

NIELS KREBS OVESEN
GEOTEKNISK EKSEMPELSAMLING

UDGIVET SOM MANUSKRIFT AF
DANMARKS INGENIØRAKADEMI
BYGNINGSAFDELINGEN KBH. 1965

Bind 2

INDHOLDSFORTEGNELSE

6. GENEREL BRUGTEORI

 Eksempel 6.1: Spændinger i Jordbænk, 7

7. FORSKYNINGSTYKKE

 Eksempel 7.1: Bestemmelse af vandfriktionsevnen ved tryk-
 målinger, 10

 Eksempel 7.2: Bestemmelse af vandfriktionsevnen ved tryk-
 målinger og forskytningsmålinger, 13

NIELS KREBS OVESEN

GEOTEKNISK EKSEMPELSAMLING

 Eksempel 7.3: Bestemmelse af vandfriktionsevnen ved tryk-
 målinger og forskytningsmålinger, 15

8. STABILITET

 Eksempel 8.1: Beredning af jord med grovkværtspejlet, 25

 Eksempel 8.2: Beredning med vandig grovkværtspejlet, 28

 Eksempel 8.3: Beredning med vandig grovkværtspejlet og med
 kviksandspejlet, 32

 Eksempel 8.4: Beredning med smøring, 34

9. JORDTRYK

 Eksempel 9.1: Jordtryk i vand, 44

 Eksempel 9.2: Jordtryk i vand, 46

 Eksempel 9.3: Jordtryk i vand, 48

 Eksempel 9.4: Jordtryk i vand, 50

 Eksempel 9.5: Jordtryk i vand, 52

 Eksempel 9.6: Jordtryk i vand, 54

 Eksempel 9.7: Jordtryk i vand, 56

 Eksempel 9.8: Jordtryk i vand, 58

 Eksempel 9.9: Jordtryk i vand, 60

 Eksempel 9.10: Jordtryk i vand, 62

 Eksempel 9.11: Jordtryk i vand, 64

 Eksempel 9.12: Jordtryk i vand, 66

INDHOLDSFORTEGNELSE

6	GENEREL BRUDTEORI	
	Eksempel 6.1: Spændinger i liniebrud.....	6
7	FORSKYDNINGSSTYRKE	
	Eksempel 7.1: Bestemmelse af sands friktionsvinkel ved tri-aksiale forsøg.....	10
	Eksempel 7.2: Bestemmelse af lers udrænedede forskydningsstyrke ved simple forsøg.....	14
	Eksempel 7.3: Bestemmelse af lers effektive styrkeparametre ved triaksiale forsøg.....	16
8	STABILITET	
	Eksempel 8.1: Skråning helt over grundvandspejlet.....	20
	Eksempel 8.2: Skråning med vandret grundvandspejl.....	24
	Eksempel 8.3: Skråning med vandret grundvandspejl og med kapillaritet.....	30
	Eksempel 8.4: Skråning med strømning.....	38
9	JORDTRYK	
	Eksempel 9.1: Fri spunsvæg i sand.....	44
	Eksempel 9.2: Forankret spunsvæg i sand.....	48
	Eksempel 9.3: Forankret spunsvæg med et flydecharnier i ler.....	60
	Eksempel 9.4: Forankret spunsvæg i silt med strømning....	64
	Eksempel 9.5: Ankerplade i sand.....	70
	Eksempel 9.6: Bestemmelse af ankerlængde.....	74
	Eksempel 9.7: Afstivet spunsvæg i sand.....	78

EKSEMPEL 6.1: Beregning af liniebrud.GIVET

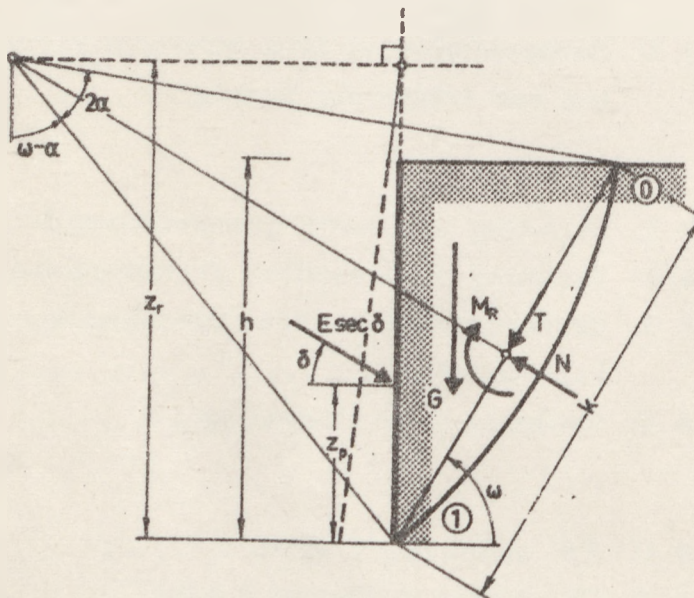
En lodret, stiv væg med højden h understøtter jord med vandret overflade.

Jorden består af sand med friktionsvinklen $\varphi = 30^\circ$ ($c = 0$) og rumvægten γ .

Væggen forudsættes ru og problemet betragtes som plant.

ØNSKES

Beregn trykket mellem væggen og jorden, når væggen i brudtilstanden udfører en positiv rotation med $\rho = 1,264$.

LØSNING

Figur 6.1 A: Brudfigur og kræfter på bevægelig jordlegeme.

Forudsætninger

Jordtrykket beregnes efter Brinch Hansens ligevægtsmetode.

Brudfigur

Da omdrejningspunktet for væggen ligger over væggens midtpunkt, vil der i jorden bag væggen opstå et liniebrud. Dette liniebrud må af kinematiske grunde være en konkav cirkel, der har sit centrum beliggende på en vandret linie, som ligger i afstanden $z_r = \rho \cdot h$ over væggens fodpunkt.

Parametre

Af figur 6.1 A fremgår det, at beregningerne skal udføres med følgende parametre:

- $\theta = \beta = 0^\circ$: lodret væg og vandret jordoverflade.
 $p = c = 0$: ubelastet, kohæsionsløs jord.
 $\varphi = -30^\circ$: forskydningsspændingerne på glidelegemet virker i retning fra punkt 1 mod punkt 0.
 $\delta = \varphi$: ru væg.
 α positiv : konkav brudcirkel.
 ω positiv : korden stiger i retning fra punkt 1 mod punkt 0.

Beregninger

Første fase i beregningerne går ud på at beregne de to ukendte geometriske parametre α og ω , der bestemmer brudliniens form og beliggenhed.

Forskydningsspændingen τ_0 i brudliniens øverste endepunkt findes ved randbetingelsen:

$$\tau_0 = \frac{p \sin \varphi \sin (\nu_0 + \varphi) + c \cos \varphi \sin (\nu_0 + \varphi - \beta)}{\sin (\nu_0 - \beta)}$$

som, idet $p = c = 0$, giver $\tau_0 = 0$.

Kræfterne N , T og G findes af Brinch Hansens formler:

$$N = \gamma k^2 (N^x \sin \omega + N^y \cos \omega)$$

$$T = \gamma k^2 (T^x \sin \omega + T^y \cos \omega)$$

$$G = \gamma k^2 (N_D^y + \frac{1}{4} \sin 2\omega)$$

Ligevægten af det bevægelige jordlegeme udtrykkes ved at projicere alle kræfter på en linie vinkelret på jordtryksresultanten $E \sec \delta$:

$$N \cos (\omega + \delta) - T \sin (\omega + \delta) - G \cos (-\delta) = 0$$

Ved indsættelse af N , T og G samt $\delta = -30^\circ$ fås heraf:

$$\begin{aligned} & (N^x \sin \omega + N^y \cos \omega) \cos (\omega - 30^\circ) \\ & - (T^x \sin \omega + T^y \cos \omega) \sin (\omega - 30^\circ) \\ & - (N_D^y + \frac{1}{4} \sin 2\omega) \cos 30^\circ = 0 \end{aligned}$$

som, da N^x , N^y , T^x , T^y og N_D^y alene afhænger af α og φ , er en ligning i de to ubekendte α og ω .

Rent geometrisk fås:

$$\rho = \frac{\cos (\omega - \alpha)}{2 \sin \alpha \cdot \sin \omega} = 1,264$$

som ligeledes er en ligning i de to ubekendte α og ω . De to indrammede ligninger løses nu med hensyn til α og ω , idet værdierne af størrelserne N^x , N^y , T^x , T^y og N_o^y findes af Geoteknisk Instituts Bulletin No. 2. Ligningerne løses på følgende måde: Først gættes en værdi af α og af den sidst angivne, indrammede formel findes den tilhørende værdi af ω . Af Bulletin No. 2 findes derefter værdien af N^x , N^y , T^x , T^y og N_o^y , og det kontrolleres, om den først angivne, indrammede formel er tilfredsstillet. Er dette tilfældet, er α gættet rigtig. Hvis det ikke er tilfældet, må α gættes om, og beregningerne gentages indtil den først angivne, indrammede formel er tilfredsstillet.

I det aktuelle tilfælde gættes $\alpha = 20,0$ og af den sidst angivne, indrammede formel fås:

$$\frac{\cos(\omega - 20^\circ)}{2 \sin 20^\circ \cdot \sin \omega} = 1,264$$

hvoraf findes $\omega = 60,9$.

Af Bulletin No. 2 fås med $\alpha = 20^\circ$ og $\varphi = -30^\circ$:

$$N^x = 0,2928 \quad T^x = 0,2080 \quad N_o^y = 0,0591$$

$$N^y = 0,1274 \quad T^y = 0,0992$$

Indsættes i den først angivne, indrammede formel fås:

$$\begin{aligned} & (0,2928 \sin 60,9^\circ - 0,1274 \cos 60,9^\circ) \cos(60,9^\circ - 30^\circ) \\ & - (-0,2080 \sin 60,9^\circ + 0,0992 \cos 60,9^\circ) \sin(60,9^\circ - 30^\circ) \\ & - (0,0591 + \frac{1}{4} \sin 121,8^\circ) \cos 30^\circ = -0,001 \sim 0 \end{aligned}$$

Heraf ses, at $\alpha = 20,0$ og $\omega = 60,9$ tilfredsstiller ligningssystemet.

Anden fase i beregningerne går ud på at bestemme jordtrykkets størrelse.

Ved at projicere på væggens normal fås:

$$E = N \sin \omega + T \cos \omega$$

som under anvendelse af de tidligere angivne formler for N og T samt de af Bulletin No. 2 fundne værdier for N^x , N^y , T^x og T^y giver:

$$\begin{aligned} E &= \gamma k^2 (N^x \sin \omega + N^y \cos \omega) \sin \omega \\ &+ \gamma k^2 (T^x \sin \omega + T^y \cos \omega) \cos \omega \end{aligned}$$

$$= \gamma k^2 \{ (0,2928 \sin 60,9^\circ - 0,1274 \cos 60,9^\circ) \sin 60,9^\circ$$

$$+ (-0,2080 \sin 60,9^\circ + 0,0992 \cos 60,9^\circ) \cos 60,9^\circ \}$$

$$= \gamma k^2 \cdot 0,1045$$

Da man rent geometrisk har $k \cdot \sin \omega = h$ fås:

$$E = \gamma \frac{0,1045 h^2}{\sin^2 60,9} = 0,137 \gamma h^2$$

Tredje fase I beregningerne går ud på at bestemme jordtryksresultaternes beliggenhed.

Ved at tage momenter om væggens fodpunkt fås:

$$E z_p = N \cdot \frac{1}{2} k - G \cdot \frac{1}{2} k \cos \omega - M_R - M_G$$

For M_R og M_G har Brinch Hansen angivet formlerne:

$$M_R = \gamma k^3 (M^x \sin \omega + M^y \cos \omega)$$

$$M_G = \gamma k^3 \left(\frac{1}{12} \sin^2 \omega - M_o^x \right) \sin \omega$$

Ved indsættelse i momentligningen fås nu:

$$\begin{aligned} E z_p &= \gamma k^2 (N^x \sin \omega + N^y \cos \omega) \cdot \frac{1}{2} k \\ &\quad - \gamma k^2 (N_o^y + \frac{1}{4} \sin 2 \omega) \cdot \frac{1}{2} k \cos \omega \\ &\quad - \gamma k^3 (M^x \sin \omega + M^y \cos \omega) \\ &\quad - \gamma k^3 \left(\frac{1}{12} \sin^2 \omega - M_o^x \right) \sin \omega \end{aligned}$$

som, idet der for N^x , N^y , M^x , M^y , N_o^y og M_o^x anvendes de af Bulletin No. 2 fundne værdier, giver:

$$\begin{aligned} E z_p &= \gamma k^3 [(0,2928 \sin 60,9 - 0,1274 \cos 60,9) 0,5 \\ &\quad - (0,0591 + \frac{1}{4} \sin 121,8) 0,5 \cos 60,9 \\ &\quad - (0,0193 \sin 60,9 - 0,0168 \cos 60,9) \\ &\quad - \left(\frac{1}{12} \sin^2 60,9 - 0,0812 \right) \sin 60,9] = 0,0376 \gamma k^3 \end{aligned}$$

Af $k \cdot \sin \omega = h$ fås:

$$E z_p = \gamma \frac{0,0376 h^3}{\sin^3 60,9} = 0,0565 \gamma h^3$$

Ved hjælp af udtrykket for E fås sluttelig:

$$z_p = \frac{E z_p}{E} = \frac{0,0565}{0,137} h = 0,412 h$$

KONKLUSION

Jordtrykket har størrelsen $E = 0,137 \gamma h^2$ og angrebepunktet er beliggende i afstanden $z_p = 0,412 h$ over væggens fod.

EKSEMPEL 7.1: Bestemmelse af sands friktionsvinkel ved triaksiale forsøg.

GIVET

En fire-etagers lagerbygning skal opføres på en aflejring af post-glacialt smeltevandssand.

Med henblik på undersøgelse af bæreevnen af bygningens fundamenter er til laboratoriet indbragt sandprøver, hvormed der er udført fem triaksiale forsøg. Det kan oplyses, at der i de brudlinier, der kan tænkes at opstå under bygningens fundamenter, vil optræde middelnormalspændinger mellem 0 og 40 t/m^2 .

De triaksiale forsøg, der blev udført som konsoliderede, drænedes forsøg med vandmættede prøver med samme poretal som "in situ", gav følgende brudværdier af celletryk $\bar{\sigma}_3$ og lodret tillægsbelastning $\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$:

Forsøg nr.	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)
1	0,4	1,0
2	0,8	1,9
3	1,5	3,3
4	3,0	6,1
5	5,0	9,5

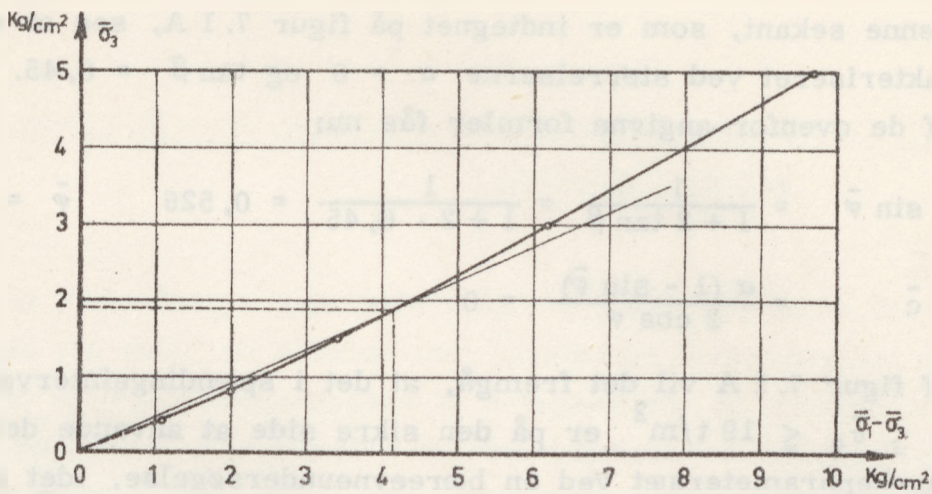
De angivne værdier af hovedspændingerne er korrigeret for ændringer af prøvens volumen og tværsnitsareal under forsøget.

ØNSKES

Bestem den friktionsvinkel φ , der skal anvendes ved en beregning af fundamenternes bæreevne.

LØSNING

På figur 7.1 A er vist en grafisk afbildning af forsøgsresultaterne, idet resultatet af hvert enkelt forsøg er givet som et punkt i et $(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3, \bar{\sigma}_3)$ - koordinatsystem.



Figur 7.1 A: Resultater af triaksiale forsøg.

Under forudsætning af, at de i Coulombs brudbetingelse $\tau \leq \bar{c} + \bar{\sigma} \tan \bar{\varphi}$ indgående styrkeparametre \bar{c} og $\bar{\varphi}$ er konstante størrelser for den pågældende jordart ved den pågældende lejrings-tæthed, vil alle forsøgsresultater i $(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3, \bar{\sigma}_3)$ -koordinatsyste-met ligge på en ret linie, der danner vinklen β med $(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)$ -ak-sen, og som på $(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)$ -aksen afskærer stykket α , hvor β og α er givet ved:

$$\tan \beta = \frac{1 - \sin \bar{\varphi}}{2 \sin \bar{\varphi}}$$

$$\alpha = \frac{2 \bar{c} \cos \bar{\varphi}}{1 - \sin \bar{\varphi}}$$

Af figur 7.1 A fremgår det, at de fundne forsøgsresultater ikke lig-ger på en ret linie. Dette må åbenbart betyde, at den frembringer, der i det sædvanlige Mohrs diagram svarer til Coulombs brudbetin-gelse, ikke er en ret linie, men en krum kurve. Konsekvensen her-af er, at jordens styrkeparametre \bar{c} og $\bar{\varphi}$ afhænger af spændingen i jorden i brudtilstanden.

Da der i de brudlinier, der kan tænkes at opstå under fundamentet, vil optræde middelnormalspændinger mellem 0 og 20 t/m^2 , skal man åbenbart i stabilitetsberegningen anvende de værdier af \bar{c} og $\bar{\varphi}$, der bestemmes af de triaksiale forsøg, svarende til middelnormalspæn-dinger $1/2 (\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_3)$ mellem 0 og 40 t/m^2 .

Af figur 7.1 A fremgår det, at man for $\bar{\sigma}_3 = 0$ har $\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3 = 0$ og følgelig $1/2 (\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_3) = 0$, samt at man for $\bar{\sigma}_3 = 19 \text{ t/m}^2$ har $\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3 = 42 \text{ t/m}^2$ og følgelig $1/2 (\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_3) = 40 \text{ t/m}^2$. Den søgte friktionsvinkel skal således bestemmes ud fra den linie, der for de to punkter, hvor $\bar{\sigma}_3 = 0$ og $\bar{\sigma}_3 = 19 \text{ t/m}^2$, er sekant til kurven gennem forsøgsresultaterne.

Denne sekant, som er indtegnet på figur 7.1 A, ses at være karakteriseret ved størrelserne $\alpha = 0$ og $\tan \beta = 0,45$.

Af de ovenfor angivne formler fås nu:

$$\sin \bar{\varphi} = \frac{1}{1 + 2 \tan \beta} = \frac{1}{1 + 2 \cdot 0,45} = 0,526 \quad \bar{\varphi} = 31,8^\circ$$

$$\bar{c} = \frac{\alpha (1 - \sin \bar{\varphi})}{2 \cos \bar{\varphi}} = 0$$

Af figur 7.1 A vil det fremgå, at det i spændingsintervallet $0 \leq \bar{\sigma}_3 \leq 19 \text{ t/m}^2$ er på den sikre side at anvende det fundne styrkeparametersæt ved en bæreevneundersøgelse, idet sekanten i dette interval ligger over forsøgsresultaterne. Tilsvarende vil det af figur 7.1 A fremgå, at det for $\bar{\sigma}_3 > 19 \text{ t/m}^2$ er på den usikre side at anvende det fundne styrkeparametersæt, idet sekanten her ligger under forsøgsresultaterne.

KONKLUSION

Ved beregningen af fundamenternes bæreevne anvendes friktionsvinklen $\varphi = 31,8^\circ$, idet man samtidig sætter $c = 0$. Der må dog advares imod at anvende dette styrkeparametersæt, såfremt der i brudlinierne optræder middelnormalspændinger større end 40 t/m^2 .

EKSEMPEL 7.2: Bestemmelse af lers udrænedede forskydningsstyrke ved simple trykforsøg.

GIVET

På en aflejring af Skive-septarieler, der i geoteknisk henseende må betegnes som sprækket, skal opføres en 30 m høj skorsten. Med henblik på undersøgelse af skorstensfundamentets korttidsbæreevne er fra lerlaget optaget prøver, som i laboratoriet er underkastet simple trykforsøg (d. v. s. udrænedede triaksiale forsøg med sidetryk nul). Der blev ialt udført 3 forsøg med prøver fra samme dybde. Resultatet af forsøgene var følgende brudværdier af den lodrette hovedspænding σ_1 :

Forsøg nr.	σ_1 (kg/cm ²)
1	0,96
2	1,04
3	0,88

ØNSKES

Bestem den værdi af den udrænedede forskydningsstyrke c , der skal anvendes ved beregningen af fundamentets korttidsbæreevne.

LØSNING

Da der er tale om korttidsbæreevne (udrænedede forsøg) vil jordens tilsyneladende friktionsvinkel φ være nul.

Den udrænedede forskydningsstyrke c bestemmes da af:

$$c = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3)$$

som, idet forsøgene blev udført med sidetryk nul ($\sigma_3 = 0$), giver:

$$c = \frac{1}{2} \sigma_1$$

Idet den aktuelle værdi af den udrænedede forskydningsstyrke bestemmes som middelværdien af resultatet af de tre forsøg fås:

$$c = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} (9,6 + 10,4 + 8,8) = 4,8 \text{ t/m}^2$$

KONKLUSION

Ved beregningen af skorstensfundamentets korttidsbæreevne skal anvendes den udrænedede forskydningsstyrke $c = 4,8 \text{ t/m}^2$, idet man samtidig sætter $\varphi = 0$.

