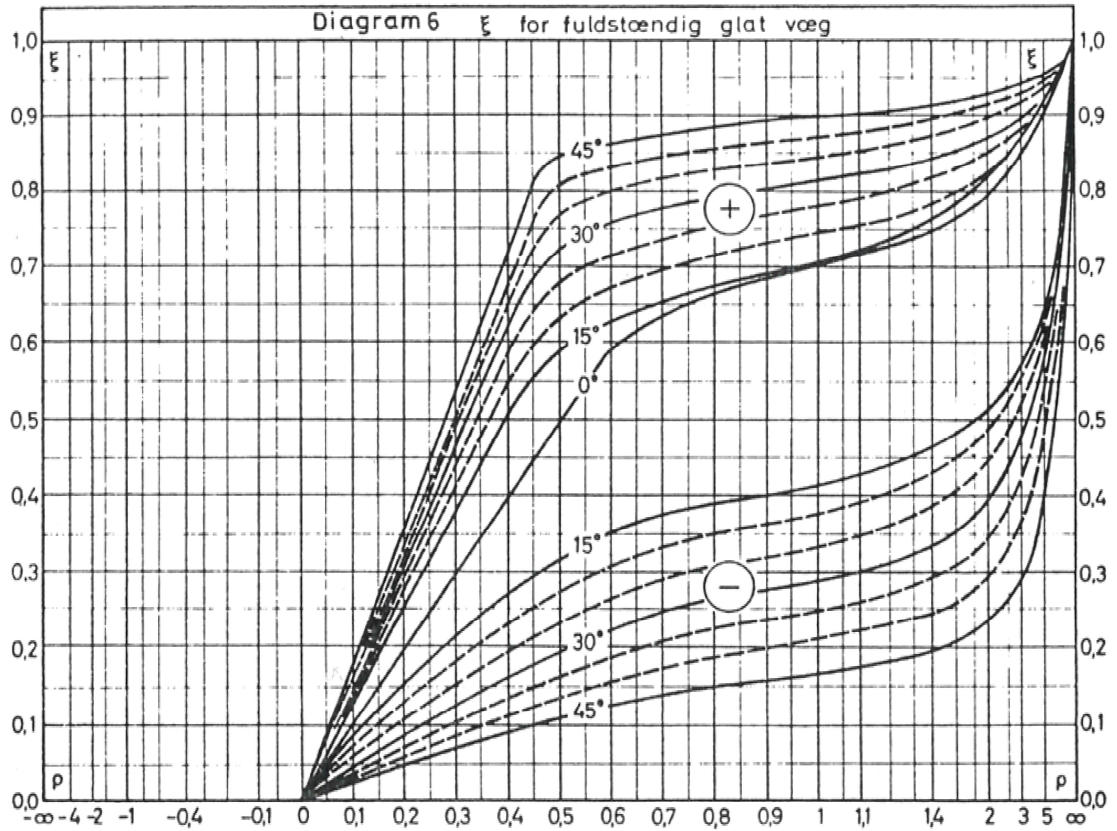
Principielt skal også den lodrette ligevægt af spunsvæggen undersøges. Det er normalt kun nødvendigt ved betydelige lodrette kræfter (skrånkræ, kranlast). Ved denne undersøgelse kan det spidsbærende areal tilnærmet beregnes svarende til maksimal bredde b af spunsvægstværsnittet. For profilerede spunsvægge bør dog kun $0,8 b$ benyttes.

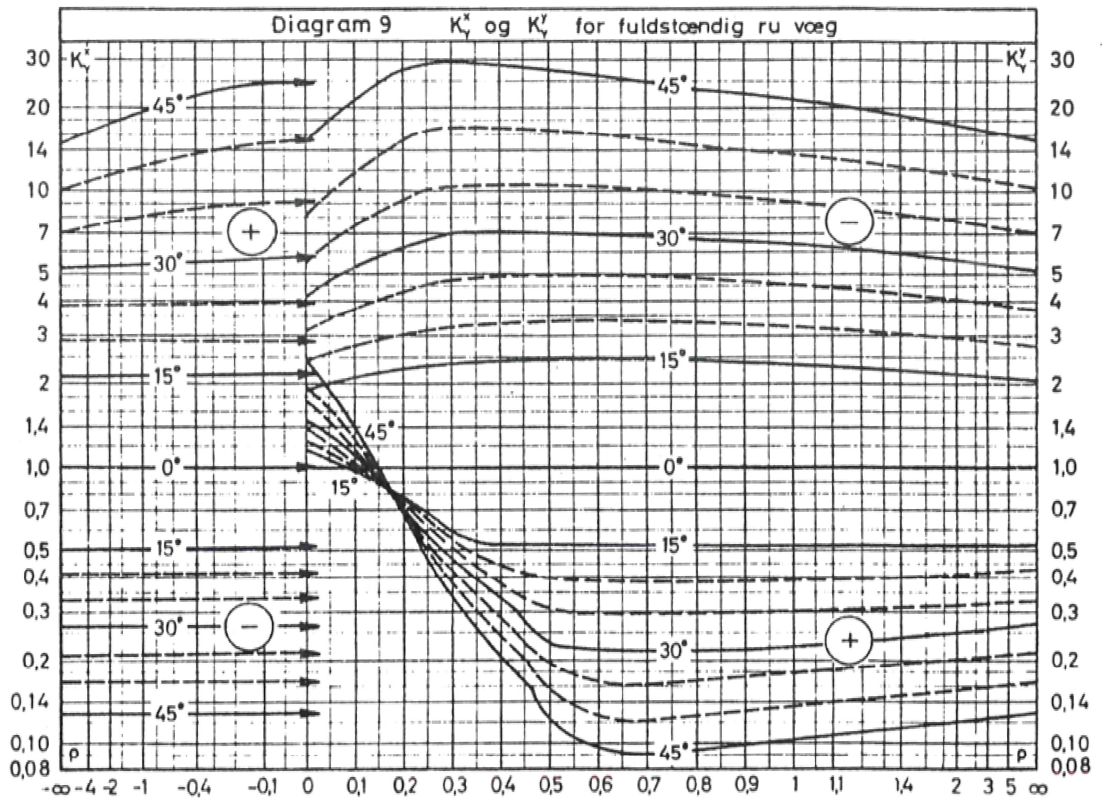
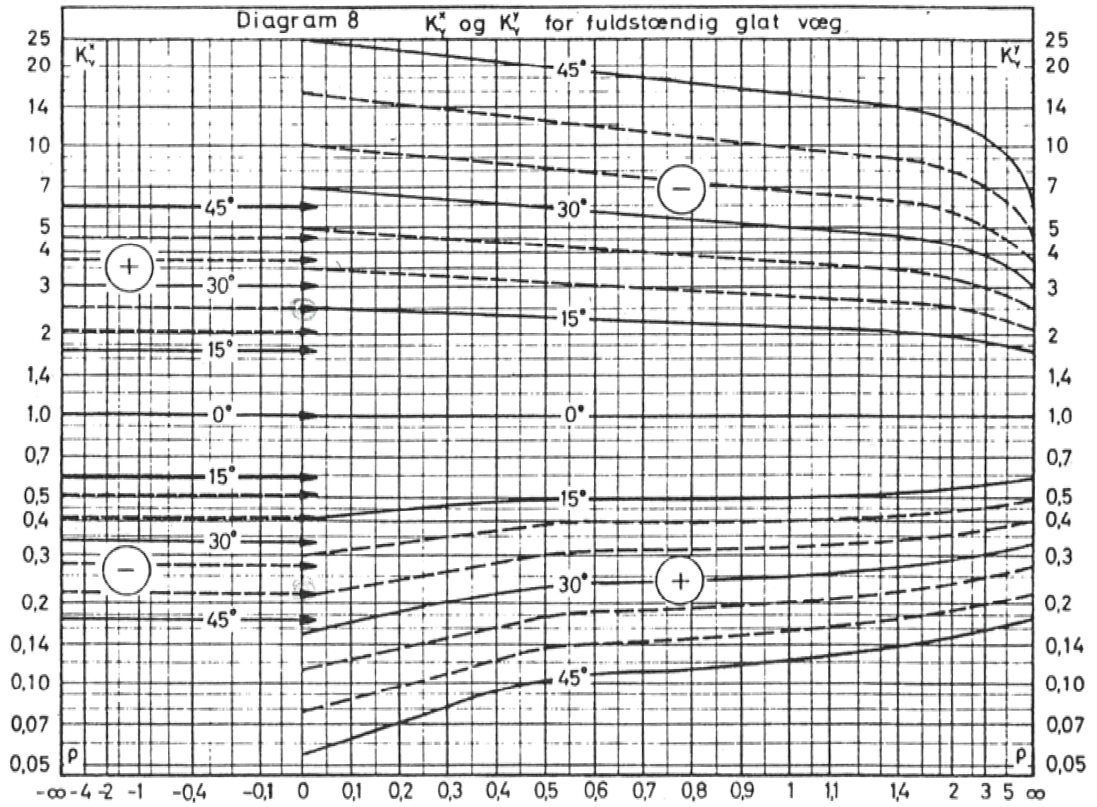
JORDTRYKSDIAGRAMMER FOR LODRET VÆG VANDRET JORDOVEFLADE