EKSEMPEL 7.3: Bestemmelse af lers effektive styrkeparametre ved triaksiale forsøg.

GIVET

I en aflejring af moræneler, der kan karakteriseres som stenet og sandet, skal udgraves en skråning.

Med henblik på undersøgelse af skråningens langtidsstabilitet er fra moræneleret optaget prøver, hvormed der i laboratoriet er udført tre konsoliderede, udrænede triaksiale forsøg med poretryk nul.

Under det enkelte forsøg blev prøven først konsolideret under det alsidige tryk $\bar{\sigma}_3$. Dernæst blev den lodrette tillægsspænding $\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$ øget trinvis, idet man i hvert trin samtidigt formindske de celletrykket så meget, at poretrykket u forblev konstant lig nul.

De ved de tre forsøg målte sammenhørende værdier af celletryk og lodret tillægsspænding er anført i nedenstående tabel. De angivne værdier af hovedspændingerne er korrigeret for ændringer af prøvens tværsnitsareal under forsøget.

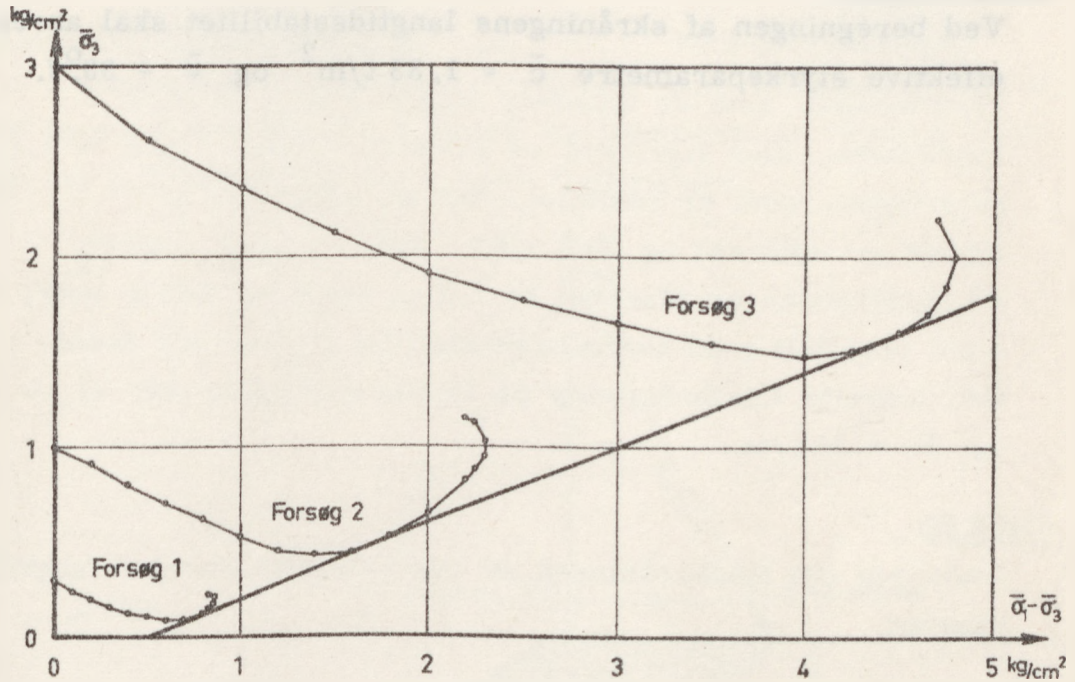
$\bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$
kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0,30	0	1,00	0	3,00	0
0,24	0,10	0,92	0,20	2,62	0,50
0,20	0,20	0,80	0,40	2,37	1,00
0,16	0,30	0,70	0,60	2,13	1,50
0,12	0,40	0,62	0,80	1,91	2,00
0,11	0,50	0,52	1,00	1,77	2,50
0,09	0,60	0,45	1,20	1,66	3,00
0,09	0,70	0,42	1,40	1,55	3,50
0,12	0,80	0,44	1,60	1,48	4,00
0,15	0,83	0,52	1,80	1,51	4,25
0,18	0,86	0,64	2,00	1,60	4,50
0,21	0,86	0,82	2,20	1,70	4,65
0,22	0,83	0,88	2,25	1,84	4,75
		0,95	2,30	2,00	4,80
		1,03	2,30	2,20	4,70
		1,13	2,25		
		1,15	2,20		

ØNSKES

Bestem de værdier af de effektive styrkeparametre \bar{c} og $\bar{\varphi}$, der skal anvendes ved beregningen af skrånings langtidstabilitet.

LØSNING

På figur 7.3 A er vist en grafisk afbildning af forsøgsresultaterne, idet der for hvert enkelt forsøg er optegnet en kurve for spændingsvariationen i et $(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3, \bar{\sigma}_3)$ -koordinatsystem.



Figur 7.3 A: Resultater af triaksiale forsøg.

Under forudsætning af, at de i Coulombs brudbetingelse $\tau \leq \bar{c} + \bar{\sigma} \tan \bar{\varphi}$ indgående styrkeparametre \bar{c} og $\bar{\varphi}$ er konstante størrelser for den pågældende jordart, vil de til brud svarende punkter af kurven for spændingsvariationen i $(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3, \bar{\sigma}_3)$ -koordinatsystemet ligge på en ret linie, der danner vinklen β med $(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)$ -aksen, og som på $(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)$ -aksen afskærer stykket α , hvor β og α er givet ved

$$\tan \beta = \frac{1 - \sin \bar{\varphi}}{2 \sin \bar{\varphi}}$$

$$\alpha = \frac{2 \bar{c} \cos \bar{\varphi}}{1 - \sin \bar{\varphi}}$$

For at finde de til brud svarende punkter af kurven for spændingsvariationen indlægges som vist på figur 7.3 A i $(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3, \bar{\sigma}_3)$ -koordinatsystemet en fællestangent til de tre kurver for spændingsvariationen.

Denne fællestangent ses at være karakteriseret ved størrelserne

$\alpha = 0,50 \text{ kg/cm}^2$ og $\tan \beta = 0,40$. Af de ovenfor angivne formler fås nu:

$$\sin \bar{\varphi} = \frac{1}{1 + 2 \tan \beta} = \frac{1}{1 + 2 \cdot 0,40} = 0,555 \quad \bar{\varphi} = 33,7^\circ$$

$$\bar{c} = \frac{\alpha (1 - \sin \bar{\varphi})}{2 \cos \bar{\varphi}} = \frac{0,50 (1 - 0,555)}{2 \cos 33,7^\circ} = 0,133 \text{ kg/cm}^2$$

KONKLUSION

Ved beregningen af skråningens langtidsstabilitet skal anvendes de effektive styrkeparametre $\bar{c} = 1,33 \text{ t/m}^2$ og $\bar{\varphi} = 33,7^\circ$.

EKSEMPEL 8.1: Skråning helt over grundvandspejlet.GIVET

En flodskråning består af en jordart med følgende egenskaber:

Langtidsstyrkeparametre : $\bar{c} = 1,0 \text{ t/m}^2$ og $\bar{\varphi} = 30^\circ$

Rumvægt : $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$

Kapillær stighøjde : $h_c = 0$

Flodbreden, som er vandret, ligger i kote + 14,0.

Flodbunden, som ligeledes er vandret, ligger i kote + 2,0.

Skråningen, som er retliniet, har anlægget 2 : 3.

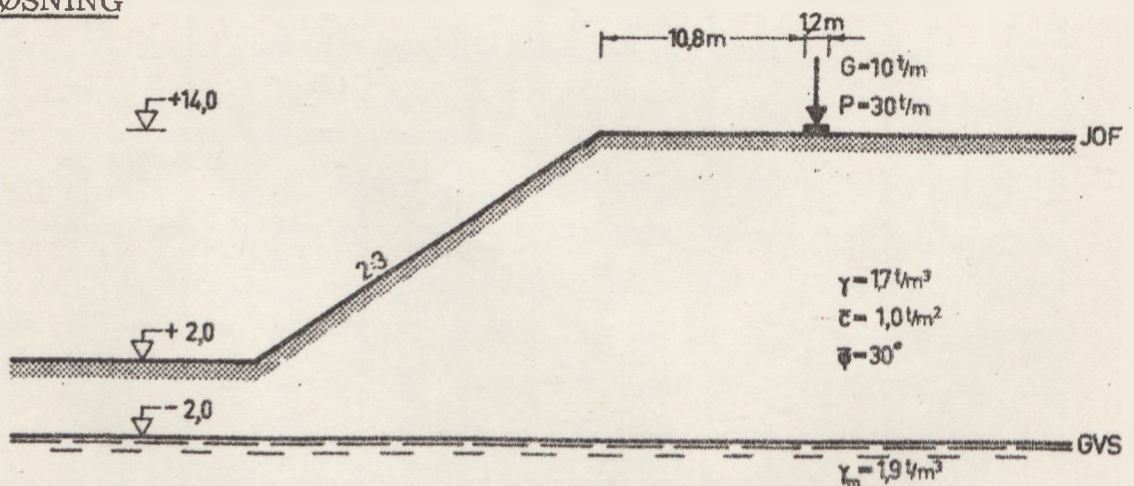
Floden er udtørret og GVS står i kote - 2,0.

På flodbreden er placeret et 1,2 m bredt og 100 m langt fundament parallelt med skråningskanten og 10,8 m fra denne.

Den lodrette totalbelastning på fundamentalsfladen er: $G = 10 \text{ t/m}$ og $P = 30 \text{ t/m}$.

ØNSKES

Undersøg om flodskråningen er tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden.

LØSNING

Figur 8.1 A: Snit gennem skråning.

Forudsætninger

Problemet betragtes som plant. Brudlinien tilnærmes med en logaritmisk spiral med stigningsvinklen $\bar{\varphi}_n$.

Moment fra	Udregning					Moment	
						Driv. tm/m	Stab. tm/m
Egenvægt		længde m	højde m	arm m	γ t/m ³		
	G ₁	4,5	0,5 · 5,0	8,2	1,7	138	
	G ₂	6,7	5,0	3,4	1,7	194	
	G ₃	1,0	5,0	0,5	1,7		4
	G ₄	7,5	0,5 · 5,0	3,5	1,7		112
	G ₅	6,7	0,5 · 4,5	2,2	1,7	56	
	G ₆	8,5	4,5	4,3	1,7		280
	G ₇	8,5	0,5 · 2,5	5,7	1,7		103
	G ₈	10,9	0,5 · 7,0	12,1	1,7		786
Kohæston	$\frac{1}{2} \bar{c}_n (r_1^2 - r_2^2) \cot \bar{\varphi}_n =$					406	1205
	$\frac{1}{2} 0,67 (36,5^2 - 22,5^2) \cot 25,07$						576
Fundam. belastn.	55 · 10,4					572	
Sum						978	1861

Stabilitetsforhold

For den aktuelle brudlinie findes af ovenstående stabilitetsforholdet:

$$f = \frac{M_s}{M_d} = \frac{1866}{978} = 1,90$$

Ved at gennemregne en række spiraler, der alle går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant, findes følgende sammenhæng mellem polens beliggenhed og stabilitetsforholdet:

Polen i kote	Stabilitetsforhold
29	1,98
33	1,90
37	1,91

Da man ved gennemregning af yderligere en række spiraler, som ikke går gennem skråningens fodpunkt eller fundamentets bagkant, finder stabilitetsforhold, som er væsentligt højere end de i ovenstående skema anførte, kan man alt i alt slutte, at det mindste

stabilitetsforhold $f_{\min} = 1,90$ findes for den spiral, som går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant, og som har sin pol beliggende 19 m over flodbredden.

KONKLUSION

Da man i det nominelle brudstadium har $f_{\min} = 1,90 > 1,00$, er skråningen tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden.



EKSEMPEL 8.2: Skråning med vandret grundvandspejl.GIVET

En flodskråning består af en jordart med følgende egenskaber:

Langtidsstyrkeparametre : \bar{c} = $1,0 \text{ t/m}^2$ og $\bar{\varphi}$ = 30°

Rumvægt over GVS : γ = $1,7 \text{ t/m}^3$.

Rumvægt under GVS : γ_m = $1,9 \text{ t/m}^3$.

Kapillær stighøjde : h_c = 0.

Flodbreden, som er vandret, ligger i kote + 14,0.

Flodbunden, som ligeledes er vandret, ligger i kote + 2,0.

Skråningen, som er retliniet, har anlægget $2:3$. → NB 3:2

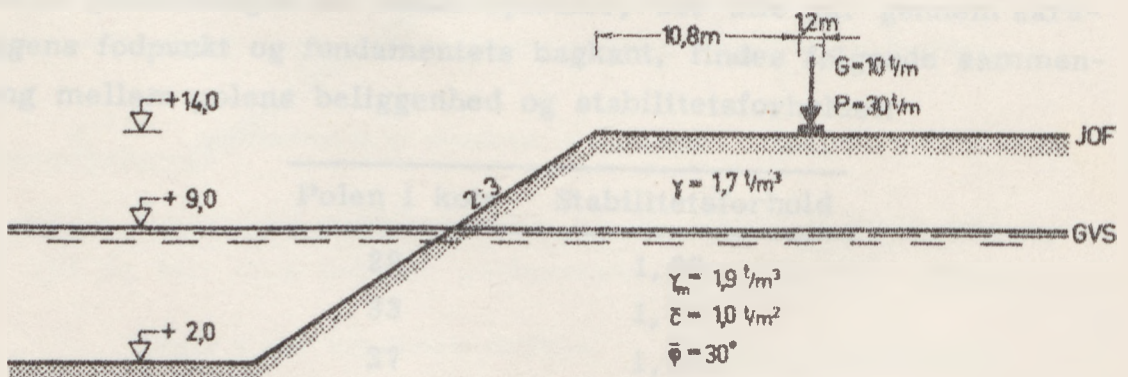
Flodens vandspejl, samt GVS står i kote + 9,0.

På flodbreden er placeret et 1,2 m bredt og 100 m langt fundament parallelt med skråningskanten og 10,8 m fra denne. Den lodrette totalbelastning på fundamentsfladen er: $G = 10 \text{ t/m}$ og $P = 30 \text{ t/m}$.

ØNSKES

Undersøg om flodskråningen er tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden, idet undersøgelsen baseres på anvendelse af:

- Totale spændinger.
- Effektive spændinger.

LØSNING A (Totale spændinger)

Figur 8.2 A: Snit gennem skråning.

Forudsætninger

Problemet betragtes som plant. Brudlinien tilnærmes med en logaritmisk spiral med stigningsvinklen $\bar{\varphi}_n$.

Nominelle værdier

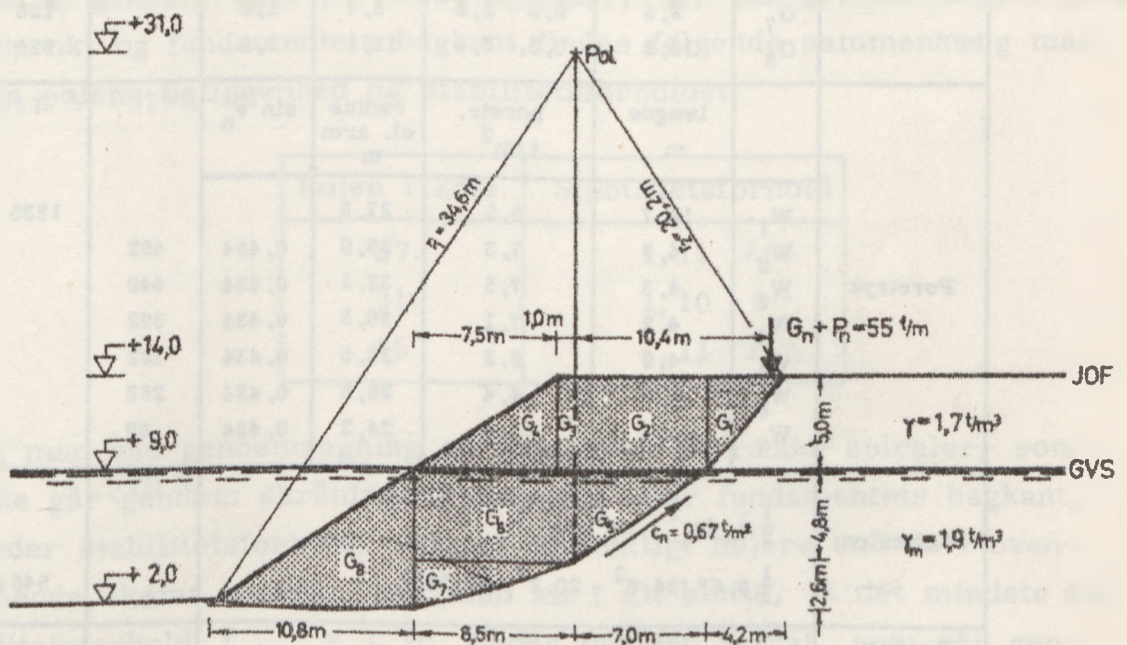
$$G_n + P_n = f_g \cdot G + f_p \cdot P = 1,0 \cdot 10 + 1,5 \cdot 30 = 55 \text{ t/m}$$

$$\bar{c}_n = \frac{\bar{c}}{f_c} = \frac{1,0}{1,5} = 0,67 \text{ t/m}^2$$

$$\bar{\varphi}_n = \text{Arctan} \frac{\tan \bar{\varphi}}{f_\varphi} = \text{Arctan} \frac{\tan 30^\circ}{1,2} = 25,07^\circ$$

Brudlinie, arealindeling og poretryk

Det skønnes, at den farligste brudlinie, som vist på fig. 8.2 B, går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant, samt har sin pol beliggende 17 m over flodbredden.



Figur 8.2 B: Brudlinie og arealinddeling.

Det mellem brudlinien og jordoverfladen beliggende jordlegeme inddeles i trekanter og rektangler, som vist på fig. 8.2 B.

Poretrykket på begrænsningen af det betragtede jordlegeme er optegnet på fig. 8.2 C.

Momentberegning

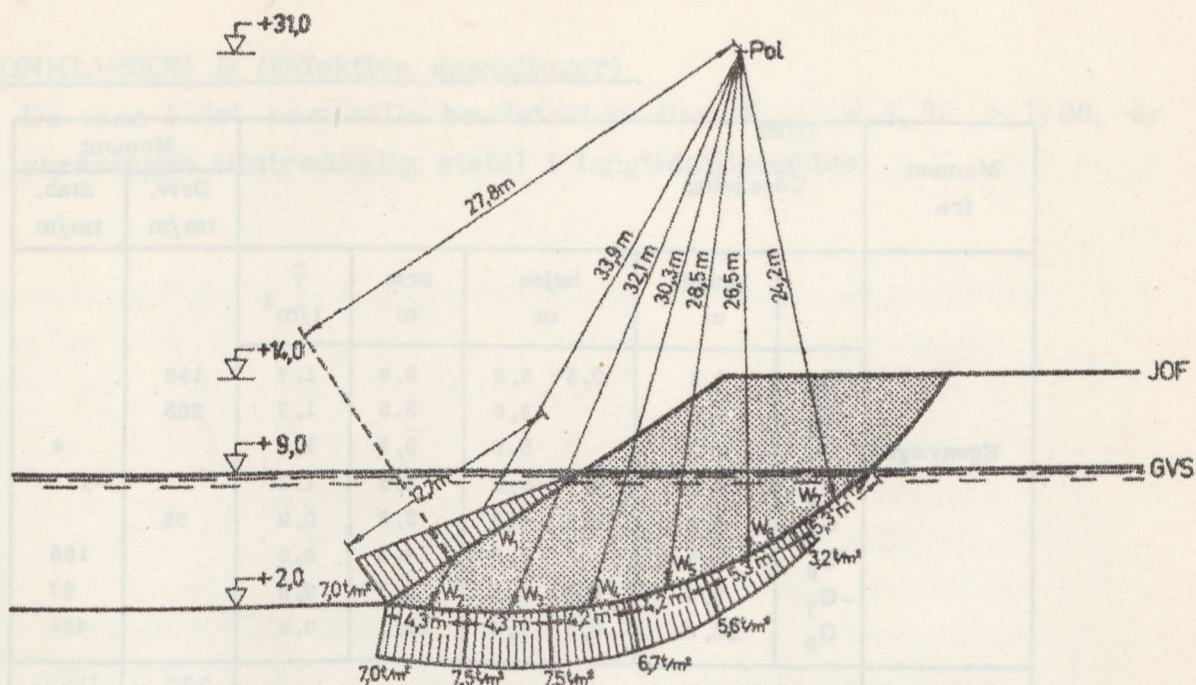
Beregningen af de drivende og stabiliserende momenter foretages i nedenstående skema:

Moment fra	Udregning					Moment		
		længde m	højde m	arm m	γ t/m ³	Driv. tm/m	Stab. tm/m	
Egenvægt	G ₁	4,2	0,5 · 5,0	8,4	1,7	150	A. 112	
	G ₂	7,0	5,0	3,5	1,7			208
	G ₃	1,0	5,0	0,5	1,7			
	G ₄	7,5	0,5 · 5,0	3,5	1,7	73		
	G ₅	7,0	0,5 · 4,8	2,3	1,9			
	G ₆	8,5	4,8	4,3	1,9			
	G ₇	8,5	0,5 · 2,6	5,7	1,9			
	G ₈	10,8	0,5 · 7,4	12,1	1,9			
Poretryk		længde m	poretr. t/m ²	radius el. arm m	$\sin \bar{\varphi}_n$	$\Sigma 431$	$\Sigma 1489$	
	W ₁	12,7	3,5	27,8		1235		
	W ₂	4,3	7,3	33,9	0,434		462	
	W ₃	4,3	7,5	32,1	0,434		449	
	W ₄	4,2	7,1	30,3	0,434		392	
	W ₅	4,2	6,2	28,5	0,434		322	
	W ₆	5,3	4,4	26,5	0,434		268	
	W ₇	5,3	1,6	24,2	0,434		89	
Kohæsion	$\frac{1}{2} \bar{c}_n (r_1^2 - r_2^2) \cot \bar{\varphi}_n =$ $\frac{1}{2} 0,67 (34,6^2 - 20,2^2) \cot 25,0^\circ$						$\Sigma 1982$	546
Fundam. belastn.	55 · 10,4					572		
	Sum					2985	3270	

Stabilitetsforhold

For den aktuelle brudlinie findes stabilitetsforholdet:

$$f = \frac{M_s}{M_d} = \frac{3270}{2985} = 1,10$$



Figur 8.2 C: Poretryk på bevægelig jordlegeme.