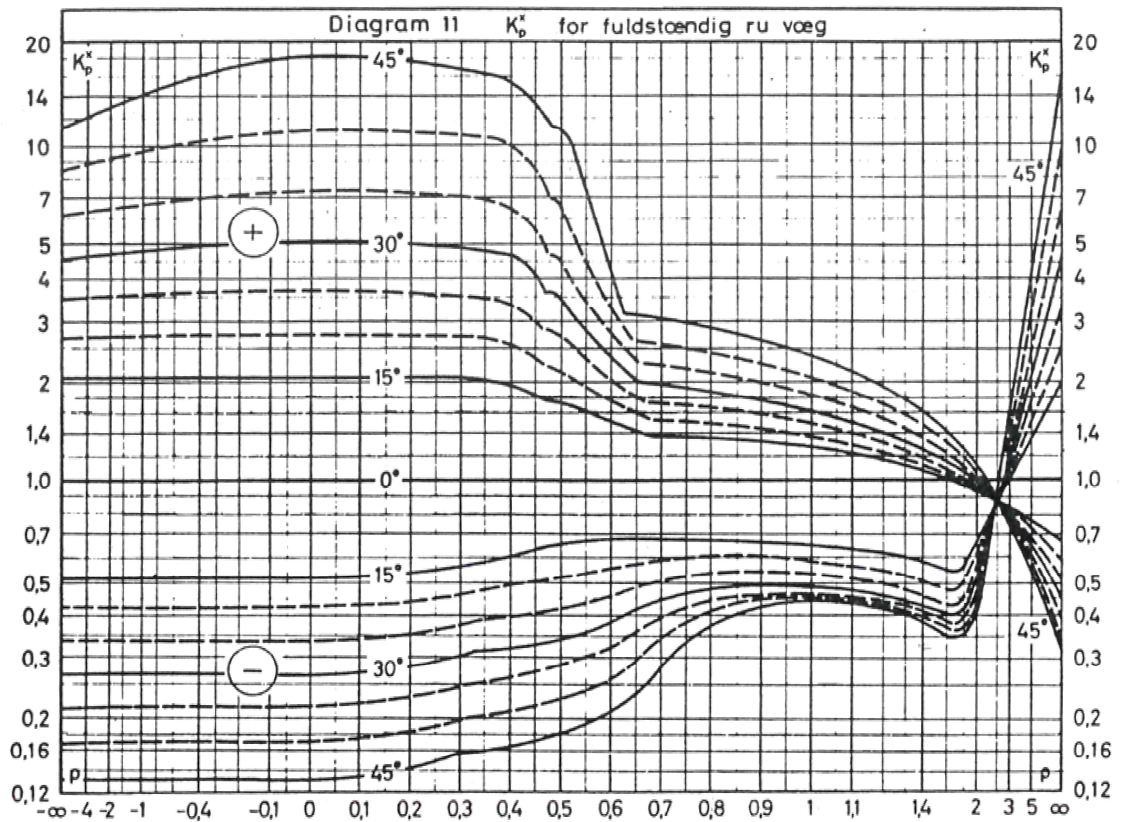
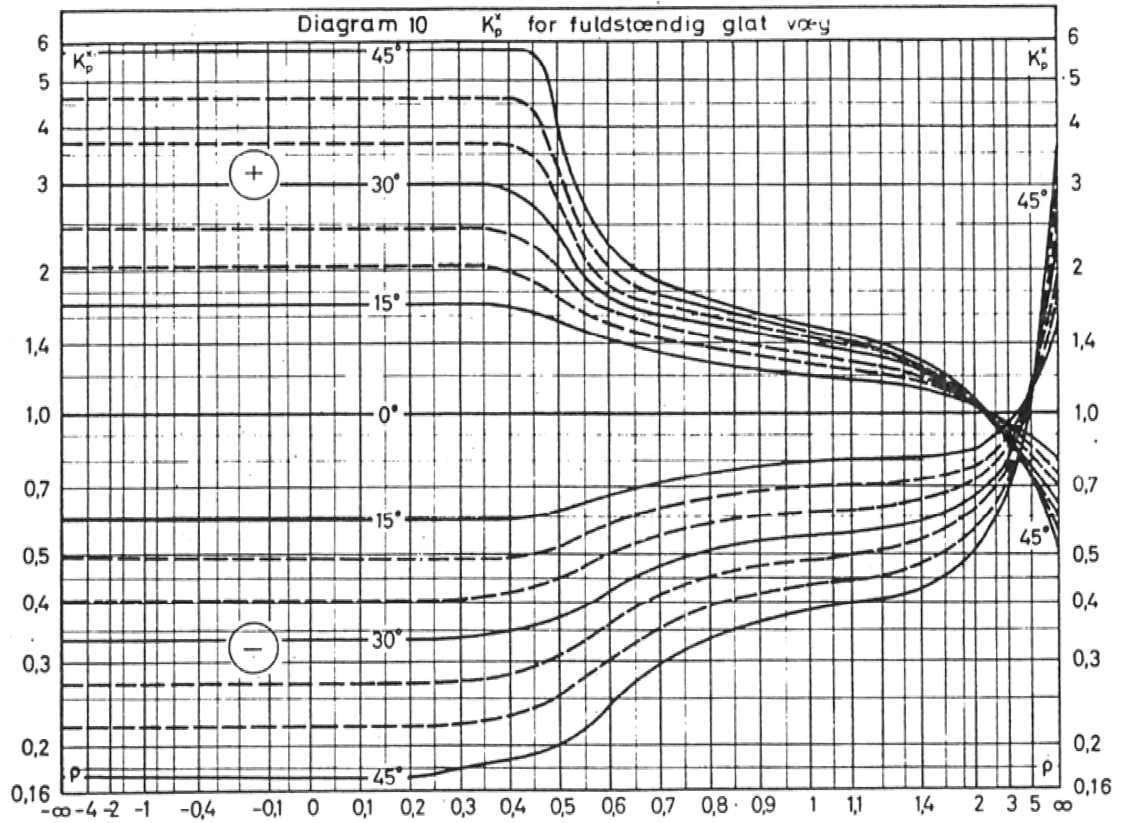
For de to tilfælde helt glat og helt ru væg er jordtrykskoefficienterne vist som funktioner af ρ og φ samt rotationens fortegn.