Ved at gennemregne en række spiraler, der går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant, findes følgende sammenhæng mellem polens beliggenhed og stabilitetsforholdet:

Polen i kote	Stabilitetsforhold
27	1,11 1,17
31	1,10 1,16
35	1,11 1,12

Da man ved gennemregning af yderligere en række spiraler, som ikke går gennem skråningens fodpunkt eller fundamentets bagkant, finder stabilitetsforhold, som er væsentligt højere end de i ovenstående skema anførte, kan man alt i alt slutte, at det mindste stabilitetsforhold $f_{\min} = 1,10$ findes for den spiral, som går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant, og som har sin pol beliggende 17 m over flodbreden.

KONKLUSION A (Totale spændinger)

Da man i det nominelle brudstadium har $f_{\min} = 1,10 > 1,00$, er skråningen tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden.

LØSNING B (Effektive spændinger)

Beregningen af de drivende og stabiliserende momenter foretages i nedenstående skema, idet der gennemregnes samme spiral, som den under løsning A gennemregnede. Arealinddelingen er vist på figur 8.2 B.

Moment fra	Udregning					Moment	
						Driv. tm/m	Stab. tm/m
Egenvægt		længde m	højde m	arm m	$\bar{\gamma}$ t/m ³		
	G ₁	4,2	0,5 · 5,0	8,4	1,7	150	
	G ₂	7,0	5,0	3,5	1,7	208	
	G ₃	1,0	5,0	0,5	1,7		4
	G ₄	7,5	0,5 · 5,0	3,5	1,7		112
	G ₅	7,0	0,5 · 4,8	2,3	0,9	35	
	G ₆	8,5	4,8	4,3	0,9		158
	G ₇	8,5	0,5 · 2,6	5,7	0,9		57
	G ₈	10,8	0,5 · 7,4	12,1	0,9		436
Kohæsion	$\frac{1}{2} \bar{c}_n (r_1^2 - r_2^2) \cot \bar{\varphi}_n =$ $\frac{1}{2} 0,67 (34,6^2 - 20,2^2) \cot 25,7^\circ$					395	767
Fundam. belastn.	55 · 10,4						572
	Sum					965	1313

Stabilitetsforhold

For den aktuelle brudlinie findes stabilitetsforhold

$$f = \frac{M_s}{M_d} = \frac{1313}{965} = 1,36$$

Ved at gennemregne en række spiraler, der alle går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant findes følgende sammenhæng mellem polens beliggenhed og stabilitetsforholdet:

Polen i kote	Stabilitetsforhold
13	1,40
17	1,36
21	1,38

Da man ved gennemregning af yderligere en række spiraler, som ikke går gennem skråningens fodpunkt eller fundamentets bagkant, finder stabilitetsforhold, som er væsentligt højere end de i ovenstående skema anførte, kan man alt i alt slutte, at det mindste stabilitetsforhold $f_{\min} = 1,36$ findes for den spiral, som går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant, og som har sin pol beliggende 17 m over flodbreden.

KONKLUSION B (Effektive spændinger)

Da man i det nominelle brudstadium har $f_{min} = 1,36 > 1,00$, er skråningen tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden.



EKSEMPEL 8.3: Skråning med vandret grundvandspejl og med kapillaritet.

GIVET

En flodskråning består af en jordart med følgende egenskaber:

Langtidsstyrkeparametre : \bar{c} = $1,0 \text{ t/m}^2$ og $\bar{\varphi}$ = 30°

Rumvægt over GVS : γ = $1,7 \text{ t/m}^3$

Rumvægt under GVS : γ_m = $1,9 \text{ t/m}^3$

Kapillær stighøjde : h_c = $2,0 \text{ m}$

Flodbreden, som er vandret, ligger i kote + 14,0.

Flodbunden, som ligeledes er vandret, ligger i kote + 2,0.

Skråningen, som er retlinet, har anlægget $2:3$. *→ DETTE ER LØRE ANLÆG MEN HÆLDNING*

Flodens vandspejl samt GVS i jorden står i kote + 9,0.

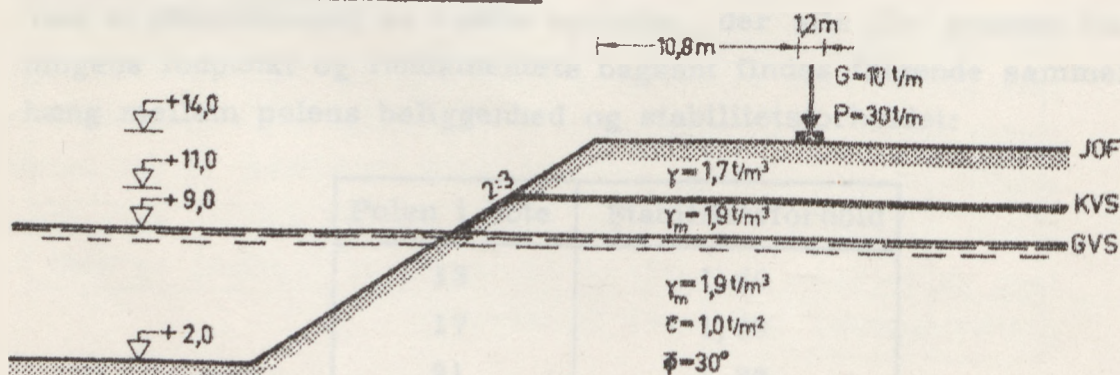
På flodbreden er placeret et 1,2 m bredt og 100 m langt fundament parallelt med skråningskanten og 10,8 m fra denne. Den lodrette totalbelastning på fundamentsfladen er: $G = 10 \text{ t/m}$ og $P = 30 \text{ t/m}$.

ØNSKES

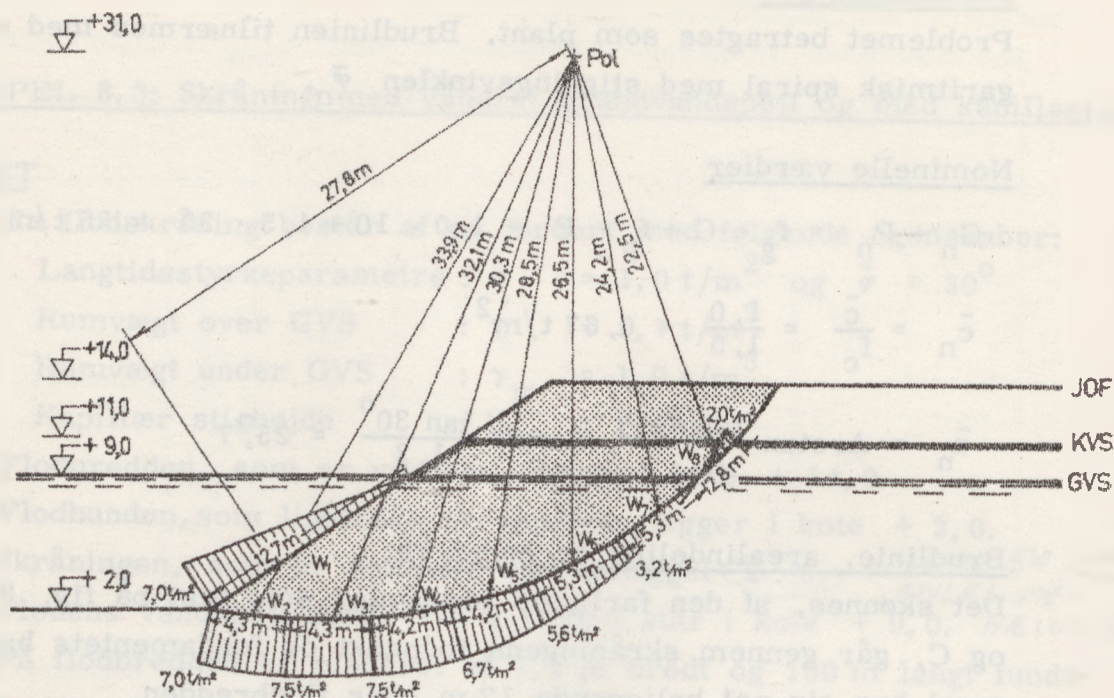
Undersøg om flodskråningen er tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden, idet undersøgelsen baseres på anvendelse af:

- Totalte spændinger.
- Effektive spændinger.

LØSNING A (Totale spændinger)



Figur 8.3 A: Snit gennem skråning.



Figur 8.3 C: Poretryk på bevægelig jordlegeme.

Poretrykket er optegnet på figur 8.2 C.

Momentberegning

Beregningen af de drivende og stabiliserende momenter foretages i omstående skema:

Moment fra	Udregning					Moment	
		længde m	højde m	arm m	γ t/m ³	Driv. tm/m	Stab. tm/m
Egenvægt	G ₁	2,3	0,5 · 3,0	9,6	1,7	56	
	G ₂	8,8	3,0	4,4	1,7	198	
	G ₃	1,0	3,0	0,5	1,7		3
	G ₄	4,5	0,5 · 3,0	2,5	1,7		29
	G ₅	4,5	0,5 · 4,0	5,8	1,9	99	
	G ₆	4,3	4,0	2,2	1,9	72	
	G ₇	4,3	0,5 · 2,7	1,4	1,9	15	
	G ₈	5,5	6,7	2,8	1,9		175
	G ₉	5,5	0,5 · 2,0	3,7	1,9		39
	G ₁₀	6,0	0,5 · 4,0	7,5	1,9		171
	G ₁₁	6,0	4,7	8,5	1,9		455
	G ₁₂	6,0	0,5 · 0,8	9,5	1,9		43
	G ₁₃	7,7	0,5 · 5,5	14,1	1,9		567
Poretryk		længde m	poretryk t/m ²	radius el. arm m	$\sin \bar{\varphi}_n$		
	W ₁	12,7	0,5 · 7,0	27,8			1235
	W ₂	4,3	7,3	33,9	0,434	462	
	W ₃	4,3	7,5	32,1	0,434	449	
	W ₄	4,2	7,1	30,3	0,434	392	
	W ₅	4,2	6,2	28,5	0,434	322	
	W ₆	5,3	4,4	26,5	0,434	268	
	W ₇	5,3	1,6	24,2	0,434	89	
W ₈	2,8	0,5 · 2,0	22,5	0,434		27	
Kohæsion	$\frac{1}{2} \bar{c}_n (r_1^2 - r_2^2) \cot \bar{\varphi}_n =$ $\frac{1}{2} 0,67 (34,6^2 - 20,2^2) \cot 25,07$						546
Fundam. belastn.	55 · 10,4					572	
Sum						2994	3290

Stabilitetsforhold

For den aktuelle brudlinie findes stabilitetsforholdet

$$f = \frac{M_s}{M_d} = \frac{3290}{2994} = 1,10$$

Ved at gennemregne en række spiraler, der går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant findes følgende sammenhæng mellem polens beliggenhed og stabilitetsforholdet:

Polen i kote	Stabilitetsforhold
27	1,11
31	1,10
35	1,11

Da man ved gennemregning af yderligere en række spiraler, som ikke går gennem skråningens fodpunkt eller fundamentets bagkant, finder stabilitetsforhold, som er væsentligt højere end de i ovenstående skema anførte, kan man alt i alt slutte, at det mindste stabilitetsforhold $f_{\min} = 1,10$ findes for den spiral, som går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant, og som har sin pol beliggende 17 m over flodbredden.

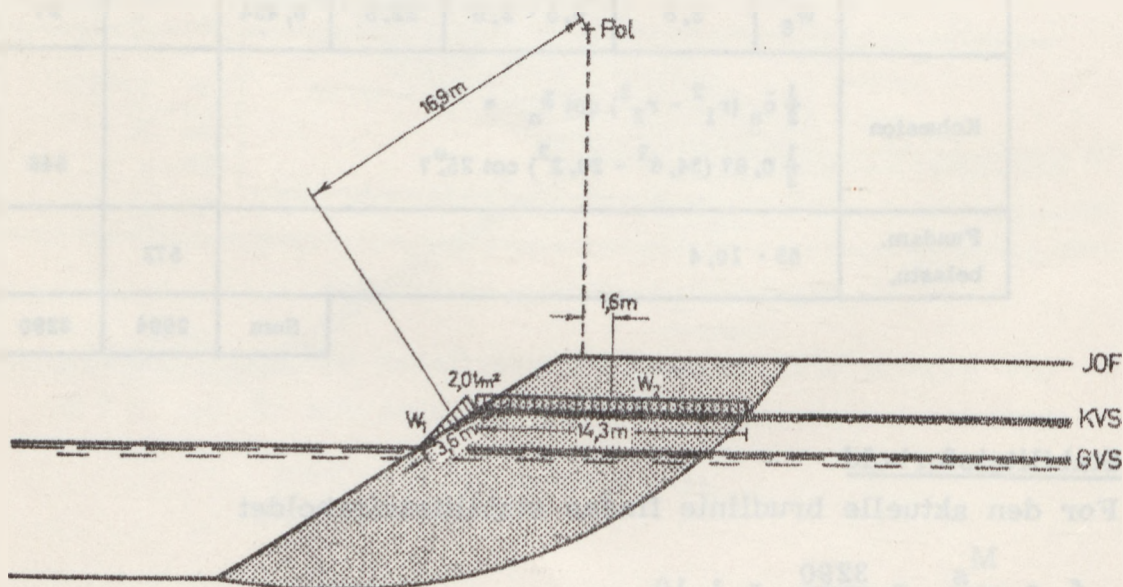
KONKLUSION A (Totale spændinger)

Da man i det nominelle brudstadium har $f_{\min} = 1,10 > 1,00$, er skråningen tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden.

LØSNING B (Effektive spændinger)

Momentberegning

Beregningen af de drivende og stabiliserende momenter foretages i omstående skema, idet der gennemregnes samme spiral som under løsning A. Arealinddelingen er vist på figur 8.3 B og kapillartrykket er vist på figur 8.3 D.



Figur 8.3 D: Kapillartryk på bevægelig jordlegeme.

Moment fra	Udregning					Moment	
		længde m	højde m	arm m	\bar{y} t/m ³	Driv. tm/m	Stab. tm/m
Egenvægt	G ₁	2,3	0,5 · 3;0	9,6	1,7	56	
	G ₂	8,8	3,0	4,4	1,7	198	
	G ₃	1,0	3,0	0,5	1,7		3
	G ₄	4,5	0,5 · 3,0	2,5	1,7		29
	G ₅	4,5	0,5 · 4,0	5,8	0,9	47	
	G ₆	4,3	4,0	2,2	0,9	34	
	G ₇	4,3	0,5 · 2,7	1,4	0,9	7	
	G ₈	5,5	6,7	2,8	0,9		93
	G ₉	5,5	0,5 · 2,0	3,7	0,9		18
	G ₁₀	6,0	0,5 · 4,0	7,5	0,9		81
	G ₁₁	6,0	4,7	8,5	0,9		216
	G ₁₂	6,0	0,5 · 0,8	9,5	0,9		21
	G ₁₃	7,7	0,5 · 5,5	14,1	0,9		268
Kapillar-tryk		længde m	kap. tryk t/m ²	arm m			
	W ₁	3,6	0,5 · 2,0	16,9			61
W ₂	14,3	2,0	1,6		46		
Kohæsion	$\frac{1}{2} \bar{c}_n (r_1^2 - r_2^2) \cot \bar{\varphi}_n =$ $\frac{1}{2} 0,67 (34,8^2 - 20,2^2) \cot 25,7$						546
Fundam. belastn.	55 · 10,4					572	
Sum						960	1336

Stabilitetsforhold

For den aktuelle brudlinie findes stabilitetsforholdet

$$f = \frac{M_s}{M_d} = \frac{1336}{960} = 1,39$$

Ved at gennemregne en række spiraler, der alle går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant, findes følgende sammenhæng mellem polens beliggenhed og stabilitetsforholdet:

Polen i kote	Stabilitetsforhold
27	1,43
31	1,39
35	1,41

Da man ved gennemregning af yderligere en række spiraler, som ikke går gennem skråningsens fodpunkt eller fundamentets bagkant, finder stabilitetsforhold, som er væsentligt højere end de i foranstående skema anførte, kan man alt i alt slutte, at det mindste stabilitetsforhold $f_{\min} = 1,39$ findes for den spiral, som går gennem skråningsens fodpunkt og fundamentets bagkant, og som har sin pol beliggende 17 m over flodbredden.

KONKLUSION B (Effektive spændinger)

Da man i det nominelle brudstadium har $f_{\min} = 1,39 > 1,00$, er skrånningen tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden.

Polens afstand fra fundamentets bagkant (m)	Polens afstand fra skråningsens fodpunkt (m)	Stabilitetsforhold f_{\min}
0	0	1,39
10	10	1,45
20	20	1,50
30	30	1,55
40	40	1,60
50	50	1,65
60	60	1,70
70	70	1,75
80	80	1,80
90	90	1,85
100	100	1,90
110	110	1,95
120	120	2,00
130	130	2,05
140	140	2,10
150	150	2,15
160	160	2,20
170	170	2,25
180	180	2,30
190	190	2,35
200	200	2,40



EKSEMPEL 8.4: Skråning med strømning.GIVET

En flodskråning består af en jordart med følgende egenskaber:

Langtidsstyrkeparametre : \bar{c} = $1,0 \text{ t/m}^2$ og $\bar{\varphi}$ = 30°

Rumvægt over GVS : γ = $1,7 \text{ t/m}^3$

Rumvægt under GVS : γ_m = $1,9 \text{ t/m}^3$

Kapillær stighøjde : h_c = 0.

Flodbredden, som er vandret, ligger i kote + 14,0.

Flodbunden ligger i kote + 2,0.

Skråningen, som er retlinet, har anlægget 2 : 3.

Vandspejlet står i kote + 9,0.

På flodbredden er placeret et 1,2 m bredt og 100 m langt fundament parallelt med skråningskanten og 10,8 m fra denne. Den lodrette totalbelastning på fundamentsfladen er: $G = 10 \text{ t/m}$ og $P = 30 \text{ t/m}$.

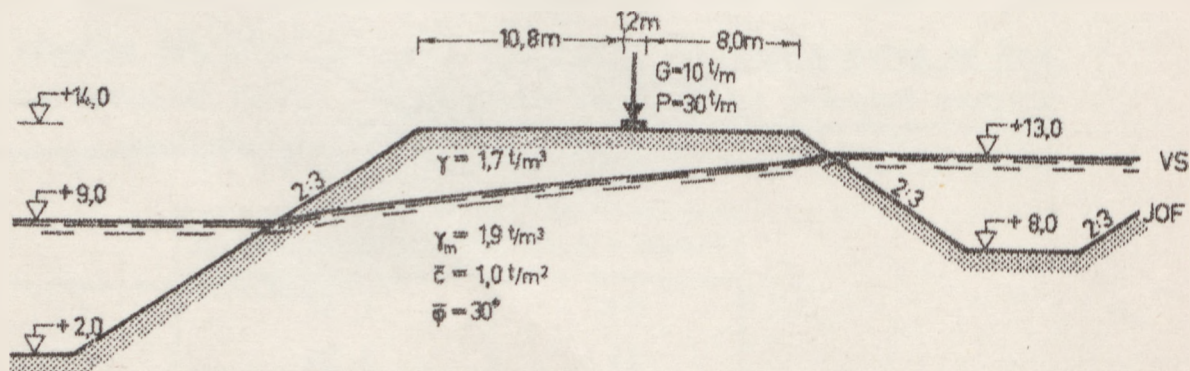
På bredden er der desuden udgravet en kanal parallel med skråningskanten og 20 m fra denne. Kanalen er udgravet til kote + 8,0 med anlæg 2 : 3 og bundbredde 6 m. Kanalens vandspejl står i kote + 13,0.

Under kote - 10,0 findes fjeld.

ØNSKES

Undersøg om flodskråningen er tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden, idet undersøgelsen baseres på anvendelse af:

- Totalt spændinger og poretryk.
- Effektive spændinger og potentialtryk.

LØSNING A (Totale spændinger og poretryk)

Figur 8.4 A: Snit gennem skråning.

Forudsætninger

Problemet betragtes som plant. Brudlinien tilnærmes med en logaritmisk spiral med stigningsvinklen $\bar{\varphi}_n$.