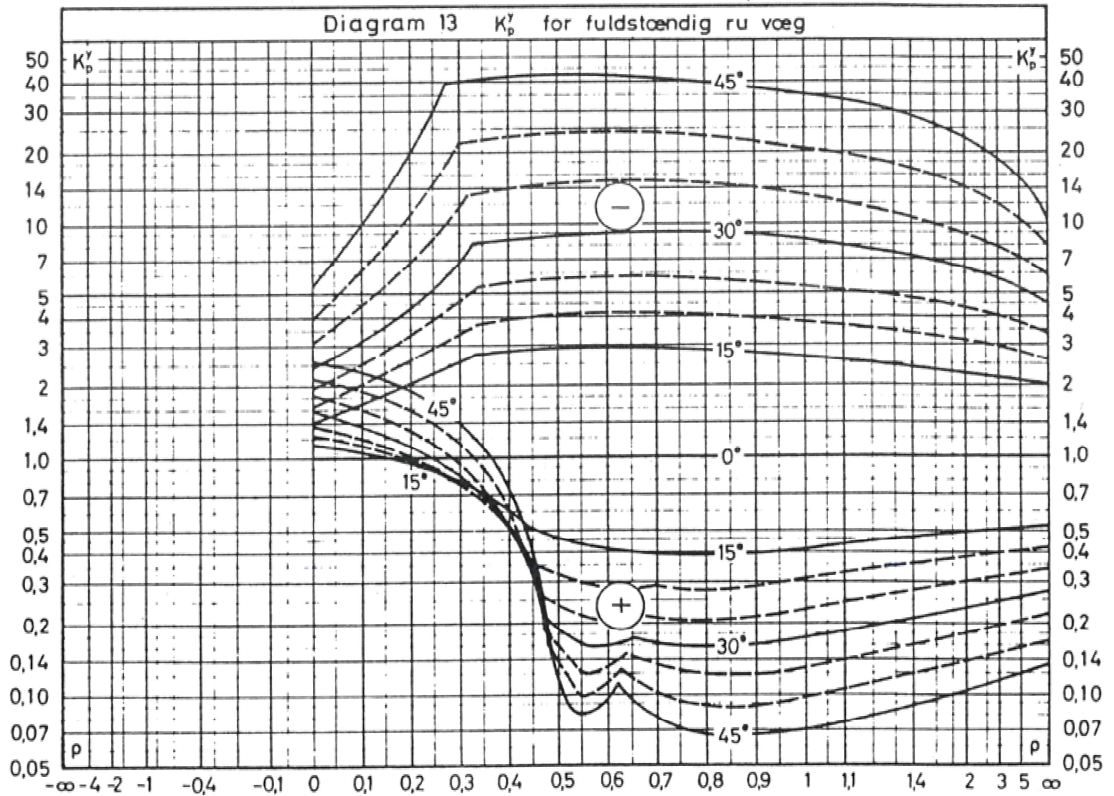
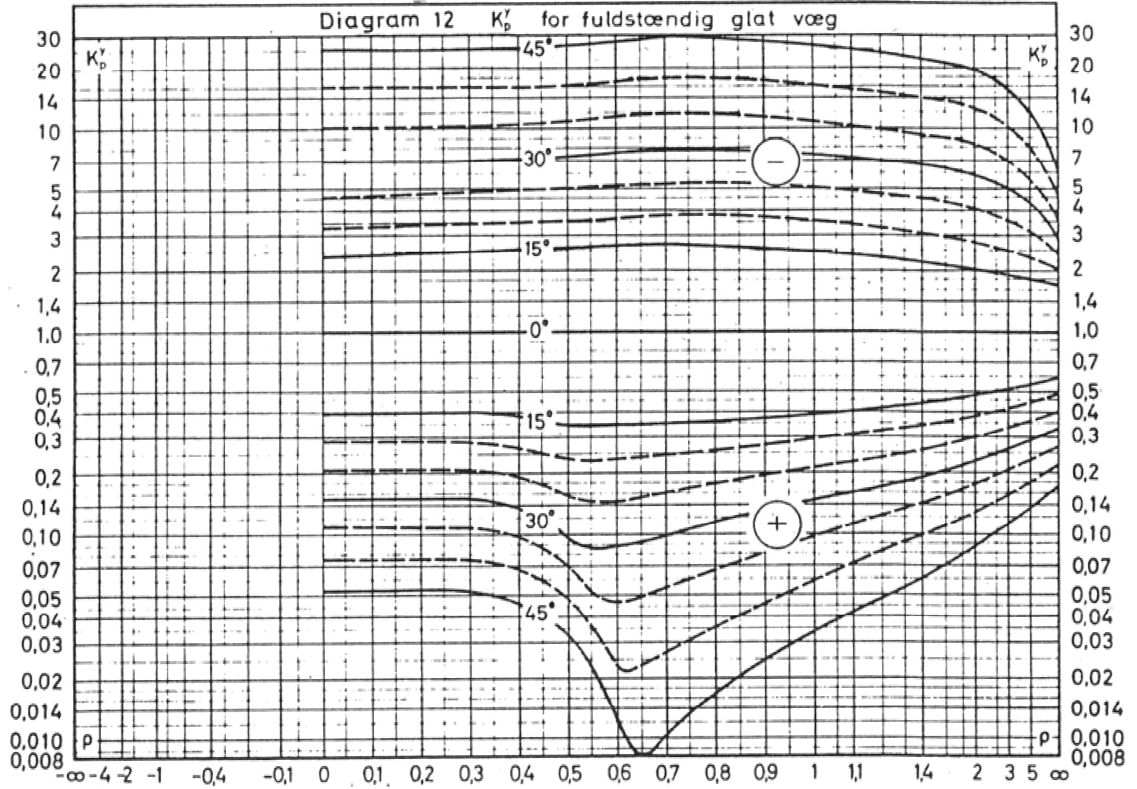
ξ	diagram	6 - 7	højde af trykspring over vægdels fodpunkt	side 50
K_γ^x, K_γ^y	diagram	8 - 9	jordtrykskoefficient på Σ γ d-led	51
K_p^x, K_p^y	diagram	10-13	" " p-led	52
K_c^x, K_c^y	diagram	14-17	" " c-led	54
$\tan \delta_y$	diagram	18	mobiliseret vægfriktion, Σ γ d-led	56
$\tan \delta_p$	diagram	19	" " , p-led	56
a/c	diagram	20	" adhæsion, c-led	57

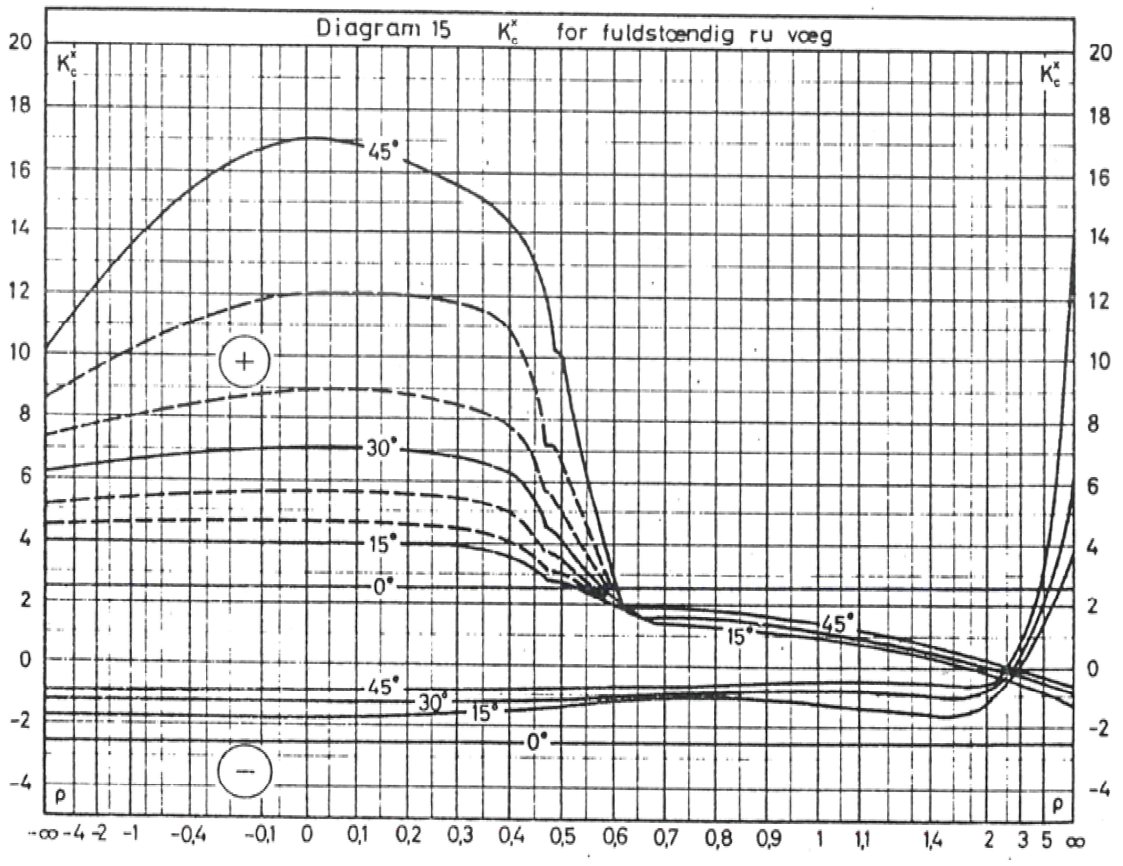
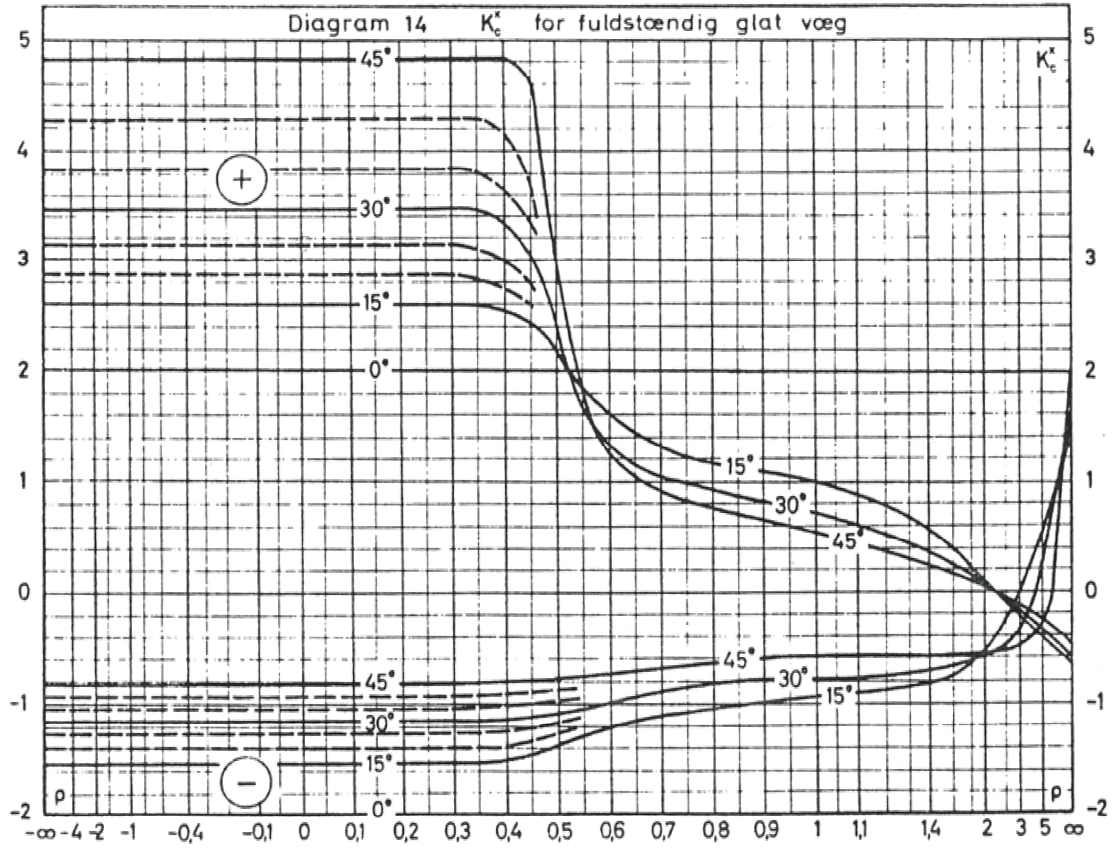
φ , c, a positive i diagrammerne, da rotationsretning bestemmer valg af jordtrykskoefficient.

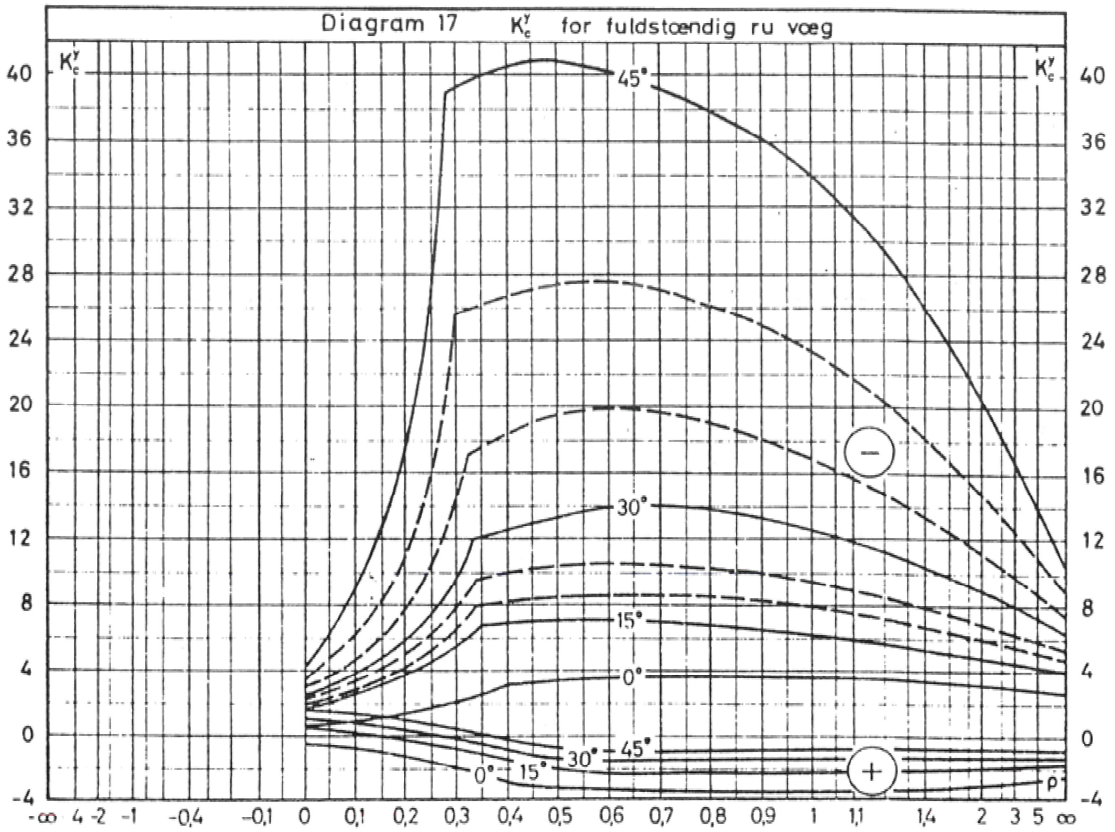
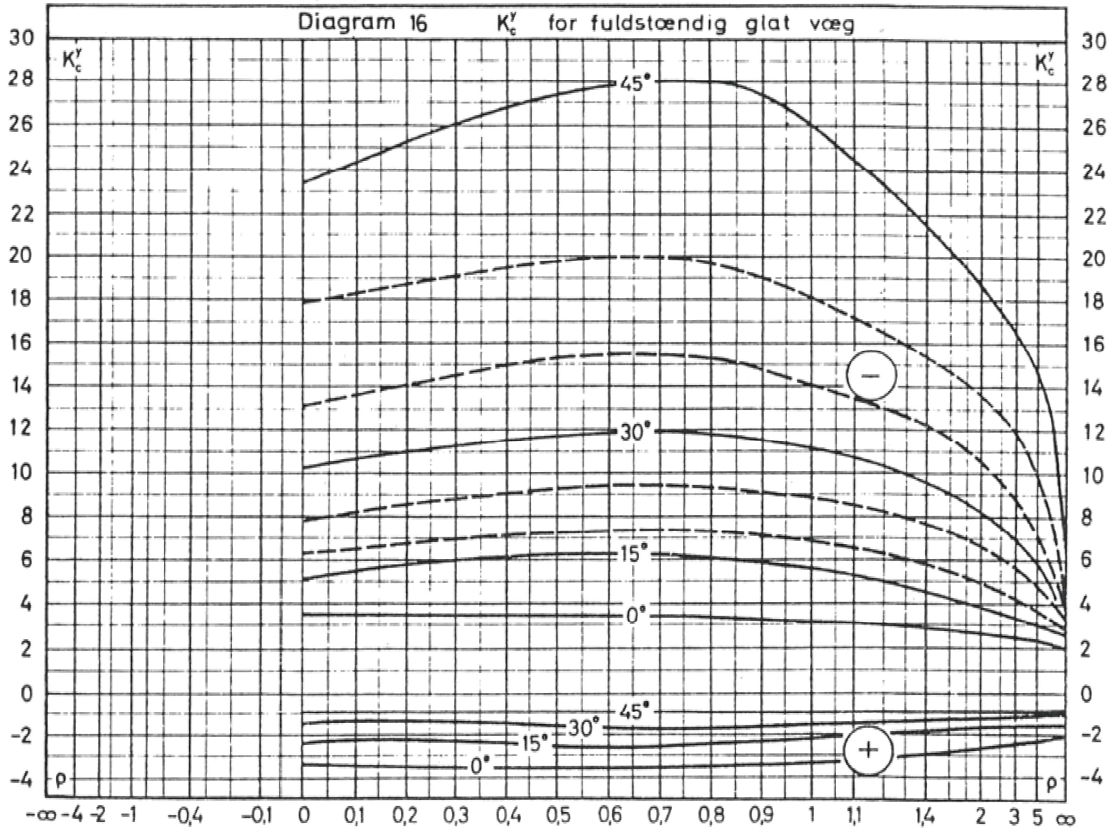