Nominelle værdier

$$G_n + P_n = f_g \cdot G + f_p \cdot P = 1,0 \cdot 10 + 1,5 \cdot 30 = 55 \text{ t/m}$$

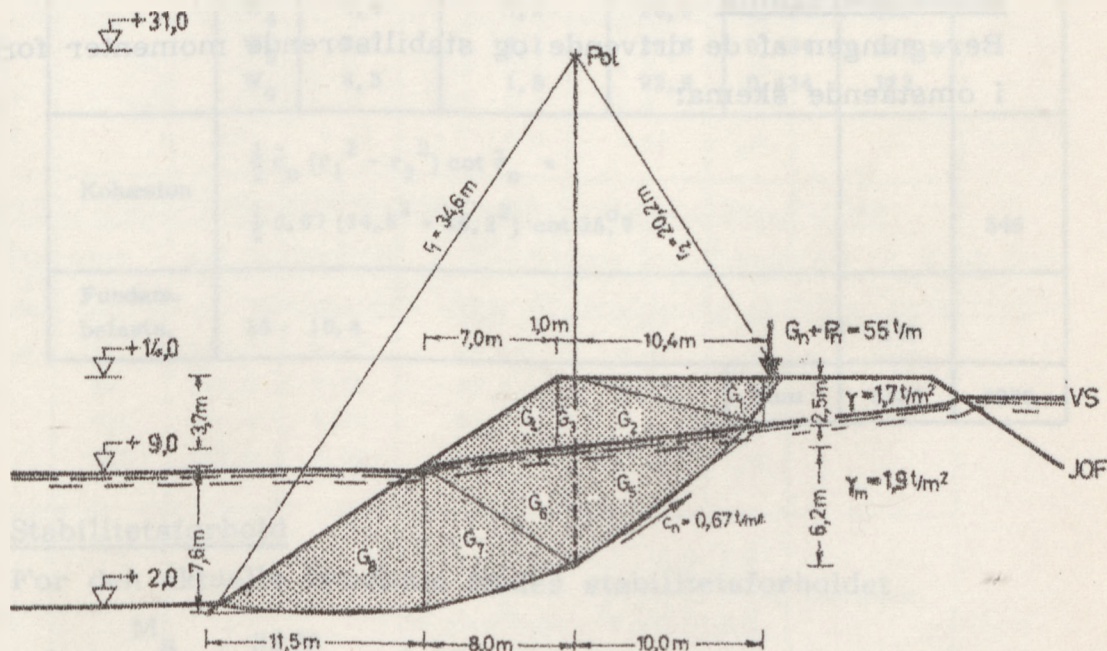
$$\bar{c}_n = \frac{\bar{c}}{f_c} = \frac{1,0}{1,5} = 0,67 \text{ t/m}^2$$

$$\bar{\varphi}_n = \text{Arctan} \frac{\tan \bar{\varphi}}{f_\varphi} = \text{Arctan} \frac{\tan 30^\circ}{1,2} = 25,7^\circ$$

Brudlinie, arealinddeling og poretryk

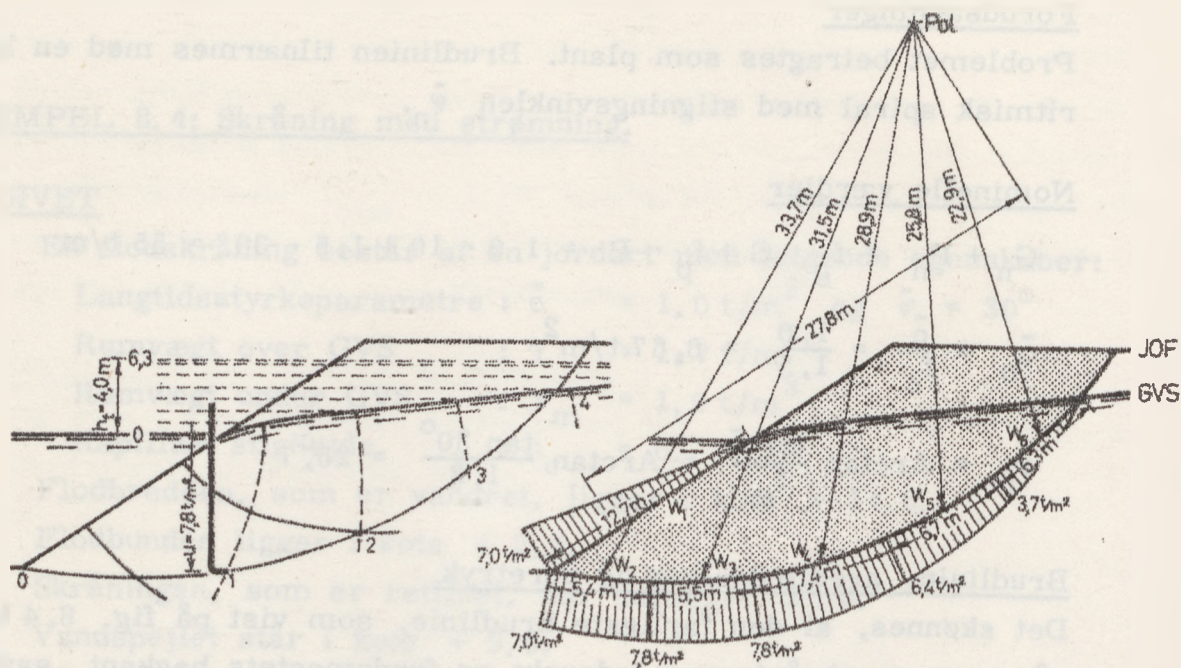
Det skønnes, at den farligste brudlinie, som vist på fig. 8.4 B, går gennem skråningens fodpunkt og fundamentets bagkant, samt har sin pol beliggende 17 m over flodbreden.

Det mellem brudlinien og jordoverfladen beliggende jordlegeme inddeles i trekanter og rektangler, som vist på fig. 8.4 B.



Figur 8.4 B: Brudlinie og arealinddeling.

For at kunne gennemføre stabilitetsanalysen er det nødvendigt at kende strømnettet for den strømning, der opstår i jorden mellem de to kanaler. Dette strømnet er konstrueret i eksempel 4.5. Den for udregningen af poretrykket nødvendige del af strømnettet er vist til venstre på figur 8.4 C. Poretrykket på begrænsningen af det betragtede jordlegeme er optegnet til højre på figur 8.4 C.



Figur 8.4 C: Poretryk på bevægelig jordlegeme.

Momentberegning

Beregningen af de drivende og stabiliserende momenter foretages i omstående skema:

Moment fra	Udregning					Moment	
		længde m	højde m	arm m	γ t/m ³	Driv. tm/m	Stab. tm/m
Egenvægt	G ₁	10,0	0,5 · 2,5	6,7	1,7	142	3 73 127 306 980
	G ₂	10,0	0,5 · 3,7	3,3	1,7	104	
	G ₃	1,0	3,7	0,5	1,7		
	G ₄	7,0	0,5 · 3,7	3,3	1,7		
	G ₅	10,0	0,5 · 6,2	3,3	1,9	194	
	G ₆	8,0	0,5 · 6,2	2,7	1,9		
	G ₇	8,0	0,5 · 7,6	5,3	1,9		
	G ₈	11,5	0,5 · 7,6	11,8	1,9		
Poretryk		længde m	poretryk t/m ²	radius el. arm m	$\sin \bar{\varphi}_n$		1235
	W ₁	12,7	3,5	27,8			
	W ₂	5,4	7,4	33,7	0,434	585	
	W ₃	5,5	7,8	31,5	0,434	586	
	W ₄	7,4	7,1	28,9	0,434	659	
	W ₅	6,7	5,1	25,8	0,434	383	
	W ₆	6,3	1,8	22,9	0,434	113	
Kohæsion	$\frac{1}{2} \bar{c}_n (r_1^2 - r_2^2) \cot \bar{\varphi}_n =$ $\frac{1}{2} 0,67 (34,6^2 - 20,2^2) \cot 25,07$						546
Fundam. belastn.	55 · 10,4						572
					Sum	3338	3270

Stabilitetsforhold

For den aktuelle brudlinie findes stabilitetsforholdet

$$f = \frac{M_s}{M_d} = \frac{3270}{3338} = 0,98$$

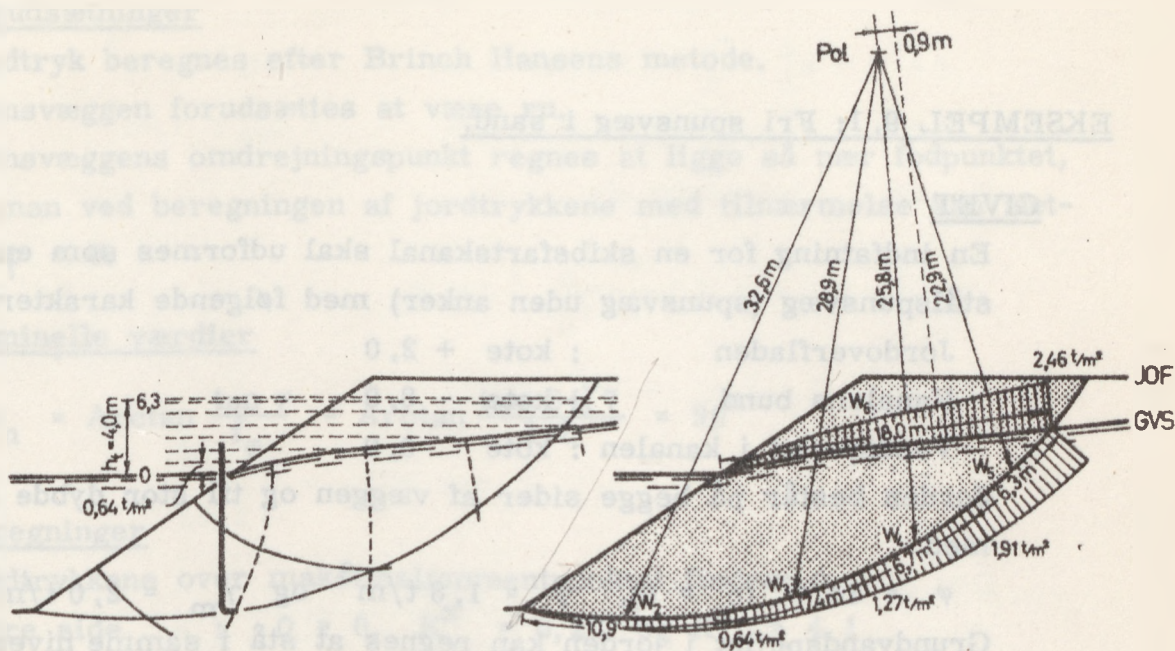
KONKLUSION A (Totale spændinger og poretryk)

Da man i det nominelle brudstadium har fundet $f = 0,98$ for een spiral, er skråningen ikke tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden.

LØSNING B (Effektive spændinger og potentialtryk)Momentberegning

Beregningen af de drivende og stabiliserende momenter foretages i nedenstående skema, idet der gennemregnes samme spiral som under løsning A. Arealinddelingen er vist på figur 8.4 B, og potentialtrykket på begrænsningen af det betragtede jordlegeme er optegnet på figur 8.4 D.

Moment fra	Udregning					Moment	
						Driv. tm/m	Stab. tm/m
Egenvægt		længde m	højde m	arm m	$\bar{\gamma}$ t/m ³		
	G ₁	10,0	0,5 · 2,5	6,7	1,7	142	
	G ₂	10,0	0,5 · 3,7	3,3	1,7	104	
	G ₃	1,0	3,7	0,5	1,7		3
	G ₄	7,0	0,5 · 3,7	3,3	1,7		73
	G ₅	10,0	0,5 · 6,2	3,3	0,9	92	
	G ₆	8,0	0,5 · 6,2	2,7	0,9		60
	G ₇	8,0	0,5 · 7,6	5,3	0,9		145
G ₈	11,5	0,5 · 7,6	11,8	0,9		465	
Potential- tryk		længde m	pot. tryk t/m ²	radius el. arm m	$\sin \bar{\varphi}_n$		
	W ₁	18,0	1,23	0,9		20	
	W ₂	10,9	0,32	32,6	0,434	49	
	W ₃	7,4	0,95	28,9	0,434	88	
	W ₄	6,7	1,59	25,8	0,434	119	
	W ₅	6,3	2,19	22,9	0,434	137	
Kohæsion	$\frac{1}{2} \bar{c}_n (r_1^2 - r_2^2) \cot \bar{\varphi}_n =$ $\frac{1}{2} 0,67 (34,6^2 - 20,2^2) \cot 25,7$						546
Fundam. belastn.	55 · 10,4						572
	Sum					1323	1292



Figur 8.4 D: Potentialtryk på bevægelig jordlegeme.

Stabilitetsforhold

For den aktuelle brudlinie findes stabilitetsforholdet

$$f = \frac{M_s}{M_d} = \frac{1292}{1323} = 0,98$$

KONKLUSION B (Effektive spændinger og potentialtryk)

Da man i det nominelle brudstadium har fundet $f = 0,98$ for een spiral er skråningen ikke tilstrækkelig stabil i langtidstilstanden.

EKSEMPEL 9.1: Fri spunsvæg i sand.GIVET

En indfatning for en skibsfartskanal skal udformes som en fri stålsunsvæg (spunsvæg uden anker) med følgende karakteristika:

Jordoverfladen : kote + 2,0

Kanalens bund : kote - 8,0

Vandspejlet i kanalen : kote 0,0

Jorden består på begge sider af væggen og til stor dybde af sand med

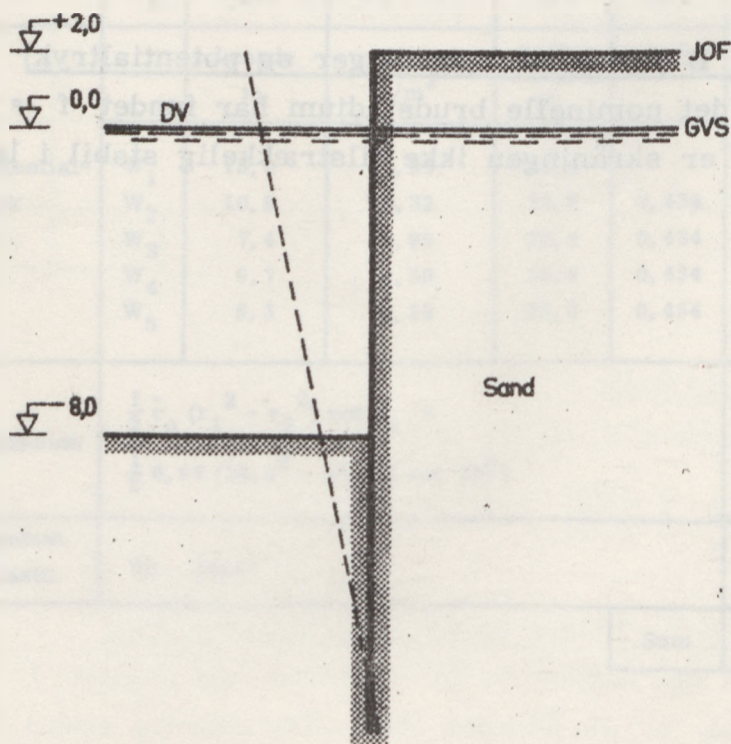
$$\varphi = 34,7^\circ \quad (c = 0), \quad \gamma = 1,8 \text{ t/m}^3 \quad \text{og} \quad \gamma_m = 2,0 \text{ t/m}^3$$

Grundvandspejlet i jorden kan regnes at stå i samme niveau som vandspejlet i kanalen.

Jordoverfladen kan regnes ubelastet.

ØNSKES

Bestem det maksimale moment M i spunsvæggen samt den nødvendige rammedybde d .

LØSNING

Figur 9.1 A: Snit i fri stålsunsvæg i sand.

Forudsætninger

Jordtryk beregnes efter Brinch Hansens metode.

Spunsvæggen forudsættes at være ru.

Spunsvæggens omdrejningspunkt regnes at ligge så nær fodpunktet, at man ved beregningen af jordtrykkene med tilnærmelse kan sætte $\rho = 0$.

Nominelle værdier

$$\varphi_n = \text{Arctan} \frac{\tan \varphi}{f} = \text{Arctan} \frac{\tan 34,7^\circ}{1,2} = 30^\circ$$

Beregninger

Jordtrykkene over maksimalmomentpunktet findes:

Højre side : $\rho = 0$, $K_\gamma^x = 0,27$ og $K_\gamma^y = 4,1$

$$\text{Kote } + 2,0 : e_1^x = 0 \quad \text{t/m}^2$$

$$\text{Kote } 0 : e_1^x = 1,8 \cdot 2,0 \cdot 0,27 = 0,97 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Kote } - 8,0 : e_1^x = (1,8 \cdot 2,0 + 1,0 \cdot 8,0) \cdot 0,27 = 3,13 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Kote } - (8+z) : e_1^x = (1,8 \cdot 2,0 + 1,0(8+z)) \cdot 0,27 = 3,13 + 0,27z \text{ t/m}^2$$

Venstre side : $\rho = 0$, $K_\gamma^x = 5,7$ og $K_\gamma^y = 1,5$

$$\text{Kote } - 8,0 : e_2^x = 0$$

$$\text{Kote } - (8+z) : e_2^x = 1,0z \cdot 5,7 = 5,7z \text{ t/m}^2$$

Maksimalmomentet findes, hvor transversalkraften i spunsvæggen er lig nul:

$$\frac{1}{2} \cdot 2,0 \cdot 0,97 + \frac{1}{2} (0,97 + 3,13 + 0,27z)(8+z) = \frac{1}{2} z \cdot 5,7z$$

hvoraf findes:

$$z = 3,17 \text{ m}$$

Jordtrykkene i maksimalmomentpunktet findes nu:

$$\text{Kote } - 11,17 : e_1^x = 3,13 + 0,27 \cdot 3,17 = 3,99 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Kote } - 11,17 : e_2^x = 5,7 \cdot 3,17 = 18,06 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Kote } - 11,17 : e_1^y = (1,8 \cdot 2,0 + 1,0(8,0 + 3,17)) \cdot 4,1 = 60,5 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Kote } - 11,17 : e_2^y = 1,0 \cdot 3,17 \cdot 1,5 = 4,8 \text{ t/m}^2$$

Maksimalmomentet findes:

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{2} \cdot 2,0 \cdot 0,97 (11,17 + \frac{1}{3} \cdot 2,0) + \frac{1}{2} \cdot 11,17^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,97 \\ &+ \frac{1}{2} \cdot 11,17^2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 3,99 - \frac{1}{2} \cdot 3,17^2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 18,06 = 104,4 \text{ tm/m} \end{aligned}$$

Differens - enhedsjordtrykkene findes:

$$\Delta e^x = e_2^x - e_1^x = 18,06 - 3,99 = 14,07 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta e^y = e_1^y - e_2^y = 60,5 - 4,8 = 55,7 \text{ t/m}^2$$

C_1 og C_2 beregnes af:

$$\left. \begin{array}{l} C_1 \\ C_2 \end{array} \right\} = 1,0 + 0,1 \frac{\tan \delta_n}{\tan \varphi_n} \bar{\tau} \tan \varphi_n$$

der med $\delta_n = \varphi_n = 30^\circ$ giver:

$$\left. \begin{array}{l} C_1 \\ C_2 \end{array} \right\} = 1,0 + 0,1 \cdot 1,0 \bar{\tau} \tan 30^\circ = \begin{cases} 0,52 \\ 1,68 \end{cases}$$

Den ekstra rammedybde Δh findes:

$$\begin{aligned} \Delta h &= \left(\frac{C_2}{C_1} + \frac{\Delta e^y}{\Delta e^x} \right) : \sqrt{\frac{\Delta e^y}{2M} \left(2 \cdot \frac{C_2}{C_1} + \frac{\Delta e^y}{\Delta e^x} - 1 \right)} \\ &= \left(\frac{1,68}{0,52} + \frac{55,7}{14,07} \right) : \sqrt{\frac{55,7}{2 \cdot 104,4} \cdot \left(2 \cdot \frac{1,68}{0,52} + \frac{55,7}{14,07} - 1 \right)} \\ &= 4,54 \text{ m} \end{aligned}$$

Spunsvæggen skal således gives rammedybden:

$$d = 3,17 + 4,54 = 7,71 \text{ m.}$$

KONKLUSION

Det maksimale moment i spunsvæggen er $M = 104,4 \text{ tm/m}$ og den nødvendige rammedybde er $d = 7,71 \text{ m}$.

EKSEMPEL 9.2: Forankret spunsvæg i sand.GIVET

En indfatning for en skibsfartskanal skal udformes som en forankret stålspunsvæg med følgende karakteristika:

Jordoverfladen : kote + 2,0

Kanalens bund : kote - 8,0

Forankringen : kote 0,0

Vandspejlet i kanalen : kote 0,0

Jorden består på begge sider af væggen og til stor dybde af sand med:

$$\varphi = 34,7^\circ \quad (c = 0), \quad \gamma = 1,8 \text{ t/m}^3 \quad \text{og} \quad \gamma_m = 2,0 \text{ t/m}^3$$

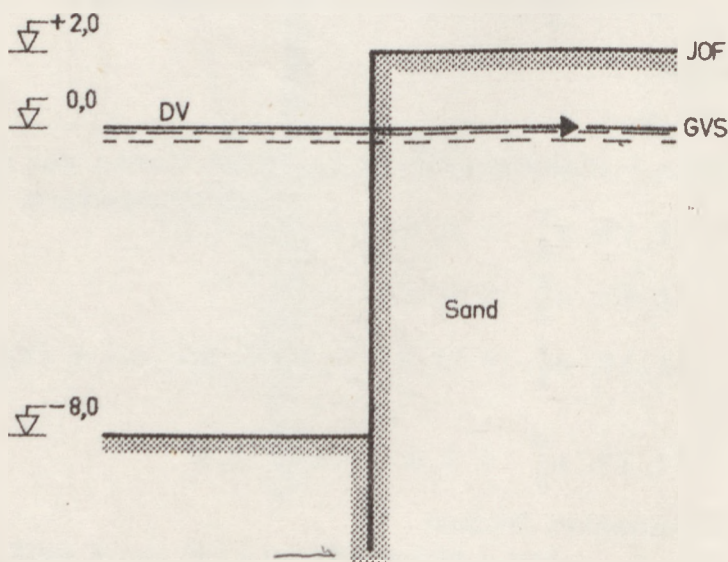
Grundvandspejlet i jorden kan regnes at stå i samme niveau som vandspejlet i kanalen.

Jordoverfladen kan regnes ubelastet.