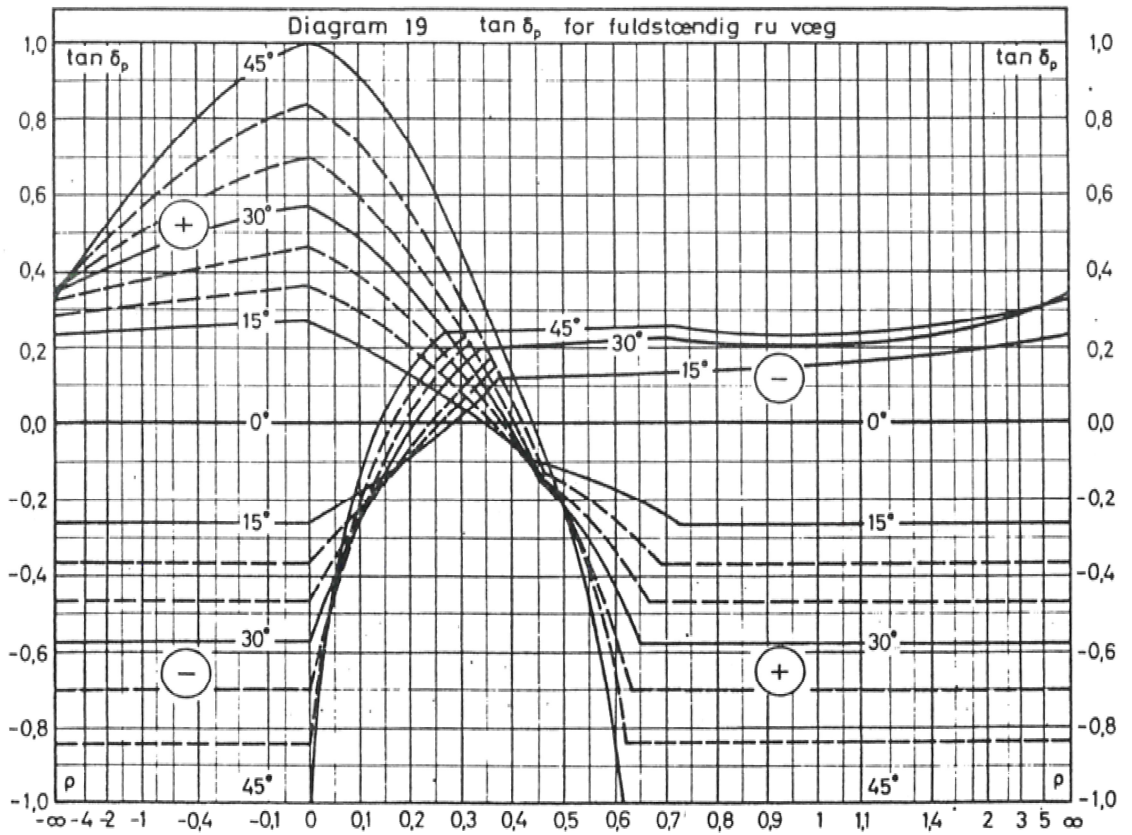
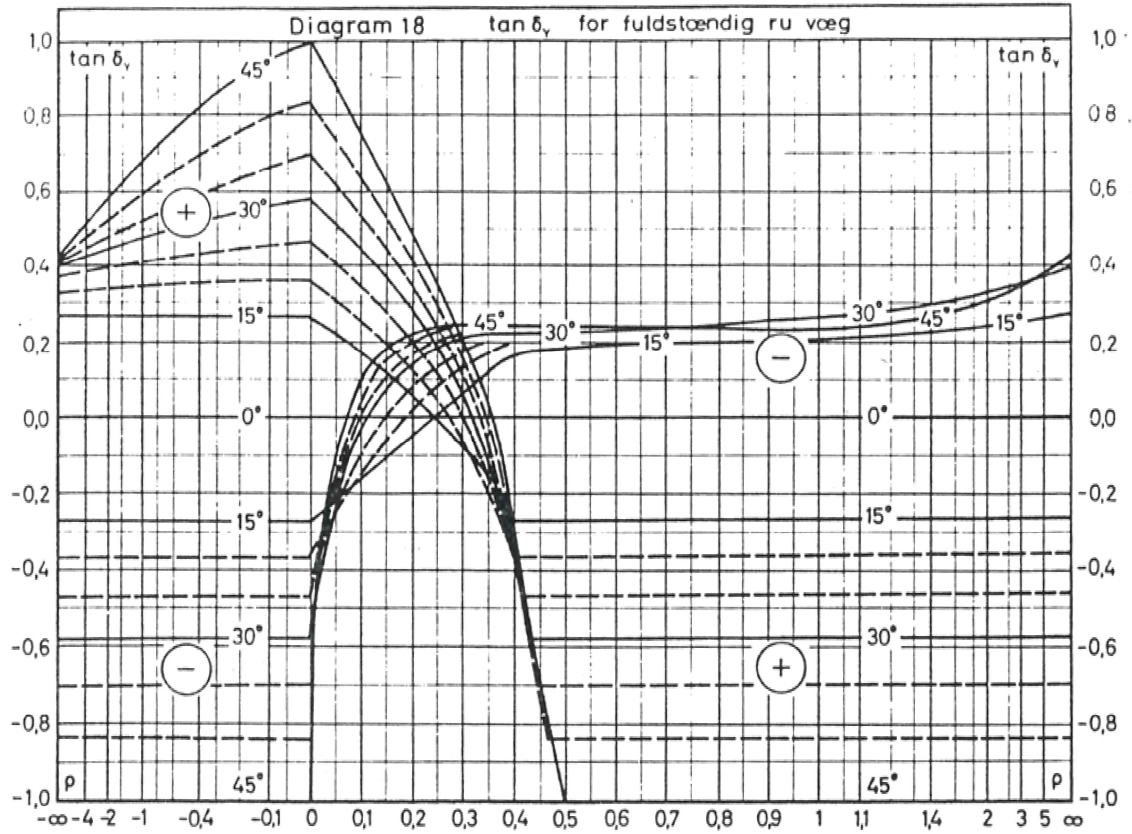


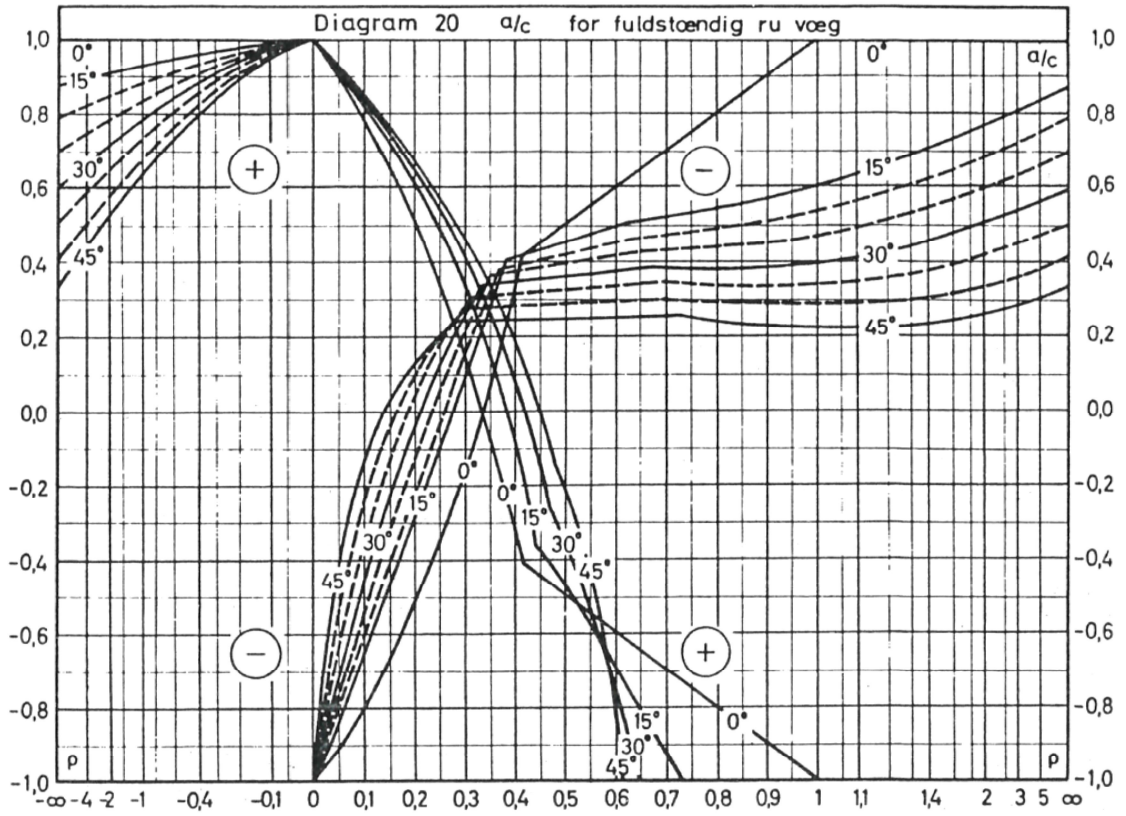












ANKERPLADER

JORDTRYKSBEREGNING FOR ANKERPLADER

G1 afsn.19.

Til traditionel forankring af spunsvægge (ankerkraft A kN/m) benyttes ankervægge eller ankerplader. Bemærk, at A ved spunsvæggen (normalt) er beregnet som en vandret kraft. Ved hældende anker skal derfor kraften $A/\cos \theta$ kunne optages af ankerpladerne.

For at udnytte enkelte ankerplader bedst muligt bør de anførte kriterier for afstanden l mellem pladerne og rammedybden h opfyldes. Det er forudsat i den angivne dimensioneringsprocedure.

Endvidere er det forudsat, at jorden omkring ankerpladerne er friktionsjord (sand).

Det bemærkes, at der fås optimal udnyttelse af ankervæggen eller -pladerne, når det antages, der er ren translation i brudtilstanden. De hertil svarende jordtrykoefficienter (for passivt brud med delvis udnyttet vægruhed) fås af kurverne side 60-61. På aktivsiden benyttes de normale zonebrudskoefficienter ($\delta = \varphi < 0$).

Ved beregningen antages følgende størrelser kendt på forhånd:

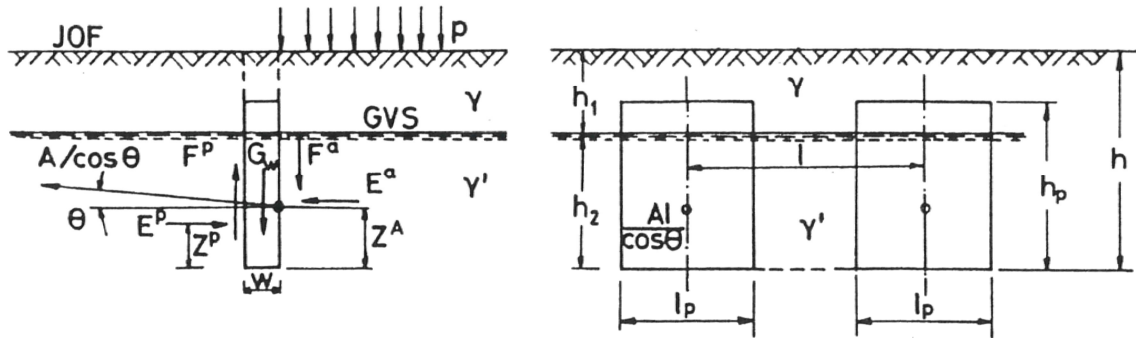
A	kN/m	Ankerkraft (vandret) pr.m
h_1	m	Afstand fra JOF til GVS
γ, γ'	kN/m ³	Rumvægt af jord omkring ankerpladerne.