ØNSKES

Find det maksimale moment M i spunsvæggen, ankertrækket A og væggens nødvendige rammedybde d under forudsætning af følgende brudmåde:

- Uden flydecharnier
- Med et flydecharnier
- Med to flydecharnier

TEGNING

Figur 9.2 A: Snit i forankret stålspunsvæg i sand.

LØSNING A (Uden flydecharnier)Forudsætninger

Jordtrykket beregnes efter Brinch Hansens metode.

Spunsvæggen forudsættes at være ru.

Væggen forudsættes i bruttilstanden at dreje sig som et stift hele om forankringspunktet.

Nominelle værdier

$$\varphi_n = \text{Arctan} \frac{\tan \varphi}{f_\varphi} = \text{Arctan} \frac{\tan 34,7^\circ}{1,2} = 30^\circ$$

Beregninger

Beregningerne opstilles i skemaform således som vist på følgende to sider.

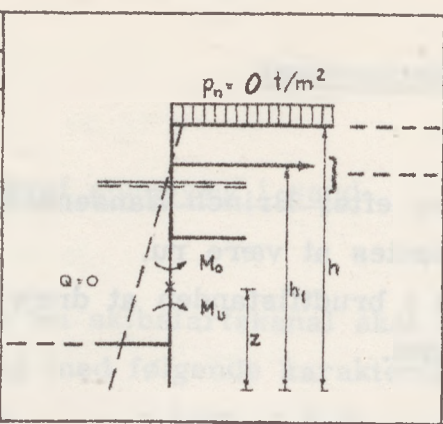
Der er foretaget to gennemregninger, men kun beregningerne svarende til den sidste gennemregning er medtaget. De to gennemregninger har givet følgende resultater:

Gennemregning nr.		1	2
Rammedybde d	(m)	1,8	2,1
Ankertræk A	(t/m)	21,3	18,8
Maksimalmoment Mo/Mu	(tm/m)	31,2/8,4	13,0/17,4

På grundlag af disse resultater findes ved grafisk interpolation, således som vist på følgende side, det endelige resultat:

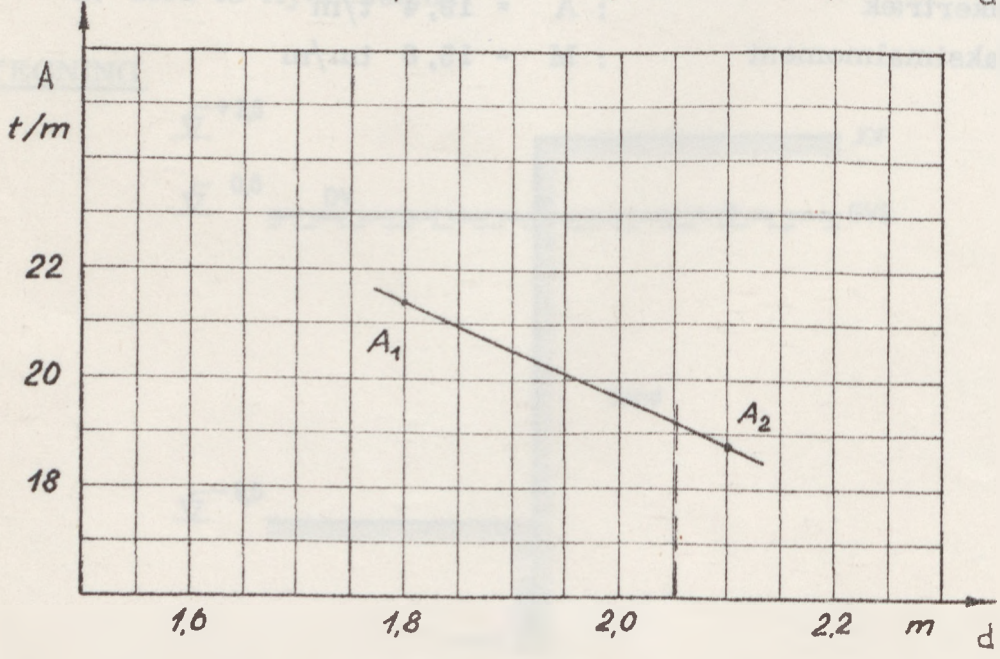
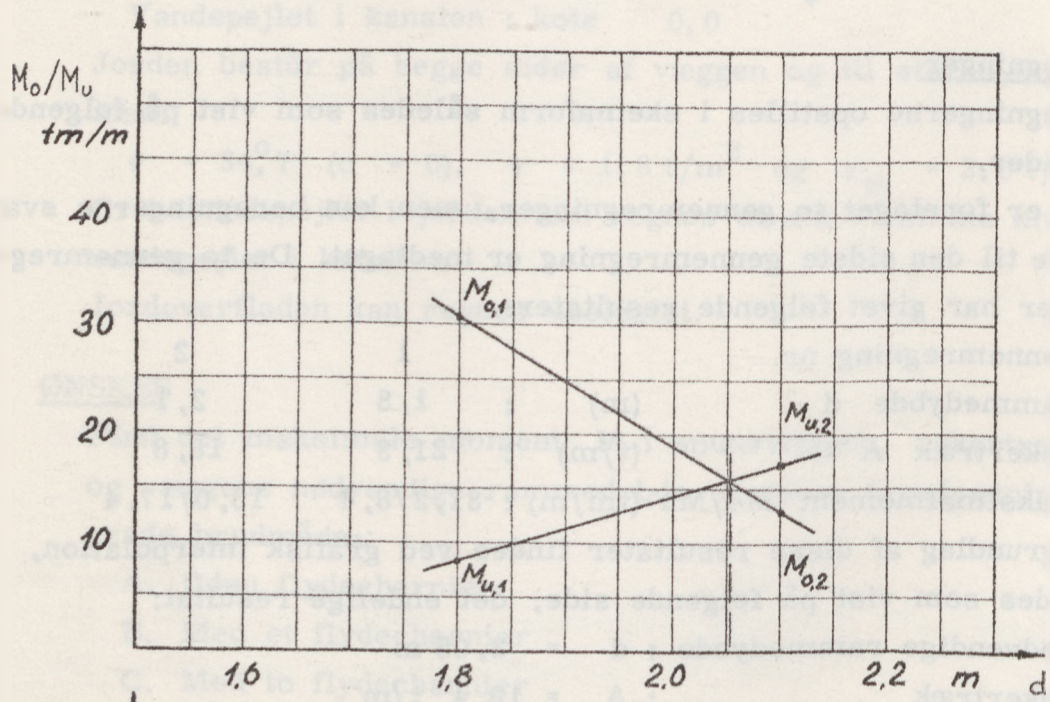
Nødvendige rammedybde	: d	= 2,05 m
Ankertræk	: A	= 19,4 t/m
Maksimalmoment	: M	= 15,8 tm/m

VENSTRE SIDE						
rot.	ruhed	C_{un} t/m ²	\bar{c}_n t/m ²	$\bar{\varphi}_n$	$\bar{\gamma}$ t/m ³	kote
neg	ru			30°	1.0	-8.0



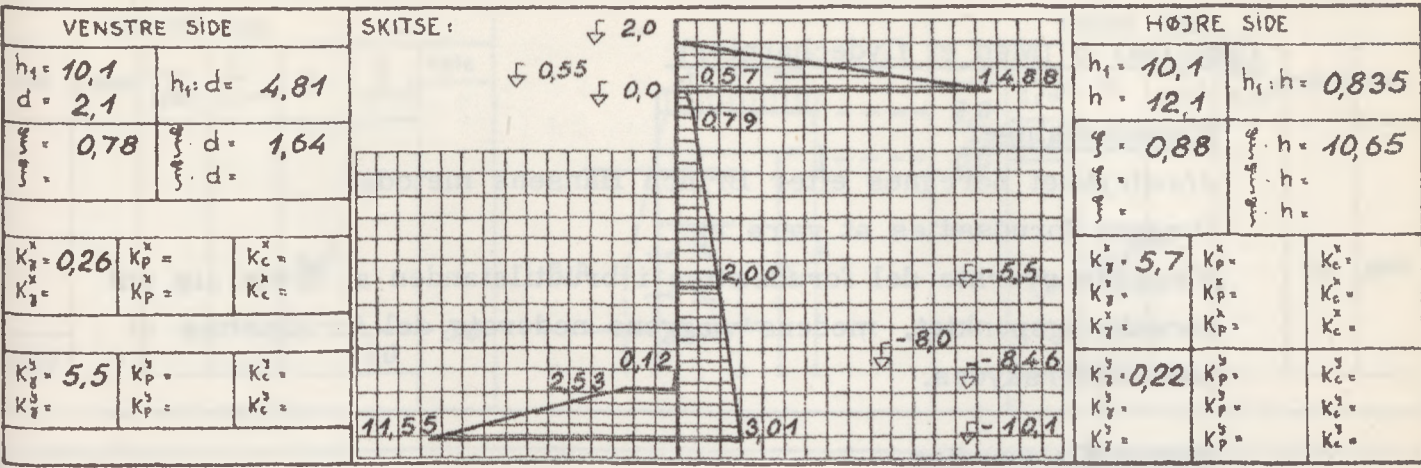
HØJRE SIDE						
kote	$\bar{\gamma}$ t/m ³	$\bar{\varphi}_n$	\bar{c}_n t/m ²	C_{un} t/m ²	ruhed	rot.
2.0	1.8					
0.0						
1.0		30°			ru	pos

GRAFISK INTERPOLATION:



RESULTATER:

$M = 15,8 \text{ tm/m}$ $A = 19,4 \text{ t/m}$ $d = 2,05 \text{ m}$



e	H/V	Kote	$\bar{x} \cdot d \cdot K$	+ p.k	+ c.k	t/m ²
e ^x	H	2,0				0
"	H	0,55	1,8 · 1,45 · 5,7			14,88
e ^y	H	0,55	1,8 · 1,45 · 0,22			0,57
"	H	0	1,8 · 2,0 · 0,22			0,79
"	H	-10,1	(1,8 · 2,0 + 1,0 · 10,1) · 0,22			3,01
e ^x	V	-8,0				0
"	V	-8,46	1,0 · 0,46 · 0,26			0,12
e ^y	V	-8,46	1,0 · 0,46 · 5,5			2,53
"	V	-10,1	1,0 · 2,1 · 5,5			11,55
			Q = 0 ⇒ z = 4,60			
"	H	-5,5	(1,8 · 2,0 + 1,0 · 5,5) · 0,22			2,00

M		Areal		Arm		M ²	M ³
M ₀	H	$\frac{1}{2} \cdot 14,88 \cdot 1,45$	10,78	$\frac{1}{3} \cdot 1,45 + 0,55$	1,03		11,10
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,57 \cdot 0,55$	0,16	$\frac{2}{3} \cdot 0,55$	0,37		0,06
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,79 \cdot 0,55$	0,22	$\frac{1}{3} \cdot 0,55$	0,18		0,04
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,79 \cdot 5,50$	2,17	$\frac{1}{3} \cdot 5,50$	1,83	3,98	
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 2,00 \cdot 5,50$	5,50	$\frac{2}{3} \cdot 5,50$	3,67	20,20	
			18,83			24,18	11,20
M _u	V	$\frac{1}{2} \cdot 11,55 \cdot 1,64$	9,55	$\frac{2}{3} \cdot 1,64 + 2,96$	4,05		38,40
"	V	$\frac{1}{2} \cdot 2,53 \cdot 1,64$	2,08	$\frac{1}{3} \cdot 1,64 + 2,06$	3,51		7,30
"	V	$\frac{1}{2} \cdot 0,12 \cdot 0,46$	0,03	$\frac{2}{3} \cdot 0,46 + 2,50$	2,81		0,08
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 3,01 \cdot 4,60$	6,91	$\frac{2}{3} \cdot 4,60$	3,07	21,20	
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 2,00 \cdot 4,60$	4,60	$\frac{1}{3} \cdot 4,60$	1,53	7,04	
						28,24	45,78

M ₀ /M _u	24,18 - 11,20 / 45,78 - 28,24	tm/m / tm/m	13,0 / 17,5
M _A /A		tm/m / t/m	11,2 / 18,8

LØSNING B (Med et flydecharnier)Forudsætninger

Jordtrykket beregnes efter Brinch Hansens metode.

Væggen forudsættes at være ru.

Væggens øverste del forudsættes i bruttilstanden at dreje sig om forankringspunktet, medens væggens nederste del forudsættes at parallelforskydes.

Nominelle værdier

$$\varphi_n = \text{Arctan} \frac{\tan \varphi}{f_\varphi} = \text{Arctan} \frac{\tan 34,7^\circ}{1,2} = 30^\circ$$

Beregninger

Beregningerne opstilles i skemaform som vist på følgende to sider.

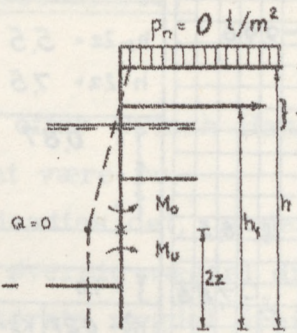
Der er foretaget to gennemregninger, men kun beregningerne svarende til den sidste gennemregning er medtaget. De to gennemregninger har givet følgende resultater:

Gennemregning nr.	1	2
Kote til flydecharnier	: - 6,0	- 5,5
Maksimalmoment M_o/M_u (tm/m):	21,3/12,9	16,3/17,5
Ankertræk A (t/m)	: 14,4	12,8
Rammedybde d (m)	: 2,12	2,26

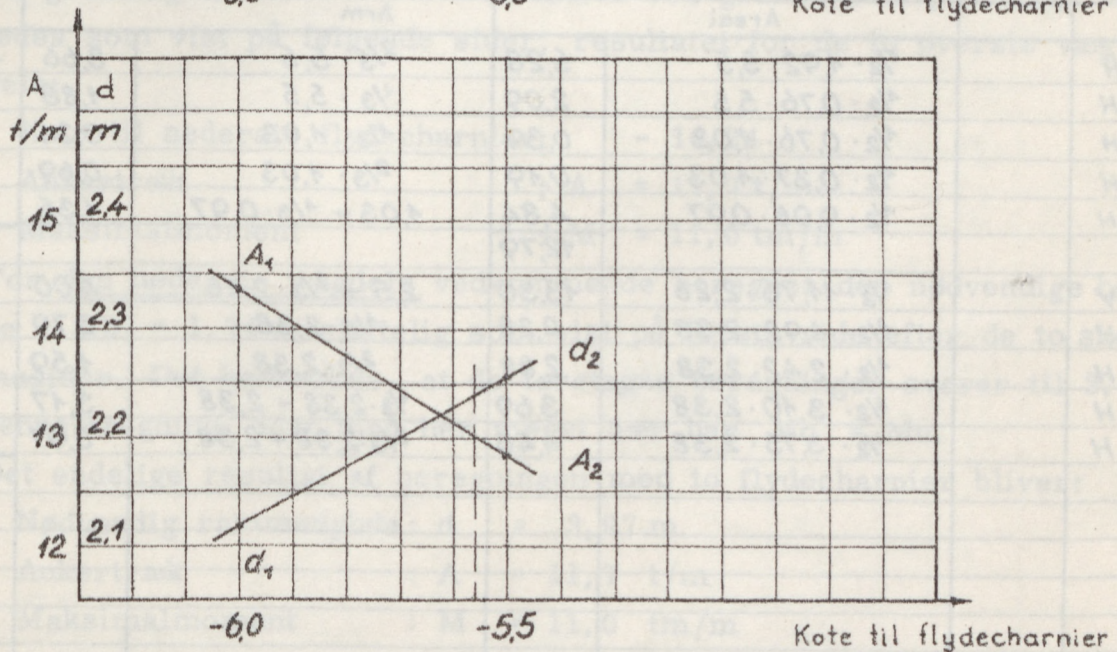
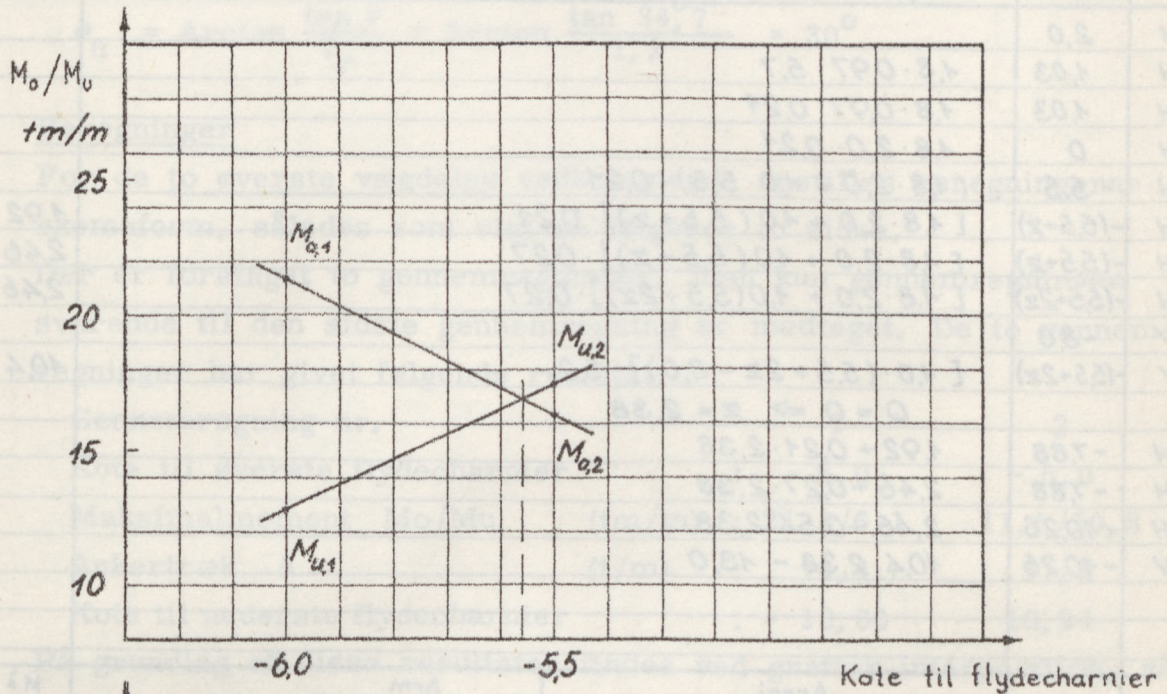
På grundlag af disse resultater findes ved grafisk interpolation, således som vist på følgende side, det endelige resultat:

Nødvendig rammedybde	: d = 2,24 m
Ankertræk	: A = 13,0 t/m
Maksimalmoment	: M = 17,0 tm/m

VENSTRE SIDE						HØJRE SIDE							
rot.	ruhed	C_{un} t/m ²	\bar{c}_n t/m ²	$\bar{\varphi}$	$\bar{\gamma}$ t/m ³	kote	kote	$\bar{\gamma}$ t/m ³	$\bar{\varphi}$	\bar{c}_n t/m ²	C_{un} t/m ²	ruhed	rot.
	ru			30°			2,0	1,8					
neg					1,0	-8,0		1,0	30°			ru	pos

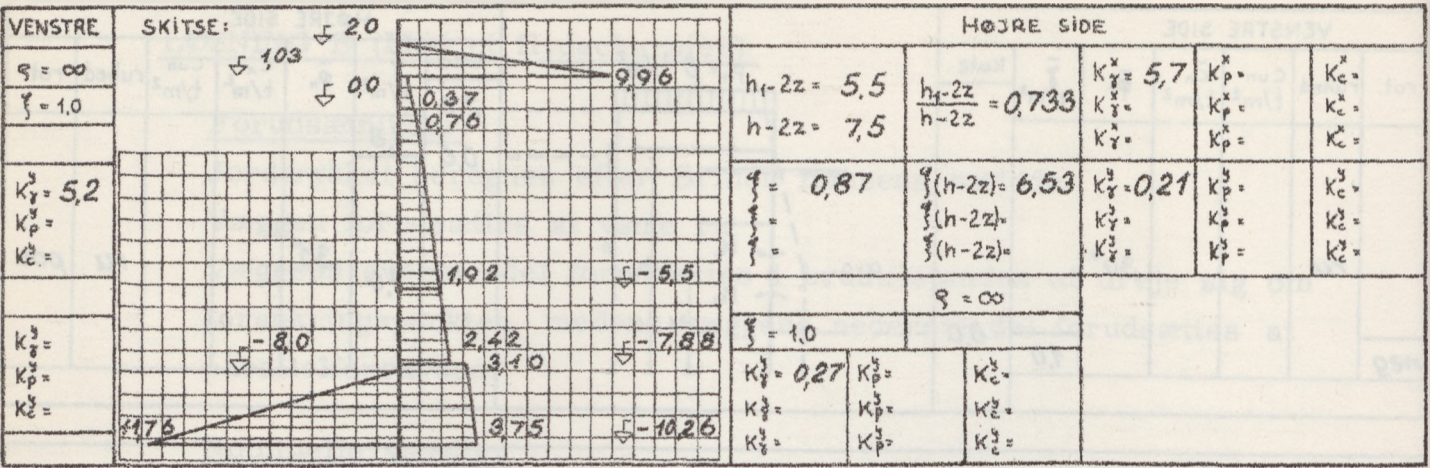


GRAFISK INTERPOLATION:



RESULTATER:

$M = 17,0 \text{ tm/m}$ $A = 13,0 \text{ t/m}$ $d = 2,24 \text{ m}$



e	H/V	kote	$\bar{y}dK$	+ p.k	- c.K	t/m ²
e ^x	H	2,0				0
"	H	1,03	$1,8 \cdot 0,97 \cdot 5,7$			9,96
e ^y	H	1,03	$1,8 \cdot 0,97 \cdot 0,21$			0,37
"	H	0	$1,8 \cdot 2,0 \cdot 0,21$			0,76
"	H	-5,5	$(1,8 \cdot 2,0 + 1,0 \cdot 5,5) \cdot 0,21$			1,92
"	H	$-(5,5+z)$	$[1,8 \cdot 2,0 + 1,0(5,5+z)] \cdot 0,21$			$1,92 + 0,21z$
"	H	$-(5,5+z)$	$[1,8 \cdot 2,0 + 1,0(5,5+z)] \cdot 0,27$			$2,46 + 0,27z$
"	H	$-(5,5+2z)$	$[1,8 \cdot 2,0 + 1,0(5,5+2z)] \cdot 0,27$			$2,46 + 0,54z$
"	V	-8,0				0
"	V	$-(5,5+2z)$	$[1,0 \cdot (5,5+2z - 8,0)] \cdot 5,2$			$10,4z - 13,0$
			$Q = 0 \Rightarrow z = 2,38$			
e ^y	H	-7,88	$1,92 + 0,21 \cdot 2,38$			2,42
"	H	-7,88	$2,46 + 0,27 \cdot 2,38$			3,10
"	H	-10,26	$2,46 + 0,54 \cdot 2,38$			3,75
"	V	-10,26	$10,4 \cdot 2,38 - 13,0$			11,76

M		Areal		Arm		M ₂	M ₃
M ₀	H	$\frac{1}{2} \cdot 1,92 \cdot 5,5$	5,28	$\frac{2}{3} \cdot 5,5$	3,66	10,30	
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,76 \cdot 5,5$	2,09	$\frac{1}{3} \cdot 5,5$	1,83	3,83	
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,76 \cdot 1,03$	0,39	$\frac{1}{3} \cdot 1,03$	0,34		0,13
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,37 \cdot 1,03$	0,19	$\frac{2}{3} \cdot 1,03$	0,69		0,13
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 9,96 \cdot 0,97$	4,84	$1,03 + \frac{1}{3} \cdot 0,97$	1,35		6,54
			12,79			23,13	6,80
M _u	V	$\frac{1}{2} \cdot 11,76 \cdot 2,26$	13,30	$2,5 + \frac{2}{3} \cdot 2,26$	4,00		53,30
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 1,92 \cdot 2,38$	2,28	$\frac{1}{3} \cdot 2,38$	0,79	1,80	
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 2,42 \cdot 2,38$	2,88	$\frac{2}{3} \cdot 2,38$	1,59	4,59	
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 3,10 \cdot 2,38$	3,69	$\frac{1}{3} \cdot 2,38 + 2,38$	3,17	11,70	
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 3,75 \cdot 2,38$	4,46	$\frac{2}{3} \cdot 2,38 + 2,38$	3,97	17,72	
						35,81	53,30

LØSNING C (Med to flydecharnier)Forudsætninger

Jordtrykket beregnes efter Brinch Hansens metode.