Beregningen starter med beregning af de normale zonebrudskoefficienter, hvorefter dybden h til underkant af pladerne kan skønnes af:

$$h_{skøn} = -\frac{\gamma - \gamma'}{\gamma'} h_1 + \sqrt{\left(\frac{\gamma - \gamma'}{\gamma'} h_1\right)^2 + \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma'} h_1^2 + \frac{2A}{\gamma' (K_y^p - K_y^{ar})}}$$

hvor K_y^p findes af diagram side 60 for $\tan \delta_y = 0,1$

Med den valgte højde h kan ankermodstanden A_0 findes som: den mindste værdi ved beregning uden og med overfladebelastning p på aktivsiden. Når ankerpunktet er fundet (højde z^A over fodpunkt), må beregningen gentages, hvis leddet $[-A \tan \theta]$ i formlerne har betydning.



Betingelse for beregning som kontinuert ankervæg

$$h_p \geq 0,6 h \text{ og } l_p \geq 0,75 l$$

G2(1901)

Jordtryk og moment om underkant af ankerplade svarende til $K_y = 1$

$$E^h = \frac{1}{2} \gamma h^2 - \frac{1}{2} (\gamma - \gamma') h^2$$

$$E^h z^h = \frac{1}{6} \gamma h^3 - \frac{1}{6} (\gamma - \gamma') h^3$$

G2(1906)

Beregning af ankermodstand A_0 (kN/m) og forankringspunkt z^A

$$E^a = E^h K_y^{ar}$$

G2(1907)

$$\Delta E^a = p h K_p^{ar}$$

G2(1911)

$$F^a = E^a \tan|\varphi|$$

G2(1907)

$$\Delta F^a = \Delta E^a \tan|\varphi|$$

G2(1911)

$$K_y^p \tan \delta_\gamma = \frac{G_w + F^a + \Delta F^a}{E^h} \left[-\frac{A \tan \theta}{E^h} \right]$$

G2(1908)

K_y^p ved diagram side 60

$$E^p = E^h K_y^p$$

G2(1909)

$$A_0 = \min \{ (E^p - E^a) \text{ for } p = 0, \quad p \neq 0 \}$$

G2(1912)

ζ_γ aflæses af diagram side 61

$$A_0 z^A = E^h z^h (K_y^p \cdot 3\zeta_\gamma - K_y^{ar}) - \Delta E^a \frac{h}{2} + (G_w [-A \tan \theta]) \frac{w}{2} + (F^a + \Delta F^a) w$$

G2(1914)

JORDTRYKSDIAGRAMMER FOR ANKERPLADER

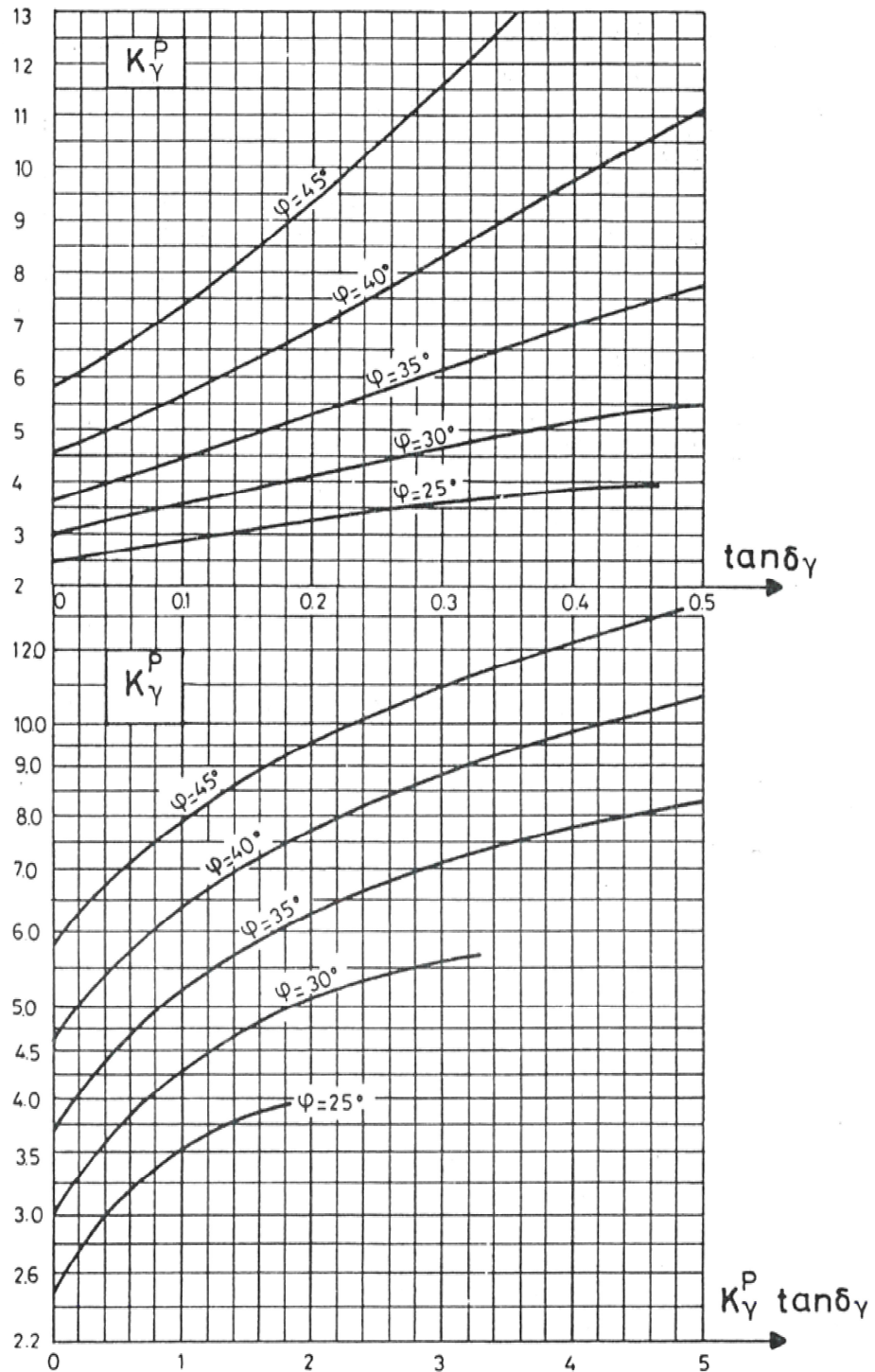


Diagram 21: Jordtrykoefficienter for passivt jordtryk på lodret væg, med delvis udnyttet ruhed, i translation under en vandret jordoverflade.

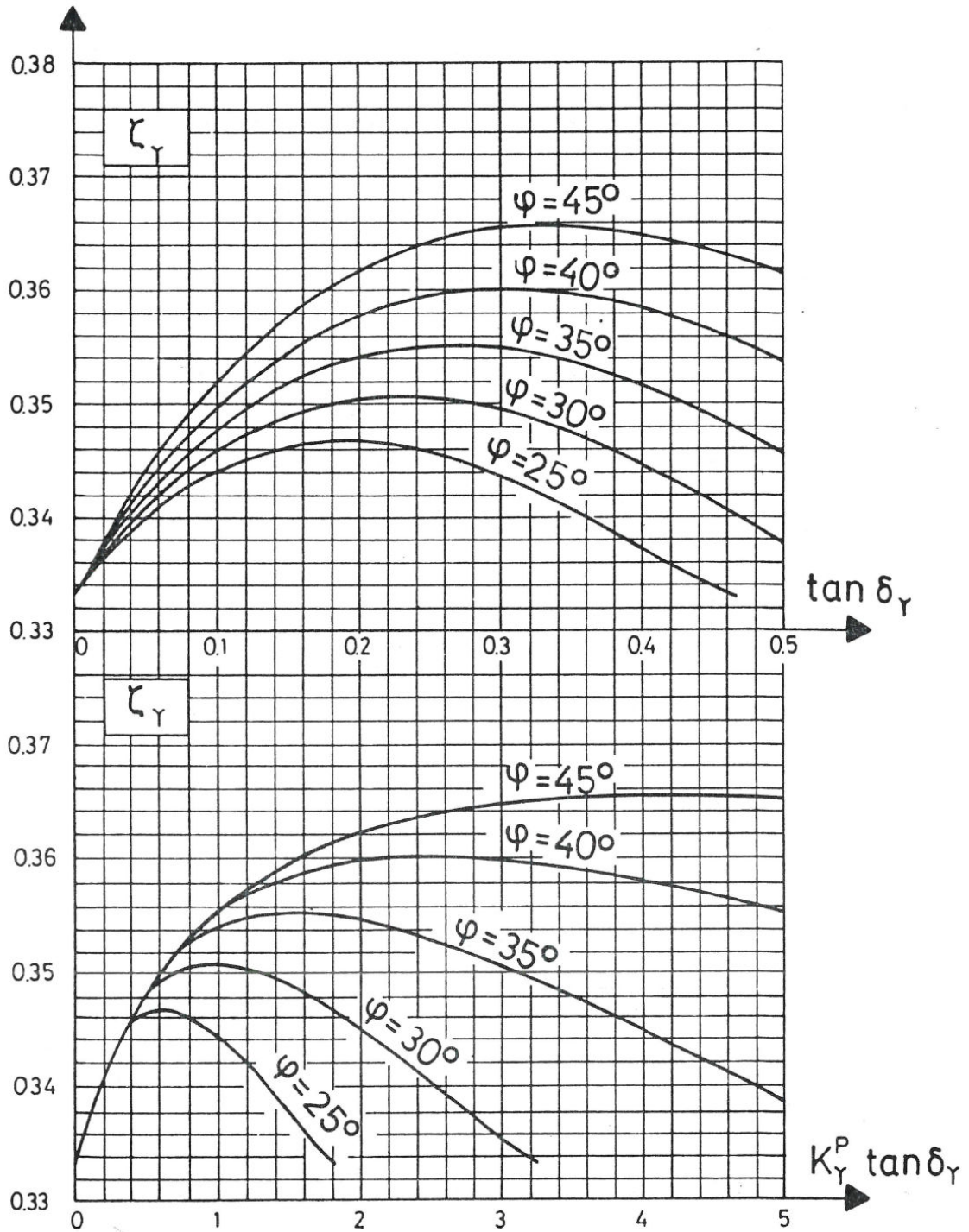


Diagram 22: Relativ højde af angrebepunkt for passivt jordtryk på lodret væg, med delvis udnyttet ruhed, i translation under vandret JOF.

APPENDIX

ENHEDER

Enhedssystemet benyttet i såvel forelæsningsnotater som funderingsnorm er SI- systemet (Système International d' Unités).

Specielt anvendes følgende SI-enheder og over- og underenheder heraf:

for længde	m	(meter)
	mm	(millimeter)
masse	kg	(kilogram)
	t	(ton)
kraft	N	(newton)
	kN	(kilonewton)
	MN	(meganewton)
kraft pr.længdeenhed	kN/m	(kilonewton pr.meter)
kraft pr.arealenhed	kN/m ²	(kilonewton pr.kvadratmeter), kPa (kilopascal)
	MN/m ²	(meganewton pr.kvadratmeter), MPa (megapascal)
kraft pr.volumenenhed	kN/m ³	(kilonewton pr.kubikmeter)
tid	s	(sekund)

Af andre enheder anvendes:

for temperatur	°C	(grad Celcius)
for vinkler	°	(grader) eller radianer

For kraftenhederne gælder følgende omsætningsforhold:

$$1 \text{ N} = 0,102 \text{ kp} \approx 0,1 \text{ kp}$$

$$1 \text{ kN} = 102 \text{ kp} \approx 100 \text{ kp} = 0,1 \text{ Mp}$$

$$1 \text{ MN} \approx 100 \text{ Mp}$$

For den hidtidige anvendelse af t/m² som enhed for spændinger og styrker gælder omsætningsforholdet:

$$1 \text{ t/m}^2 = 1 \cdot g \frac{\text{kN sek}^2}{\text{m}^3} = 9,81 \text{ kN/m}^2 \approx 10 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ kPa}$$

Ved omregninger benyttes således tilnærmet: g (tyngdeaccelerationen) = 10 m/sek²
(ved nøjagtige forsøg må man tage hensyn til g)

SYMBOLFORTEGNELSE

Den følgende symbolliste giver en oversigt over de i formelsamlingen (og dermed G1, G2 forelæsningsnotaterne) anvendte symboler og indices. Hvor de benyttede enheder afviger fra funderingsnormens, er normens enhed angivet i parentes.

A	Areal, eksempelvis af fundamentsflade	m^2 eller m^2/m
A	Træk i forankring	kN eller kN/m
A_m	Areal af pæleoverflade	m^2
A_p	Areal af pælespids	m^2
a	Adhæsion (positiv, når den virker nedad på jorden og opad på væggen)	kN/ m^2
b	Bredde, eksempelvis fundamentsbredde	m
C	Konsolideringsindeks	
c	Kohæsion (i plasticitetsteoretiske formler positiv ved passivt tryk)	kN/ m^2
c'	Effektiv kohæsion	kN/ m^2
c_u	Udrænet forskydningsstyrke	kN/ m^2
c_v	Forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg	kN/ m^2
d	Lagtykkelse, specielt ved konsolidering	m
d	Korndiameter	mm
d	Dybdefaktor for fundament	
d	Dybde under jordoverflade, specielt til et punkt af en væg (og da målt langs væggen) eller til funderingsniveau	m
d_c	Drænvej ved konsolidering	m
E	Deformationsmodul, specielt elasticitetsmodul	kN/ m^2
E	Totalt jordtryk vinkelret på væg (positiv ved tryk)	kN/ m^2
e	Excentricitet af fundamentsbelastning	m
e	Enhedsnormaljordtryk på væg (positiv ved tryk)	kN/ m^2
e	Poretal	
F	Totalt jordtryk parallelt med væg (positivt, når det virker nedad på jorden og opad på væggen)	kN/m
f	Enhedstangentialjordtryk på væg (positivt, når det virker nedad på jorden og opad på væggen)	kN/ m^2
f	Partialsikkerhedskoefficient	
G	Egenvægt (tyngde) af eksempelvis jordlegeme eller bygværk	kN eller kN/m
G	Vægt af ramslag	kN
H	Horisontal kraft, specielt vandret belastningskomponent på fundamentsflade	kN eller kN/m

H	Samlet trykniveaufald i strømningsområde	m
h	Faldhøjde af ramslag (målt lodret)	m
h	Højde specielt af en væg (målt langs væggen)	m
h	Trykniveau	m
h_c	Kapillær stighøjde	m
h_f	Filtretab ved pumpning fra brønd	m
I_C	Konsistensindeks	
I_D	Relativ lejringstæthed	
I_P	Plasticitetsindeks	%
i	Gradient	
i	Hældningsfaktor for fundament	
i_c	Kritisk gradient	
K	Jordtrykskoefficient	
K	Konsolideringsmodul	kN/m ²
K_0	Hviletrykskoefficient	
k	Længde af korde i brudcirkel	m
k	Permeabilitetskoefficient	m/s
k_s	Ballasttal	kN/m ³
l	Længde, eksempelvis af fundamentsflade	m
l_p	Pælelængde	m
M	Kraftmoment	kNm eller kNm/m
m	Materialfaktor for pæl	
m	Vinkel mellem a-brudlinie og vandret	
m_t	Vinkel mellem a-brudlinie og jordoverflade	
m_w	Vinkel mellem a-brudlinie og vægnormal	
N	Bæreevnefaktor	
n	Porøsitet	
n_p	Antal trykniveauspring i strømnets	
n_s	Antal strømkanaler i strømnets	
P	Pælekraft	kN
P	Total belastning eller nyttelast, eksempelvis på fundamentsflade	kN eller kN/m
p	Enhedsbelastning, specielt nyttelast	kN/m ²
Q	Dekadehældning (tøjningsindeks)	
Q_m	Overflademostand på pæl	kN
Q_p	Spidsmodstand på pæl	kN
Q	Vandmængde pr. tidsenhed	m ³ /s
Q	Bæreevne af fundament (lodret komponent)	kN eller kN/m

q	Lodret tryk fra overliggende jordlag, kapillærtryk, nyttelast m.v.	kN/m ²
q	Vandmængde pr. tids- og længdeenhed	m ³ /s/m
R	Kraftresultant	kN eller kN/m
r	Radius eller radiusvektor, specielt radiær afstand	m
r	Regenerationsfaktor for pæl	
s	Nedsynkning af pæl ved ramning	m
S_t	Sensitivitet	
S_r	Mætningsgrad	%
s	Buelængde eksempelvis af strømlinie eller brudlinie	m
s	Formfaktor for fundament eller pæl	
r_a	Rækkevidde ved pumpning fra brønd	m
T	Tidsfaktor	
t	Resulterende spænding i brudlinie exclusive kohæsion	kN/m ²
t	Tid	s
U	Konsolideringsgrad	%
U	Uensformighedstal	
u	Porevandstryk eller neutral spænding (tryk positiv)	kN/m ²
V	Vertikal kraft, specielt lodret belastnings- komponent på fundamentsflade	kN eller kN/m
v	Hastighed, specielt filterhastighed	m/s
w	Vandindhold	(%)
w_L	Vandindhold ved flydegrænsen	(%)
w_P	Vandindhold ved plasticitetsgrænsen	(%)
w_S	Vandindhold ved svindgrænsen	(%)
x	Vandret koordinat (specielt i snit med plan tøjningstilstand)	m
y	Vandret koordinat (specielt vinkelret på snit med plan tøjningstilstand)	m
y	Lodret højde over udgangsniveau (positiv opad)	m
z	Lodret koordinat (positiv nedad) specielt dybde under jordoverfladen eller dybde under fundament	m
z_j	Afstand fra fod af væg til trykspring (positiv opad)	m