Væggen forudsættes at være ru.

I bruttilstanden forudsættes det, at der i væggen opstår to flydecharnier, således at øverste vægdel drejer sig om forankringspunktet, medens midterste vægdel drejer sig om nederste flydecharnier, og nederste vægdel fastholdes i jorden.

Nominelle værdier

$$\varphi_n = \text{Arctan} \frac{\tan \varphi}{f_\varphi} = \text{Arctan} \frac{\tan 34,7^\circ}{1,2} = 30^\circ$$

Beregninger

For de to øverste vægdeles vedkommende opstilles beregningerne i skemaform, således som vist på følgende to sider.

Der er foretaget to gennemregninger, men kun gennemregningen svarende til den sidste gennemregning er medtaget. De to gennemregninger har givet følgende resultat:

Gennemregning nr.	1	2
Kote til øverste flydecharnier	: - 6,0	- 5,0
Maksimalmoment M_o/M_u (tm/m)	: 21,3/6,1	11,5/10,8
Ankertræk A (t/m)	: 14,4	11,8
Kote til nederste flydecharnier	: - 10,00	- 10,24

På grundlag af disse resultater findes ved grafisk interpolation, således som vist på følgende sider, resultatet for de to øverste vægdele:

Kote til nederste flydecharnier:	- 10,24
Ankertræk	: A = 11,7 t/m
Maksimalmoment	: M = 11,0 tm/m

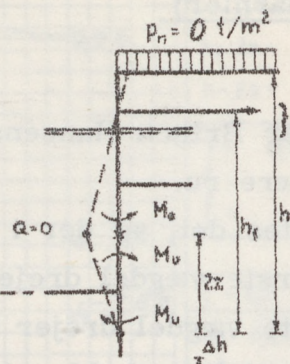
For den nederste vægdels vedkommende beregnes den nødvendige højde $\Delta h = 1,74$ m sluttelig som vist på første side efter de to skemasider. Det bemærkes, at de foretagne beregninger svarer til 2. gennemregning, idet man her meget nær har $M_o = M_u$.

Det endelige resultat af beregningen med to flydecharnier bliver:

Nødvendig rammedybde: d	= 3,97 m
Ankertræk	: A = 11,7 t/m
Maksimalmoment	: M = 11,0 tm/m

VENSTRE SIDE

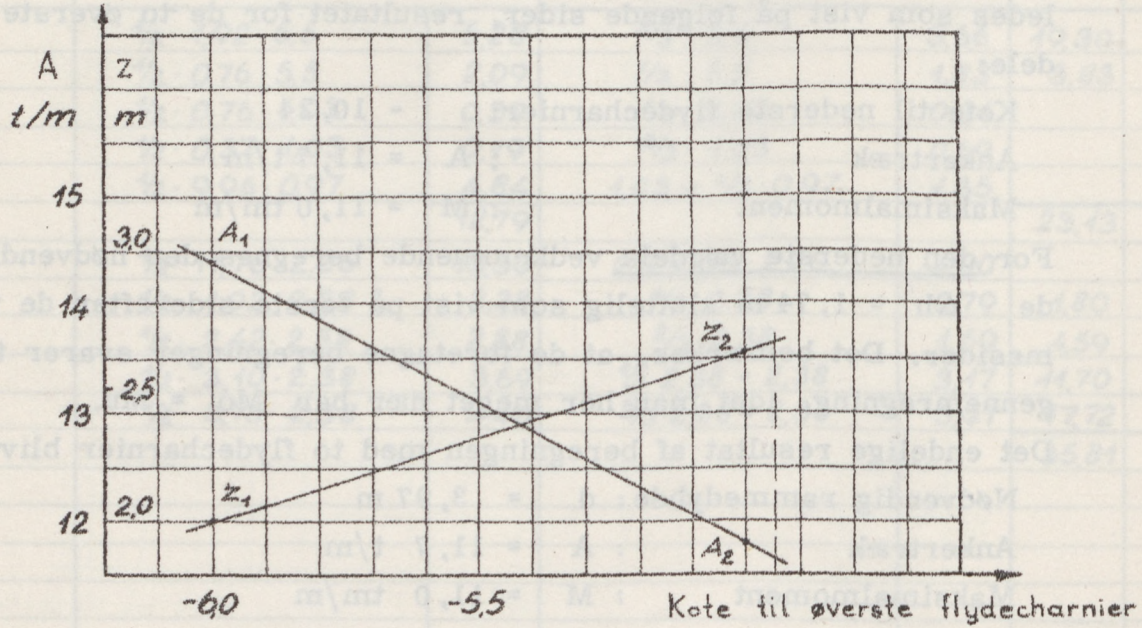
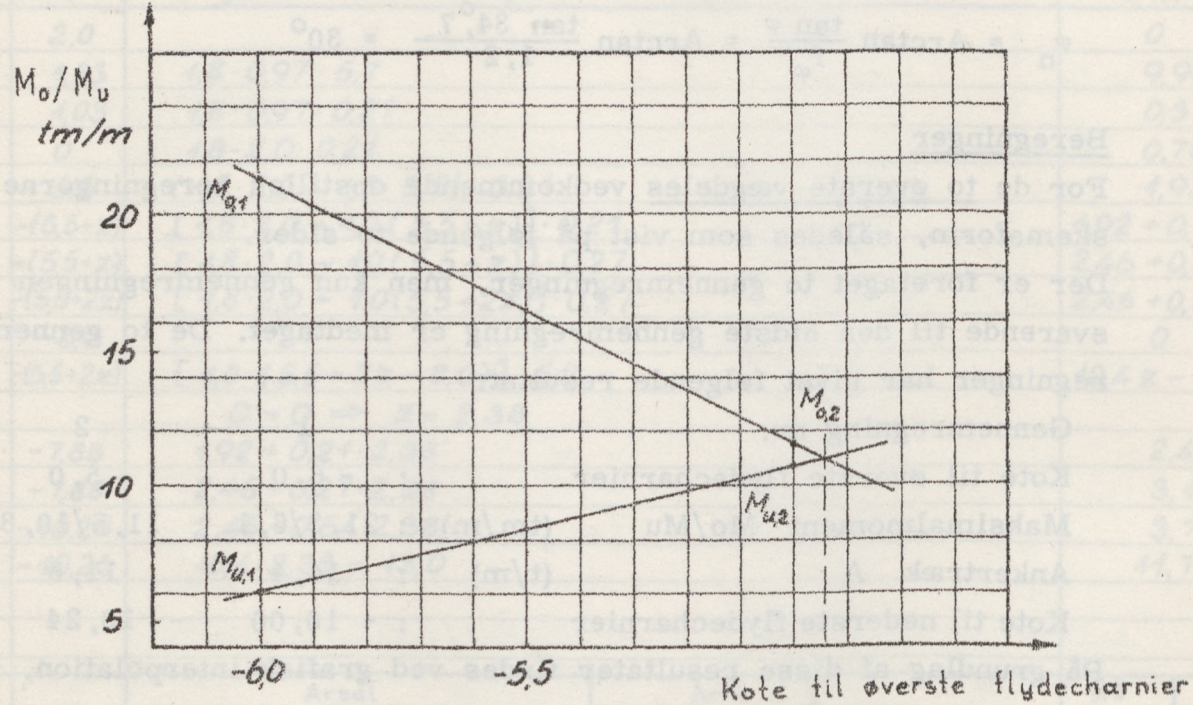
rot	ruhed	C_{un} t/m ²	\bar{e}_n t/m ²	$\bar{\varphi}_n$	$\bar{\gamma}$ t/m ³	kote
	ru			30°		
pos					1.0	-8.0



HØJRE SIDE

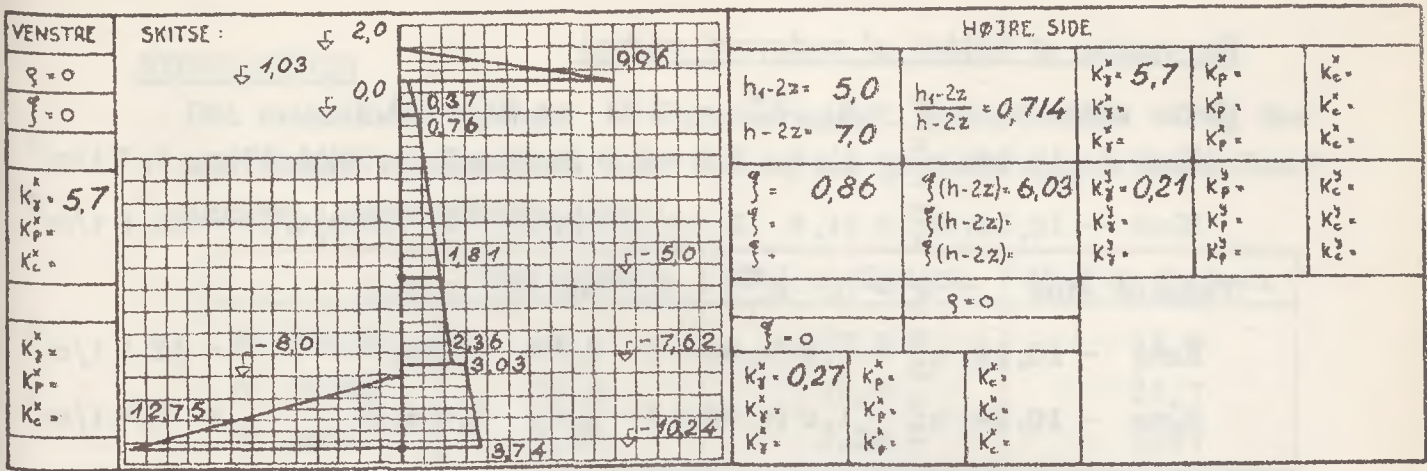
kote	$\bar{\gamma}$ t/m ³	$\bar{\varphi}_n$	\bar{e}_n t/m ²	C_{un} t/m ²	ruhed	rot.
2.0						
0.0	1.8					pos
		30°			ru	neg

GRAFISK INTERPOLATION:



RESULTATER :

M = 11,0 tm/m A = 11,7 t/m Kt. til ned. flch. = -10,24



e	H/V	Kote	$\bar{y} \cdot d \cdot k$	+ p.k	+ c.k	t/m ²
e ^x	H	2,0				0
"	H	1,03	$1,8 \cdot 0,97 \cdot 5,7$			9,96
e ^y	H	1,03	$1,8 \cdot 0,97 \cdot 0,21$			0,37
"	H	0	$1,8 \cdot 2,0 \cdot 0,21$			0,76
"	H	-5,0	$(1,8 \cdot 2,0 + 1,0 \cdot 5,0) \cdot 0,21$			1,81
"	H	-(5,0+z)	$(1,8 \cdot 2,0 + 1,0(5,0+z)) \cdot 0,21$			$1,81 + 0,21z$
e ^x	H	-(5,0+z)	$(1,8 \cdot 2,0 + 1,0(5,0+z)) \cdot 0,27$			$2,32 + 0,27z$
"	H	-(5,0+2z)	$(1,8 \cdot 2,0 + 1,0(5,0+2z)) \cdot 0,27$			$2,32 + 0,54z$
"	V	-8,0				0
"	V	-(5,0+2z)	$10 \cdot (5,0 + 2z - 8,0) \cdot 5,7$			$11,4z - 17,1$
			$Q = 0 \Rightarrow z = 2,62$			
e ^y	H	-7,62	$1,81 + 0,21 \cdot 2,62$			2,36
e ^x	H	-7,62	$2,32 + 0,27 \cdot 2,62$			3,03
"	H	-10,24	$2,32 + 0,54 \cdot 2,62$			3,74
"	V	-10,24	$11,4 \cdot 2,62 - 17,1$			12,75

M		Areal		Arm		M ²	M ¹
M ₀	H	$\frac{1}{2} \cdot 9,96 \cdot 0,97$	4,83	$1,03 + \frac{1}{3} \cdot 0,97$	1,35		6,51
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,37 \cdot 1,03$	0,19	$\frac{2}{3} \cdot 1,03$	0,69		0,13
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,76 \cdot 1,03$	0,39	$\frac{1}{3} \cdot 1,03$	0,34		0,13
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,76 \cdot 5,0$	1,90	$\frac{1}{3} \cdot 5,0$	1,67	3,16	
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 1,81 \cdot 5,0$	4,53	$\frac{2}{3} \cdot 5,0$	3,33	15,10	
			11,84			18,26	6,77
2 M _u	H	$\frac{1}{2} \cdot 1,81 \cdot 2,62$	2,37	$\frac{5}{3} \cdot 2,62$	4,37		10,37
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 2,36 \cdot 2,62$	3,09	$\frac{4}{3} \cdot 2,62$	3,49		10,79
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 3,03 \cdot 2,62$	3,97	$\frac{2}{3} \cdot 2,62$	1,75		6,94
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 3,74 \cdot 2,62$	4,90	$\frac{1}{3} \cdot 2,62$	0,87		4,26
"	V	$\frac{1}{2} \cdot 12,75 \cdot 2,24$	14,29	$\frac{1}{3} \cdot 2,24$	0,75	10,71	
						10,71	32,36

Beregning af højden af nederste vægdel

Højre side : $\xi = 0$, $K_\gamma^x = 0,27$ og $K_\gamma^y = 4,1$

$$\text{Kote - 10,24: } e_1^x = (1,8 \cdot 2,0 + 1,0 (4,96 + 2 \cdot 2,64))0,27 = 3,7 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Kote - 10,24: } e_1^y = (1,8 \cdot 2,0 + 1,0 (4,96 + 2 \cdot 2,64))4,1 = 56,8 \text{ t/m}^2$$

Venstre side : $\xi = 0$, $K_\gamma^x = 5,7$ og $K_\gamma^y = 1,5$

$$\text{Kote - 10,24: } e_2^x = 1,0 (4,96 + 2 \cdot 2,64 - 8,0)5,7 = 12,8 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Kote - 10,24: } e_2^y = 1,0 (4,96 + 2 \cdot 2,64 - 8,0)1,5 = 3,4 \text{ t/m}^2$$

Differens - enhedsjordtrykkene findes:

$$\Delta e^x = e_2^x - e_1^x = 12,8 - 3,7 = 9,1 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta e^y = e_1^y - e_2^y = 56,8 - 3,4 = 53,4 \text{ t/m}^2$$

C_1 og C_2 beregnes af:

$$\left. \begin{array}{l} C_1 \\ C_2 \end{array} \right\} = 1,0 + 0,1 \frac{\tan \delta_n}{\tan \varphi_n} \mp \tan \varphi_n$$

der med $\delta_n = \varphi_n = 30^\circ$ giver:

$$\left. \begin{array}{l} C_1 \\ C_2 \end{array} \right\} = 1,0 + 0,1 \cdot 1,0 \mp \tan 30^\circ = \begin{cases} 0,52 \\ 1,68 \end{cases}$$

Den ekstra rammedybde Δh findes:

$$\begin{aligned} \Delta h &= \left(\frac{C_2}{C_1} + \frac{\Delta e^y}{\Delta e^x} \right) : \sqrt{\frac{\Delta e^y}{2M} \left(2 \frac{C_2}{C_1} + \frac{\Delta e^y}{\Delta e^x} - 1 \right)} \\ &= \left(\frac{1,68}{0,52} + \frac{53,4}{9,1} \right) : \sqrt{\frac{53,4}{2 \cdot 11,0} \left(2 \frac{1,68}{0,52} + \frac{53,4}{9,1} - 1 \right)} \\ &= 1,74 \text{ m} \end{aligned}$$

KONKLUSION

Det maksimale moment M i spunsvæggen, ankertrækket A og den nødvendige rammedybde d er for de tre gennemregnede brudmåder angivet i nedenstående tabel:

	Uden flydech.	Med et flydech.	Med to flydech.
M (tm/m)	15,8	17,0	11,0
A (t/m)	19,4	13,0	11,7
d (m)	2,05	2,24	3,97



EKSEMPEL 9.3: Forankret spunsvæg i ler med et flydecharnier.GIVET

En kajkonstruktion skal udformes som en forankret stålspunsvæg med følgende karakteristika:

Kajplanet	: kote	+ 2,0
Oprindelig havbund	: kote	- 4,0
Havnebassinets bund	: kote	- 8,0
Forankring	: kote	0,0
Vandspejl i havnen	: kote	0,0

Havbunden består af ler med:

$$c = 12 \text{ t/m}^2, \quad (\varphi = 0) \quad \text{og} \quad \gamma_m = 2,1 \text{ t/m}^2$$

Opfyldning bag spunsvæg foretages med sand med:

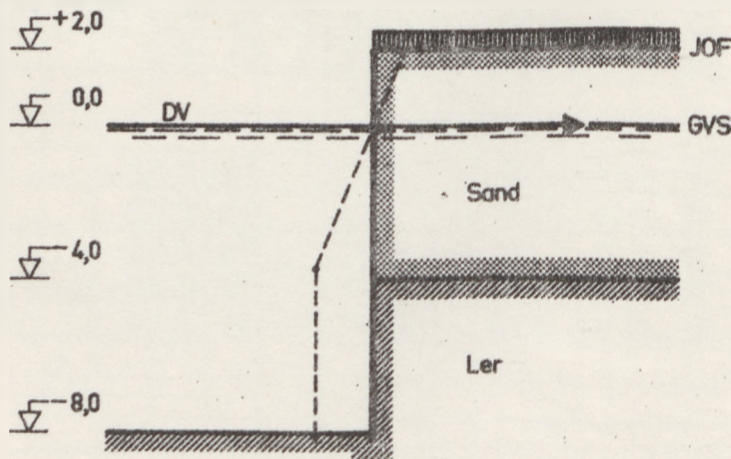
$$\varphi = 34,7, \quad (c = 0), \quad \gamma = 1,8 \text{ t/m}^2 \quad \text{og} \quad \gamma_m = 2,0 \text{ t/m}^3$$

Grundvandspejlet i jorden kan regnes at stå i samme niveau som vandspejlet i havnen.

Kajplanets belastning er: $p = 2,0 \text{ t/m}^2$.

ØNSKES

Find det maksimale moment M i spunsvæggen, ankertrækket A samt væggens nødvendige rammedybde d under forudsætning af, at der i væggen i bruttilstanden danner sig et flydecharnier, således at øverste vægdel drejer sig omkring forankringspunktet, medens nederste vægdel parallelforskyder sig.

LØSNING

Figur 9.3 A: Snit i forankret stålspunsvæg i ler og sand.

Forudsætninger

Jordtrykket beregnes efter Brinch Hansens metode.

Spunsvæggen regnes ru i sandet og glat i leret.

Der kan ikke overføres trækspændinger mellem væg og ler.

Nominelle værdier

$$\varphi_n = \text{Arctan} \frac{\tan \varphi}{f_\varphi} = \text{Arctan} \frac{\tan 34,7^\circ}{1,2} = 30^\circ$$

$$c_n = \frac{c}{f_c} = \frac{12}{1,5} = 8 \text{ t/m}^2$$

$$p_n = p \cdot f_p = 2,0 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ t/m}^2$$

Beregninger

Beregningerne opstilles i skemaform således som vist på følgende to sider.