z_r	Afstand fra fod af væg til omdrejningspunkt (positiv opad)	m
z_p	Afstand fra fod af væg til jordtryksresultant (positiv opad)	m
β	Vinkel mellem jordoverflade og vandret (positiv, når jordoverfladen stiger bort fra væg eller fundament NB: $\beta_s = -\beta$ ved fundament)	
β_s	Hældning af skråning ved fundament (positiv når jordoverfladen falder bort fra fundament $\beta_s = -\beta$)	
γ	Rumvægt (specifik tyngde)	kN/m ³
γ'	Rumvægt reduceret for opdrift (reduceret rumvægt)	kN/m ³
γ''	Rumvægt reduceret for opdrift og strømkræfter (effektiv rumvægt)	
γ_d	Rumvægt af tør jord	kN/m ³
γ_m	Rumvægt af vandmættet jord	kN/m ³
γ_s	Rumvægt af kornmateriale	kN/m ³
γ_w	Rumvægt af vand	kN/m ³
δ	Lodret sætning eksempelvis af fundament eller pæl	m
δ	Vægfriktionsvinkel (positiv, når den svarer til nedadvirkende jordtryk på jorden og opadvirkende jordtryk på væggen)	
ε	Tøjning (positiv ved forkortelse)	
ζ	Relativ afstand fra fod af væg til jordtryksresultant (positiv opad)	
η	Effektivitetsfaktor ved ramning	
θ	Hældning af pæleakse med lodret	
θ	Hældning af væg (positiv, når vinkel mellem væg og vandret målt gennem jord er mindre end 90°)	
ν	Poisson's forhold	
ξ	Relativ afstand fra fod af væg til trykspring (positiv opad)	
ρ	Relativ afstand fra fod af væg til omdrejningspunkt (positiv opad)	
σ	Normalspænding (tryk positiv)	kN/m ²
σ'	Effektiv normalspænding (tryk positiv)	kN/m ²
τ	Forskydningsspænding (positiv modsat rettet snitretning t som σ er positiv modsat rettet snitnormal n)	kN/m ²
φ	Friktionsvinkel (i plasticitetsteoretiske formler positiv ved passivt tryk)	

φ'	Effektiv friktionsvinkel
φ_{pl}	Plan friktionsvinkel
φ_{tr}	Triaksial målt friktionsvinkel
a	som indeks foroven angiver et aktivt jordtryk
c	som indeks forneden angiver et kohæsions-bidrag
d	som indeks forneden angiver ramning (driving) eller tør (dry)
k	Som indeks for neden angiver en karakteristisk størrelse
m	som indeks forneden angiver pælekappe (-overflade)
n_c	som indeks forneden angiver normalkonsolideret jord
p	som indeks foroven angiver et passivt jordtryk
p	som indeks forneden angiver et nyttelast-bidrag
p	som indeks forneden angiver pælespids
p_c	som indeks forneden angiver forkonsolideret jord
r	som indeks foroven angiver en ru væg
r	som indeks forneden angiver en regningsmæssig værdi
s	som indeks foroven angiver en glat væg
x	som indeks foroven angiver en vægdel over et trykspring
y	som indeks foroven angiver en vægdel under et trykspring
γ	som indeks forneden angiver et egenvægts-bidrag
-	en vandret streg over et symbol angiver en effektiv størrelse
FUK	betyder fundamentsunderkant
JOF	betyder jordoverflade
GVS	betyder grundvandsspejl
KVS	betyder kapillarvandsspejl

FORTEGNELSE OVER FAGLITTERATUR

Beregning af konstruktioner skal i Danmark foregå efter forskrifterne i normerne, der udgives af Normstyrelsen gennem Teknisk Forlag, Skelbækgade 4, 1717 København V.

Specielt henvises til funderingsnormen DS 415, 2. udgave, 1977.

I udlandet gælder andre normer.

Blandt de "klassiske" geotekniske lærebøger kan nævnes følgende, som stadig kan læses med stort udbytte:

Atkinson, J.H., Bransby, P.L.:

The Mechanics of Soils (An Introduction to Critical State Soil Mechanics), McGraw-Hill, London 1978.

Taylor, D.W.:

Fundamentals of Soil Mechanics, John Wiley, New York, 1948.

Terzaghi, K.:

Theoretical Soil Mechanics, John Wiley, New York, 1947.

Terzaghi, K. and R.B. Peck:

Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley, New York, 1948.

Tschebotarioff, G.P.:

Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures, McGraw-Hill, New York, 1951.

Blandt de nyere lærebøger i geoteknik kan nævnes:

Caquot, A. et J. Kerisel:

Traité de Mécanique des Sols, Gauthier-Villard, Paris, 1956, (tysk udgave: Grundlage der Bodenmechanik, Springer Verlag, Berlin, 1967).

Harremoés, P., Krebs Ovesen, N., Moust Jacobsen, H:

Lærebog i Geoteknik 1975 (3. udgave), Polyteknisk Forlag, København.

Hansbo, s.:

Jordmateriallära (bind 2 i bogserien Geoteknik omfattende: Bergmekanik, Jordmateriallära, Byggnadsgeologi og Grund-lægning) 1975, Almqvist & Wiksell Förlag AB, Stockholm.

Harr, M.E.:

Foundations of Theoretical Soil Mechanics, McGraw-Hill, New York, 1966.

Janbu, N.:

Grunnlag i Geoteknikk, Tapir, Trondheim, 1970.

Kezdi, A.:

Bodenmechanik, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1964.

- Lambe, T.W. and Whitman, R.V.:
Soil Mechanics, John Wiley and Sons, New York, 1969.
- Leonards, G.A.:
Foundation Engineering, McGraw-Hill, New York, 1962.
- Lundgren, H. og J. Brinch Hansen:
Geoteknik, Teknisk Forlag, København, 1958 (tysk udgave:
Hauptprobleme der Bodenmechanik, Springer Verlag, Berlin, 1961).
- Schofield, A.N. and Wroth, C.P.:
Critical State Soil Mechanics, McGraw-Hill, New York, 1968.
- Szechy, K.:
Der Grundbau, Springer Verlag, Berlin, 1965.
- Teng, W.C.:
Foundation Design, Prentice Hall, New Jersey, 1962.

Alle de nævnte bøger indeholder fyldige litteraturfortegnelser.

Af geotekniske fagtidsskrifter kan nævnes:

"Geotechnique" udgivet af The Institution of Civil Engineers, Great George Street, London SW1.

"Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division" udgivet af The American Society of Civil Engineers, 345 East 47th Street, New York, N.Y. 10017.

"Sols Soils" udgivet af Les Editions Sols Soils, 54, av. de la Motte-Picquet, Paris 15^e.

Der har i årenes løb været afholdt en lang række geotekniske konferencer, fra hvilke der har været udsendt skriftlige kongresberetninger -på engelsk benævnt "proceedings", på fransk "comptes rendus". Ca. hvert 4. år afholdes en verdensomspændende geoteknisk konference af "The International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering". Sådanne konferencer med udsendelse af "proceedings" har været afholdt

1936 i Cambridge, Mass., USA,

1948 i Rotterdam,

1953 i Zürich,

1957 i London,

1961 i Paris,

1965 i Montreal,

1969 i Mexico City,
1973 i Moskva samt
1977 i Tokyo
(1981 i Stockholm)

Europæiske geotekniske konferencer har været afholdt:

1954 i Stockholm om Stabilitet,
1958 i Bruxelles om Jordtryk,
1963 i Wiesbaden om Sætning,
1967 i Oslo om Forskydningsstyrke,
1972 i Madrid om samspil mellem jord- og konstruktion,
1976 i Wien om dybe fundamenter og udgravninger samt
1979 i Brighton om design parametre
(1983 i Helsinki om grundforstærkning).

Fra en lang række geotekniske forskningsinstitutioner verden over udsendes bulletiner, meddelelser, afhandlinger m.v. Specielt skal her nævnes de bulletiner, som udsendes af:

Geoteknisk Institut, Maglebjergvej 1, 2800 Lyngby.

Norges Geotekniske Institutt, Forskningsveien 1, Blindern, Oslo.

Statens Geotekniska Institut, Olaus Magnus Våg 35, 581 01 , Linköping.

Det danske Geoteknisk Institut har et specialbibliotek for geoteknisk faglitteratur.

Geoteknisk Forening afholder møder 5 - 10 gange om året med foredrag af udenlandske og danske geoteknikere. Foreningens adresse er:

Geoteknisk Forening, Maglebjergvej 1, 2800 Lyngby.