Der er foretaget tre gennemregninger, men kun beregningerne svarende til den sidste gennemregning er medtaget. De tre gennemregninger har givet følgende resultater:

Gennemregning nr.	1	2	3
Kote til flydecharnier	: - 2,0	- 3,5	- 3,8
Maksimalmoment M_o/M_u (tm/m)	: - 13,5/21,5	- 1,8/4,3	0,3/2,0
Ankertræk A (t/m)	: 14,7	15,2	15,9
Rammedybde d (m)	: 0,26	0,07	0,03

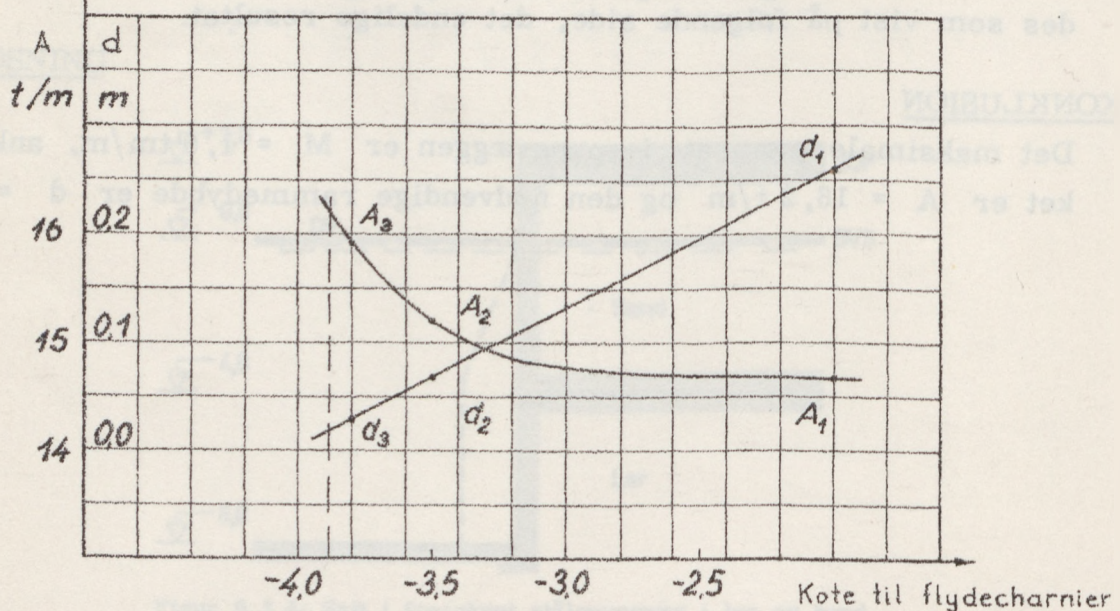
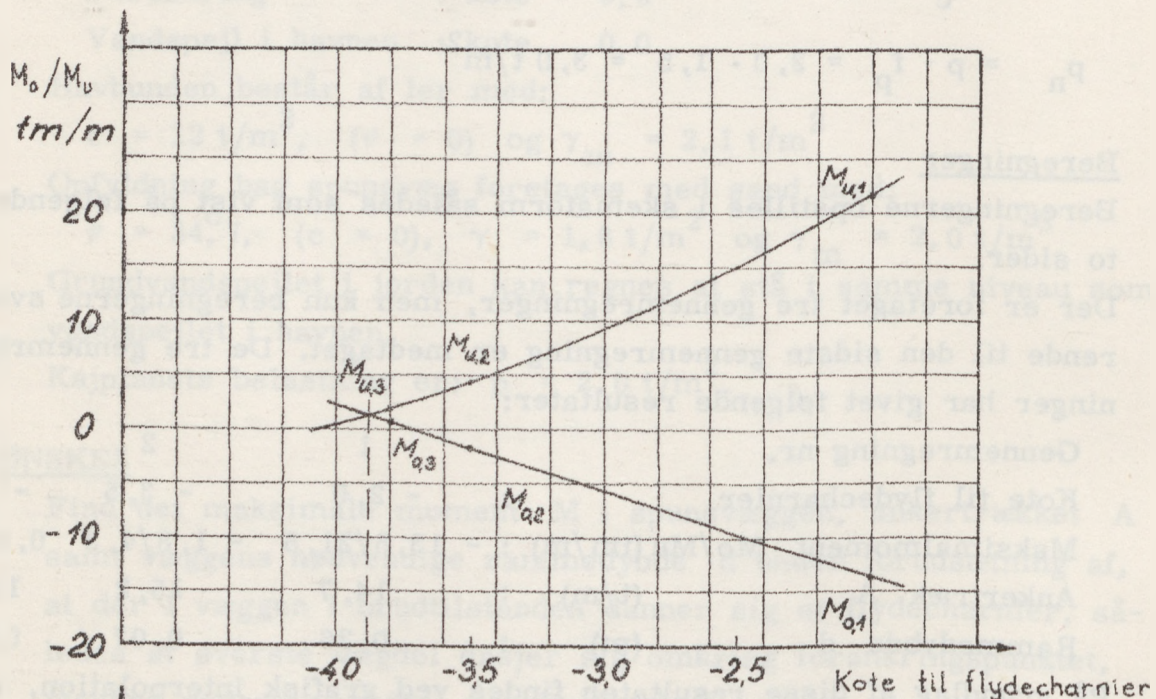
På grundlag af disse resultater findes ved grafisk interpolation, således som vist på følgende side, det endelige resultat.

KONKLUSION

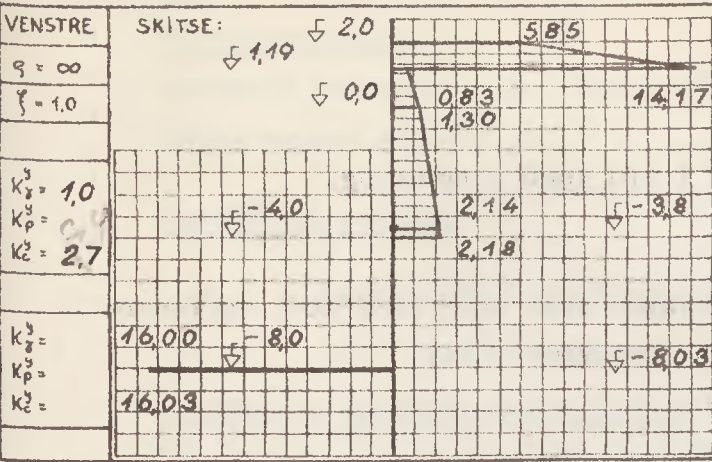
Det maksimale moment i spunsvæggen er $M = 1,0 \text{ tm/m}$, ankertrækket er $A = 16,2 \text{ t/m}$ og den nødvendige rammedybde er $d = 0,03 \text{ m}$.

VENSTRE SIDE							HØJRE SIDE						
rot.	ruhed	C_{un} t/m ²	\bar{c}_n t/m ²	$\bar{\varphi}_r$	$\bar{\gamma}$ t/m ³	kote	kote	$\bar{\gamma}$ t/m ³	$\bar{\varphi}_n$	\bar{c}_n t/m ²	C_{un} t/m ²	ruhed	rot.
							2.0						
							0.0	1.8	30°			ru	
							1.0						
							-4.0						pos
neg	glat	8			1.1	-8.0		1.1	0		8	glat	

GRAFISK INTERPOLATION:



RESULTATER: M = 1,0 tm/m A = 16,2 t/m d = 0,02 m



HØJRE SIDE

$h_1 - 2z = 3,8$	$\frac{h_1 - 2z}{h - 2z} = 0,66$	$K_{\gamma}^x = 5,7$	$K_{\gamma}^x = 1,95$	$K_c^x =$
$h - 2z = 5,8$		$K_{\gamma}^y =$	$K_{\gamma}^y =$	$K_c^y =$
$\eta = 0,86$	$\xi(h - 2z) = 4,99$	$K_{\gamma}^z = 0,22$	$K_{\gamma}^z = 0,17$	$K_c^z =$
$\eta =$	$\xi(h - 2z) =$	$K_{\gamma}^y =$	$K_{\gamma}^y =$	$K_c^y =$
$\eta =$	$\xi(h - 2z) =$	$K_{\gamma}^z =$	$K_{\gamma}^z =$	$K_c^z =$
$\eta =$	$\xi(h - 2z) =$	$K_{\gamma}^y =$	$K_{\gamma}^y =$	$K_c^y =$
$\eta =$	$\xi(h - 2z) =$	$K_{\gamma}^z =$	$K_{\gamma}^z =$	$K_c^z =$
$\eta =$	$\xi(h - 2z) =$	$K_{\gamma}^y =$	$K_{\gamma}^y =$	$K_c^y =$
$\eta =$	$\xi(h - 2z) =$	$K_{\gamma}^z =$	$K_{\gamma}^z =$	$K_c^z =$
$\eta =$	$\xi(h - 2z) =$	$K_{\gamma}^y =$	$K_{\gamma}^y =$	$K_c^y =$
$\eta =$	$\xi(h - 2z) =$	$K_{\gamma}^z =$	$K_{\gamma}^z =$	$K_c^z =$

e	H/V	Kote	$\bar{y} \cdot d \cdot k$	+ p · k	+ c · k	t / m ²
e ^x	H	2,0		3 · 1,95		5,85
"	H	1,19	1,8 · 0,81 · 5,7	+ 3 · 1,95		14,17
e ^y	H	1,19	1,8 · 0,81 · 0,22	+ 3 · 0,17		0,83
"	H	0	1,8 · 2,0 · 0,22	+ 3 · 0,17		1,30
"	H	-3,8	(1,8 · 2,0 + 1,0 · 3,8) · 0,22 + 3 · 0,17			2,14
"	H	-4,0	(1,8 · 2,0 + 1,0 · 4,0) · 0,22 + 3 · 0,17			2,18
"	V	-8,0		8 · 2,0		16,00
"	V	-(3,8 + 2z)	1,1 · (2z - 4,2) · 1,0	+ 8 · 2,0		2,2z + 11,38

$Q = 0 \Rightarrow z = 2,12$

e ^y	V	-8,03	2,2 · 2,12 + 11,38			16,03
----------------	---	-------	--------------------	--	--	-------

NB: Der er i leret på aktivsiden regnet med e=0 da:

e ^y	H	-8,03	(1,8 · 2,0 + 1,0 · 4,0 + 1,1 · 4,03) · 1,0 + 8 · (-2,0) = -0,97			
----------------	---	-------	---	--	--	--

M		Areal		Arm		M ₂	M ₃
M ₀	H	$\frac{1}{2} \cdot 5,85 \cdot 0,81$	2,37	$\frac{2}{3} \cdot 0,81 + 1,19$	1,73		4,10
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 14,17 \cdot 0,81$	5,74	$\frac{1}{3} \cdot 0,81 + 1,19$	1,46		8,36
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,83 \cdot 1,19$	0,49	$\frac{2}{3} \cdot 1,19$	0,79		0,39
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 1,30 \cdot 1,19$	0,77	$\frac{1}{3} \cdot 1,19$	0,40		0,31
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 1,30 \cdot 3,80$	2,47	$\frac{1}{3} \cdot 3,80$	1,27	3,14	
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 2,14 \cdot 3,80$	4,06	$\frac{2}{3} \cdot 3,80$	2,53	10,30	
			15,90			13,44	13,16
M _u	H	$\frac{1}{2} \cdot 2,14 \cdot 0,20$	0,21	$\frac{1}{3} \cdot 0,20$	0,07	0,01	
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 2,18 \cdot 0,20$	0,22	$\frac{2}{3} \cdot 0,20$	0,13	0,03	
"	V	16,01 · 0,03	0,48		4,21		2,02
						0,04	2,02

M ₀ / M _u	13,44 - 13,16 / 2,02 - 0,04	$\frac{tm}{m} / \frac{tm}{m}$	0,3 / 2,0
M _A / A		$\frac{tm}{m} / \frac{t}{m}$	13,2 / 15,9

EKSEMPEL 9.4: Forankret spunsvæg i silt med strømning.GIVET

En indfatning for en skibsfartskanal skal udformes som en forankret stålspunsvæg med følgende karakteristika:

Jordoverfladen : kote + 2,0

Kanalens bund :: kote - 8,0

Forankring : kote 0,0

Jorden består på begge sider af spunsvæggen og til stor dybde af silt med

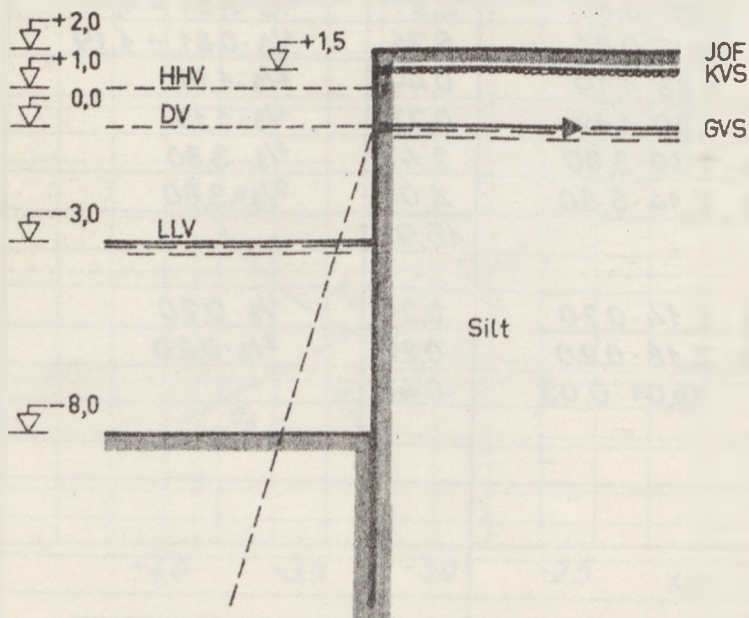
$$\varphi = 32,5 \quad (c = 0), \quad \gamma = 1,4 \text{ t/m}^3, \quad \gamma_m = 1,8 \text{ t/m}^3 \quad \text{og} \\ h_c = 1,5 \text{ m}$$

Daglig vande (DV) er i kote 0,0, højeste højvande (HHV) er i kote + 1,0 og laveste lavvande (LLV) er i kote - 3,0. Det må påregnes, at vandspejlet i havnen på kort tid kan skifte fra DV til LLV.

Jordoverfladen kan regnes ubelastet.

ØNSKES

Find det maksimale moment M i spunsvæggen, ankertrækket A og væggens nødvendige rammedybde d , når væggen i brudtilstanden drejer sig som et stift hele omkring forankringspunktet.

LØSNING

Figur 9.4 A: Snit i forankret stålspunsvæg i silt.

Rumvægte

De effektive rumvægte findes ved hjælp af strømnettet, idet der i de intervaller, hvor vandtryksfordelingen er tilnærmet med en ret linie, regnes med konstant $\bar{\gamma}$ i henhold til formlen:

$$\bar{\gamma} = \gamma_m - \gamma_w \pm i \gamma_w = \gamma_m - \gamma_w \pm \frac{\Delta h}{\Delta s} \gamma_w$$

Pr. potentialspring fås potentialfaldet:

$$\Delta h = \frac{h_t}{n_h} = \frac{3,0}{7,0} = 0,43$$

Herved fås:

Højre side, fra kote + 1,5 til kote - 9,0 (2,0 potentialspring):

$$\bar{\gamma} = 1,8 - 1,0 + \frac{2,0 \cdot 0,43}{10,5} \cdot 1,0 = 0,90 \text{ t/m}^3$$

Højre side, fra kote - 9,0 til kote - 12,7 (1,2 potentialspring):

$$\bar{\gamma} = 1,8 - 1,0 + \frac{1,2 \cdot 0,43}{3,7} \cdot 1,0 = 0,94 \text{ t/m}^3$$

Venstre side, fra kote - 12,7 til kote - 8,0 (1,9 potentialspring):

$$\bar{\gamma} = 1,8 - 1,0 - \frac{1,9 \cdot 0,43}{4,7} \cdot 1,0 = 0,57 \text{ t/m}^3$$

Beregninger

Beregningerne opstilles i skemaform således som vist på følgende tre sider, idet jordtryk og vandtryk beregnes på hver sit skema. Der er foretaget tre gennemregninger, men kun beregningerne fra den sidste gennemregning er medtaget. De tre gennemregninger har givet følgende resultater:

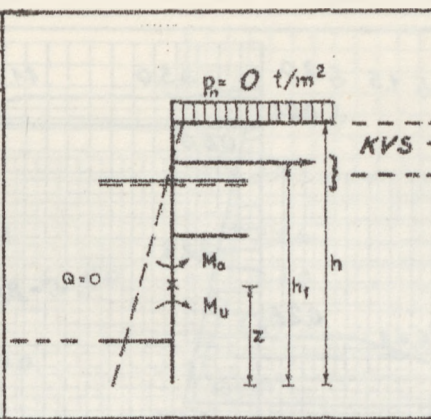
Gennemregning nr.		1	2	3
Rammedybde d	(m) :	4,0	6,0	4,7
Ankertræk A	(t/m) :	43,2	32,0	38,5
Maks. mom. Mo/Mu	(tm/m):	108,9/12,0	6,8/170,9	62,7/54,4

På grundlag af disse resultater findes ved grafisk interpolation, således som vist på følgende side, det endelige resultat.

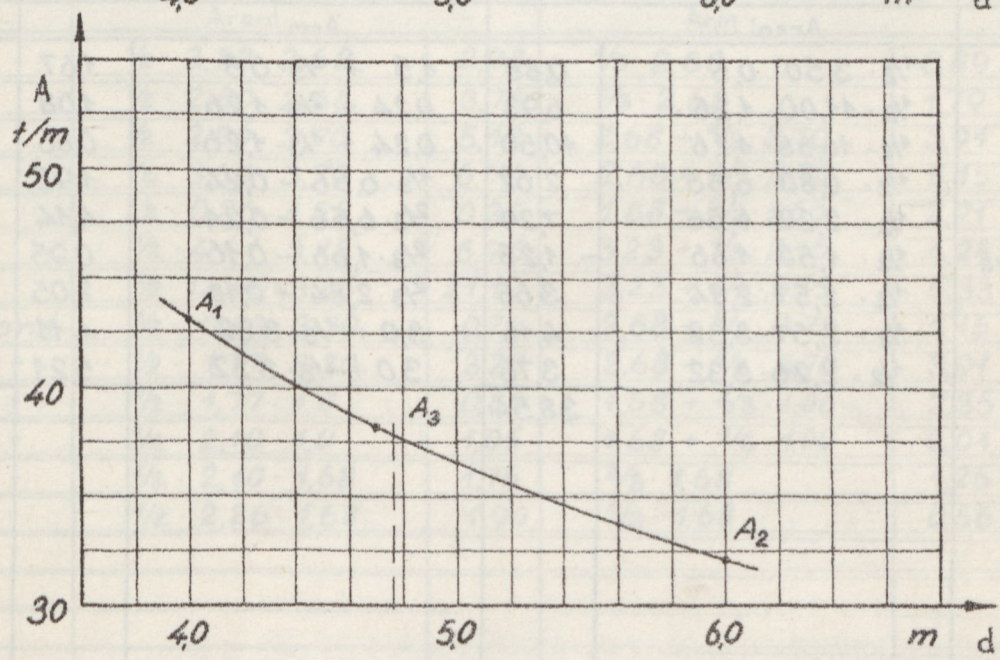
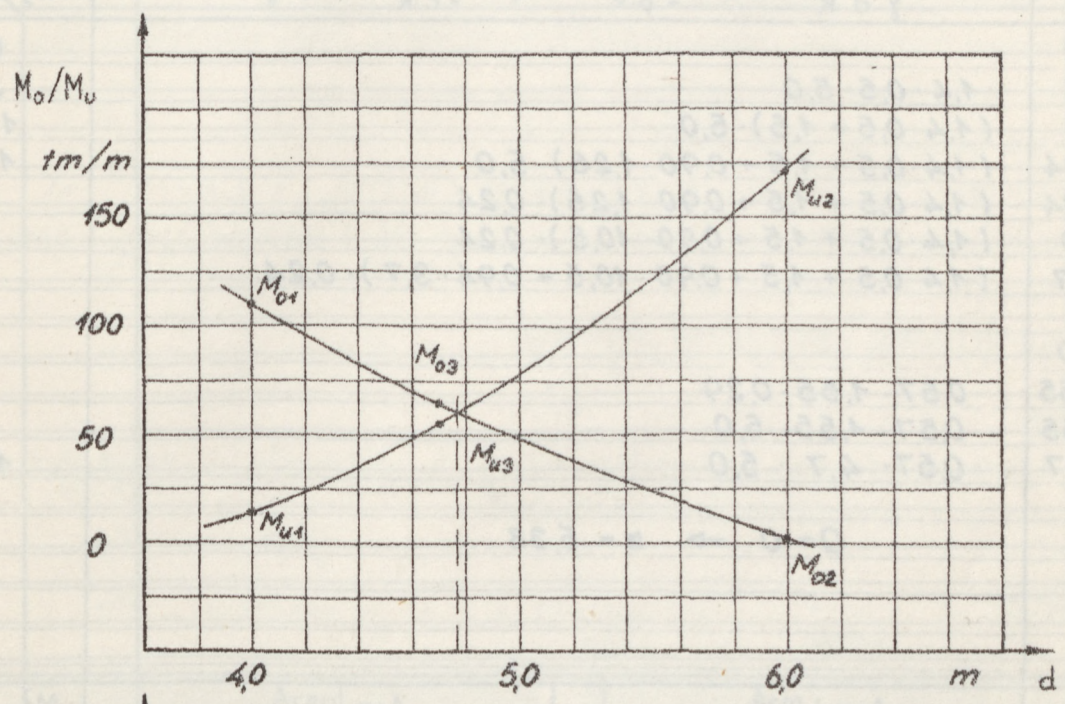
KONKLUSION

Det maksimale moment i spunsvæggen er $M = 59,0 \text{ tm/m}$, ankertrækket er $A = 38,0 \text{ t/m}$ og den nødvendige rammedybde er $d = 4,77 \text{ m}$.

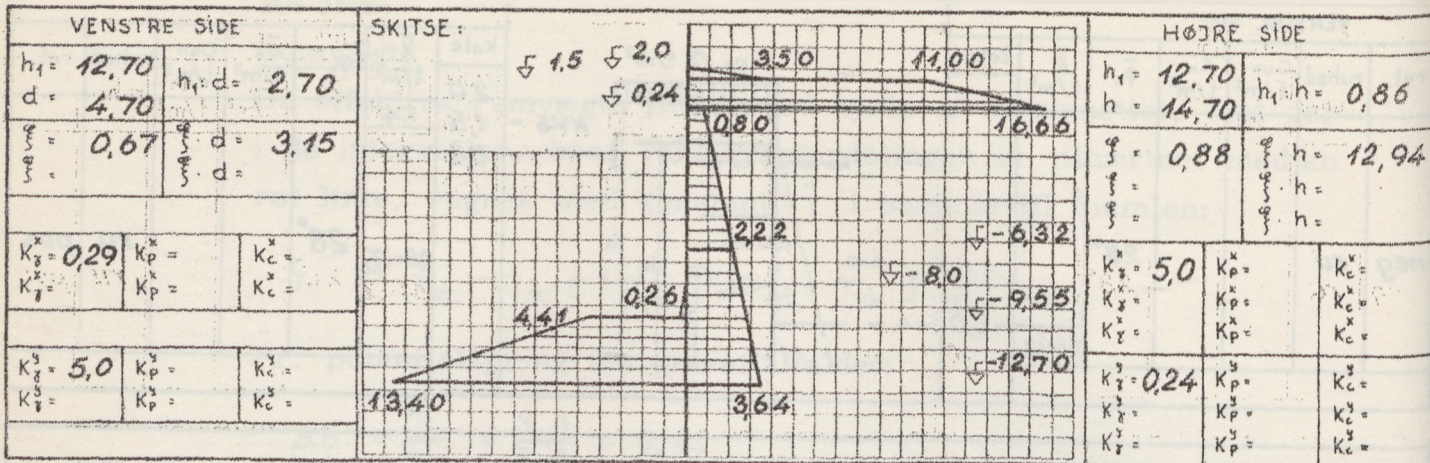
VENSTRE SIDE						kote	HØJRE SIDE					
rot.	ruhed	C_{un} t/m ²	\bar{C}_n t/m ²	$\bar{\varphi}_n$	$\bar{\delta}$ t/m ³		kote	$\bar{\delta}$ t/m ³	$\bar{\varphi}_n$	\bar{C}_n t/m ²	C_{un} t/m ²	ruhed
neg	ru			28°			2.0					
					0.8-ix ₀	8.0	1.5					
							0.0	0.8+ix ₀	28°		ru	pos



GRAFISK INTERPOLATION:



RESULTATER: M = 59.0 tm/m A = 38.0 t/m d = 4.77 m



e	H/V	Kote	$\bar{y} \cdot d \cdot K$	- p.k	+ c.k	t/m ²
e ^x	H	2,0				0
"	H	1,5	1,4 · 0,5 · 5,0			3,50
"	H	1,5	(1,4 · 0,5 + 1,5) · 5,0			11,00
"	H	0,24	(1,4 · 0,5 + 1,5 + 0,90 · 1,26) · 5,0			16,66
e ^y	H	0,24	(1,4 · 0,5 + 1,5 + 0,90 · 1,26) · 0,24			0,80
"	H	-9,0	(1,4 · 0,5 + 1,5 + 0,90 · 10,5) · 0,24			2,80
"	H	-12,7	(1,4 · 0,5 + 1,5 + 0,90 · 10,5 + 0,94 · 3,7) · 0,24			3,64
e ^x	V	-8,0				0
"	V	-9,55	0,57 · 1,55 · 0,29			0,26
e ^y	V	-9,55	0,57 · 1,55 · 5,0			4,41
"	V	-12,7	0,57 · 4,7 · 5,0			13,40

$Q = 0 \Rightarrow z = 5,38$

M		Areal		Arm	M ²	M ³
M ₀	H	$\frac{1}{2} \cdot 3,50 \cdot 0,5$	0,88	$1,5 + \frac{1}{3} \cdot 0,5$	1,67	1,47
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 11,00 \cdot 1,26$	6,93	$0,24 + \frac{2}{3} \cdot 1,26$	1,08	7,49
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 16,66 \cdot 1,26$	10,50	$0,24 + \frac{1}{3} \cdot 1,26$	0,86	9,03
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 0,80 \cdot 6,56$	2,62	$\frac{1}{3} \cdot 6,56 - 0,24$	1,95	5,12
"	H	$\frac{1}{2} \cdot 2,22 \cdot 6,56$	7,29	$\frac{2}{3} \cdot 6,56 - 0,24$	4,14	30,18
"	H	vand $\frac{1}{2} \cdot 1,50 \cdot 1,66$	- 1,25	$\frac{2}{3} \cdot 1,66 - 0,16$	0,95	1,19
"	H	" $\frac{1}{2} \cdot 2,57 \cdot 2,84$	3,65	$\frac{2}{3} \cdot 2,84 + 0,16$	2,05	7,49
"	H	" $\frac{1}{2} \cdot 2,57 \cdot 3,32$	4,16	$3,0 + \frac{1}{3} \cdot 3,32$	4,11	17,10
"	H	" $\frac{1}{2} \cdot 2,26 \cdot 3,32$	3,76	$3,0 + \frac{2}{3} \cdot 3,32$	5,21	19,59
			38,54		80,67	17,99

EKSEMPEL 9.5: Ankerplade i sand.GIVET

Til den i eksempel 9.2 beregnede spunsvæg med eet flydecharnier skal dimensioneres en ankerpladerække.

Konstruktionens relevante parametre er følgende:

Jordoverfladen : kote + 2,0

Forankringen : kote 0,0

Vandspejlet i kanalen : kote 0,0

Ankrenes indbyrdes afstand er $L = 2,50$ m. Det nominelle ankertræk, som konstruktionen skal kunne optage, er $A = 13,0$ t/m.

Jorden består af sand med:

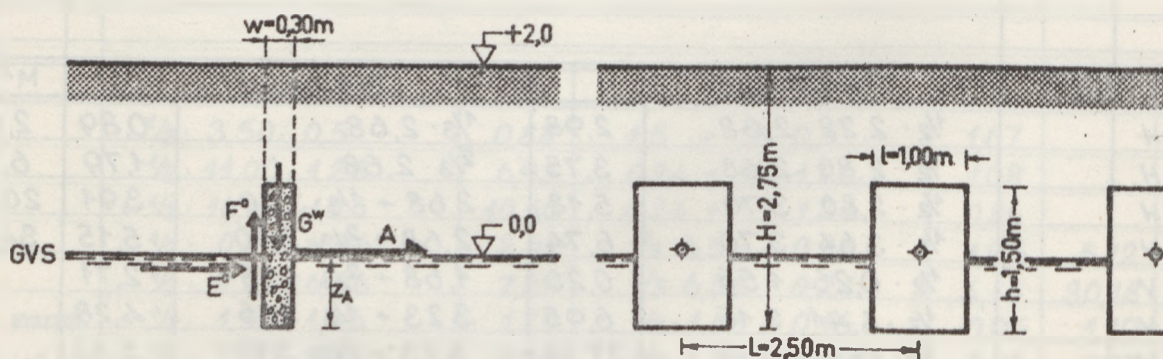
$$\varphi = 34,7^\circ \quad (c = 0), \quad \gamma = 1,8 \text{ t/m}^3 \quad \text{og} \quad \gamma_m = 2,0 \text{ t/m}^3$$

Grundvandspejlet i jorden kan regnes at stå i samme niveau som vandspejlet i kanalen.

Jordoverfladen kan regnes ubelastet.

ØNSKES

Find ankerpladernes nødvendige højde h og længde l samt deres placering i forhold til jordoverfladen.

LØSNING

Figur 9.5 A: Ankerplader.

Skøn

Som et indledende skøn gives ankerpladerne de på figur 9.5 A viste dimensioner.

Forudsætninger

Pladerne forudsættes at være ru.

Nominelle værdier

$$\varphi_n = \text{Arctan} \frac{\tan \varphi}{f_\varphi} = \text{Arctan} \frac{\tan 34,7^\circ}{1,2} = 30^\circ$$

Beregning af grundtilfældet

Først beregnes egenvægten G^w af pladerne samt af den jord, der ligger direkte over eller mellem pladerne.

$$G^w = \frac{0,30}{2,50} \cdot [1,0 (1,25 \cdot 1,8 + 0,75 \cdot 2,4 + 0,75 \cdot 1,4) + 1,5 (2,0 \cdot 1,8 + 0,75 \cdot 1,0)] = 1,40 \text{ t/m}$$

Det hydrostatiske jordtryk beregnes:

$$E^h = \frac{1}{2} \gamma (h_1 + h_2)^2 - \frac{1}{2} (\gamma - \gamma') h_2^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,8 (2,0 + 0,75)^2 - \frac{1}{2} (1,8 - 1,0) 0,75^2 = 6,58 \text{ t/m}$$

$$E^h z^h = \frac{1}{6} \gamma (h_1 + h_2)^3 - \frac{1}{6} (\gamma - \gamma') h_2^3$$

$$= \frac{1}{6} \cdot 1,8 (2,0 + 0,75)^3 - \frac{1}{6} (1,8 - 1,0) 0,75^3 = 6,16 \text{ tm/m}$$

Idet man af jordtryksdiagrammet for zonebrud finder $K_\gamma^a = 0,27$, beregnes komponenterne af det aktive jordtryk:

$$E^a = E^h K_\gamma^a = 6,58 \cdot 0,27 = 1,77 \text{ t/m}$$

$$F^a = E^a \tan \varphi_n = -1,77 \cdot \tan 30^\circ = -1,02 \text{ t/m}$$

Den lodrette ligevægtstigning for pladerne giver:

$$K_\gamma \tan \delta_\gamma = \frac{G^w - F^a}{E^h} = \frac{1,40 + 1,02}{6,58} = 0,368$$

Af jordtryksdiagrammerne for ankerplader findes:

$$K_\gamma = 3,43 \quad \text{og} \quad \gamma = 0,346$$

Herefter fås ankermodstanden A^o i grundtilfældet:

$$A^o = E^h K_\gamma - E^a = 6,58 \cdot 3,43 - 1,77 = 20,8 \text{ t/m}$$

Afstanden fra foden af pladen og op til angrebepunktet for ankermodstanden findes:

$$z_A^o = \frac{1}{A^o} [E^h z^h K_\gamma \frac{\gamma}{0,333} + G^w \frac{w}{2} - F^a w - E^h z^h K_\gamma^a]$$

$$= \frac{1}{20,8} [6,16 \cdot 3,43 \frac{0,346}{0,333} + 1,40 \cdot 0,15 + 1,02 \cdot 0,30 - 6,16 \cdot 0,27] = 1,00 \text{ m}$$

Beregning af korrektionsfaktor

Da forholdet $H/L = 2,75/2,50 = 1,1$ er nær een, kan resultatet af beregningerne i grundtilfældet korrigeres ved hjælp af det empirisk fundne diagram. Man beregner:

$$h/H = 1,50/2,75 = 0,55$$

$$l/L = 1,00/2,50 = 0,40$$

hvorefter det empiriske diagram giver:

$$A/A^0 = 0,69$$

Ankermodstanden A for rækken af ankerplader fås nu:

$$A = 0,69 \cdot 20,8 = 14,3 \text{ t/m}$$

Da ankerpladernes modstand er større end den nominelle ankerkraft fra spunsvæggen, må skønnet over ankerpladernes dimensioner anses for passende.

Sluttelig findes afstanden z_A fra foden af ankerpladen og op til angrebepunktet for ankerkraften:

$$\begin{aligned} z_A &= H \left(\frac{1}{2} \cdot h/H - \left(\frac{1}{2} - z_A^0/H \right) (h/H) \right)^{\frac{1}{1 - 2z_A^0/H}} \\ &= 2,75 \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1,50}{2,75} - \left(\frac{1}{2} - \frac{1,00}{2,75} \right) \left(\frac{1,50}{2,75} \right) \right)^{\frac{1}{1 - 2 \cdot \frac{1,00}{2,75}}} \\ &= 0,71 \text{ m} \end{aligned}$$

KONKLUSION

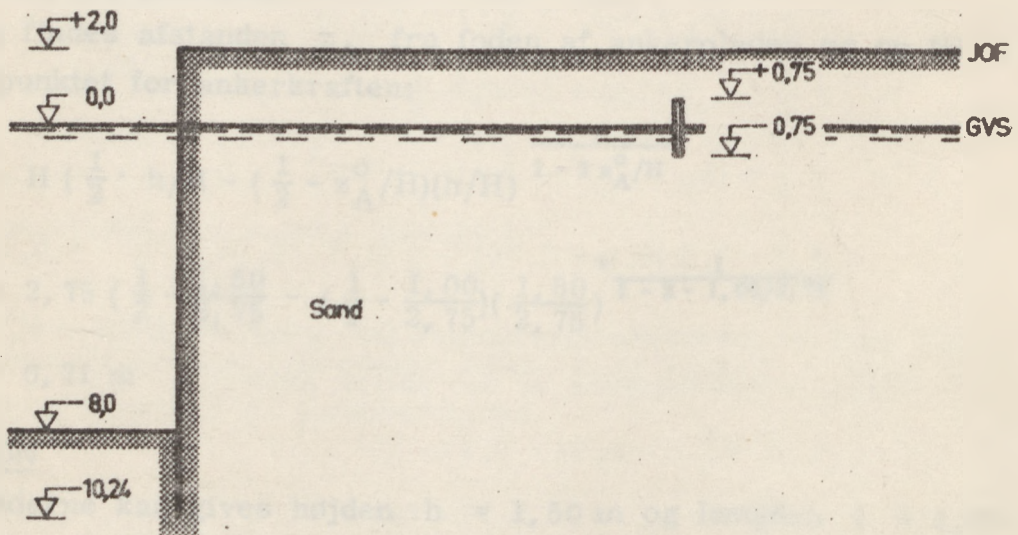
Ankerpladerne kan gives højden $h = 1,50$ m og længden $l = 1,00$ m, idet fodpunktet i så fald skal placeres i kote - 0,75 og ankerkraften angribe pladen i kote - 0,04.

EKSEMPEL 9.6: Bestemmelse af ankerlængde.GIVET

Der betragtes den i eksempel 9.2 omhandlede spunsvæg (med et flydecharnier) samt den i eksempel 9.5 omhandlede, tilhørende ankerpladekonstruktion.

ØNSKES

Find den til forankring af spunsvæggen nødvendige ankerlængde.

LØSNING

Figur 9.6 A: Forankret stålspunsvæg med ankerplade.

Forudsætninger

Problemet betragtes som plant.

Brudlinien tilnærmes med en logaritmisk spiral med stigningsvinklen φ_n .

Jordtrykket på ankerpladens bagside beregnes som om ankerpladen når helt op til jordoverfladen.

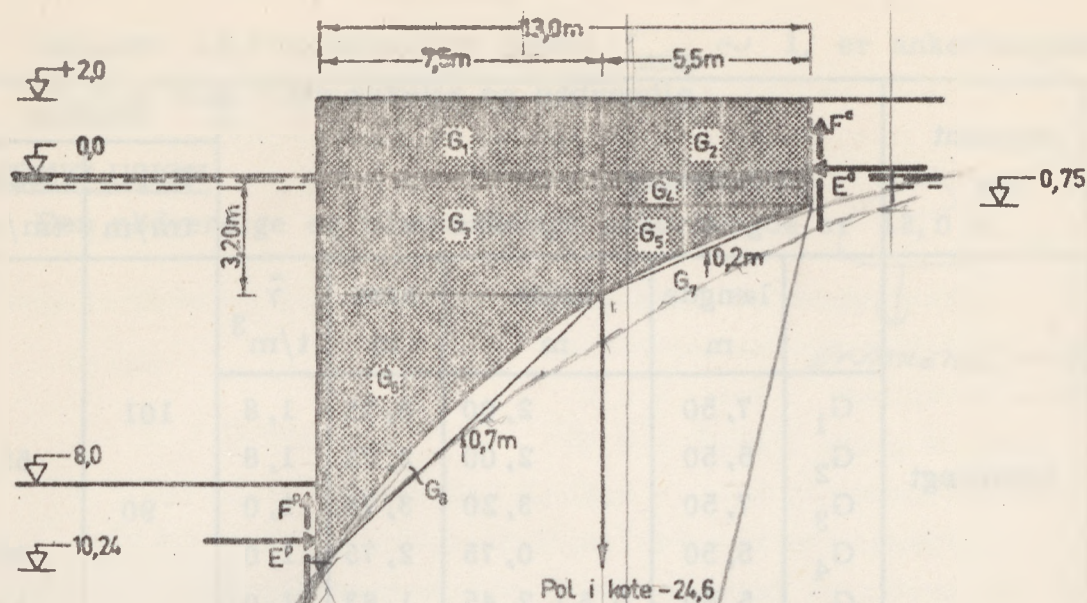
Spunsvæggen og ankerpladen regnes ru.

Nominelle værdier

$$\varphi_n = \text{Arctan} \frac{\tan \varphi_n}{f_\varphi} = \text{Arctan} \frac{\tan 34,7^\circ}{1,2} = 30,0^\circ$$

Brudlinie og arealinddeling

På figur 9.6 B er spunsvæggen vist med en skønnet ankerlængde på 13,00 m. Det skønnes at den farligste brudlinie, som vist på figur 9.6 B, går gennem spunsvæggen og ankerpladens underkant



Figur 9.6 B: Arealinddeling af og kræfter på bevægelig jordlegeme.

og har sin pol i kote - 24,6.

Det af brudlinien, jordoverfladen, spunsvæggen og ankerpladen afgrænsede jordlegeme inddeles i trekanter, rektangler og "parabel-afsnit" således som vist på figur 9.6 B.

Jordtryk

De på ankerpladens bagside og spunsvæggen forside virkende jordtryk beregnes som henholdsvis aktivt og passivt zonebrud.

E^a og F^a er i eksempel 9.5 beregnet til:

$$E^a = 1,77 \text{ t/m} \quad \text{og} \quad F^a = -1,02 \text{ t/m}$$

E^a angriber i højden 0,95 m over ankerpladens fodpunkt d. v. s. i kote + 0,20.

Idet man for passivt zonebrud med $\varphi_n = 30^\circ$ har $K_\gamma^p = 5,7$ fås:

$$E^p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_\gamma^p = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 2,24^2 \cdot 5,7 = 14,30 \text{ t/m}$$

$$F^p = E^p \tan \varphi_n = 14,30 \tan 30^\circ = 8,25 \text{ t/m}$$

E^p angriber i højden $0,33 \cdot 2,24 = 0,75$ m over spunsvæggen fodpunkt d. v. s. i kote - 9,49.

Momentberegning

Beregningen af de drivende og stabiliserende momenter foretages i omstående skema:

Moment fra	Udregning					Moment		
						Driv. tm/m	Stab. tm/m	
Egenvægt		længde m	højde m	arm m	$\bar{\gamma}$ t/m ³	101	55	
	G ₁	7,50	2,00	3,75	1,8			
	G ₂	5,50	2,00	2,75	1,8			
	G ₃	7,50	3,20	3,75	1,0			90
	G ₄	5,50	0,75	2,75	1,0			10 ₁₉
	G ₅	5,50	0,5 · 2,45	1,83	1,0			12
	G ₆	7,50	0,5 · 7,04	5,00	1,0			132
	G ₇	5,50	0,67 · 0,20	2,75	1,0			- 2
G ₈	7,50	0,67 · 0,70	3,75	1,0	- 13			
Jordtryk	kraft t/m		arm m			310	75	
						480	90	
	E _p	14,30	24,60 - 9,49 = 15,11			44	216	
	F _p	8,25	7,50				62	
	E _a	1,77	24,60 + 0,20 = 24,80				6	
-F _a	1,02	5,5						
Sum					354		359	

Stabilitetsforhold

For den aktuelle brudlinie findes stabilitetsforholdet

$$f = \frac{M_s}{M_d} = \frac{359}{354} = 1,01 \quad (1,02)$$

$$\left. \begin{array}{l} M_s = 3576 \text{ kNm} \\ M_d = 3522 \text{ kNm} \end{array} \right\} \text{MERE KORREKT}$$

Ankerlængde

I det foregående er vist, hvorledes udregningen af stabilitetsforholdet foretages for en bestemt ankerlængde og med en bestemt placering af spiralens pol.

Ved bestemmelsen af ankerlængden er følgende fremgangsmåde benyttet: Som første skøn valgtes en ankerlængde på 15,0 m. Spiraler med pol i kote - 32,4 og - 27,6 gav henholdsvis $f = 1,26$ (NEJ FOR $L = 14,5$) og $f = 1,52$. Derefter skønnedes en ankerlængde på 12,0 m. En spiral med pol i kote - 20,0 gav $f = 0,92$ (NEJ FOR $L = 15,7$). Sluttelig valgtes en ankerlængde på 13,0 m, og for denne ankerlængde fandtes for spiraler med pol i kote - 22,2, - 24,6 og - 29,2 henholdsvis $f = 1,10$, $f = 1,01$ og $f = 1,04$. Da man således for anker-

længden 13,0 m netop har fundet $f_{\min} \sim 1$, er ankerlængden 13,0 m både tilstrækkelig og nødvendig.

KONKLUSION

Den nødvendige og tilstrækkelige ankerlængde er 13,0 m.

↓
 SNØBÆRE $\sim 13,4$



EKSEMPEL 9.7: Afstivet spunsvæg i sand.GIVET

Som indfatning for en byggegrube skal anvendes en afstivet spunsvæg med følgende karakteristika:

Jordoverflade : kote + 2,0

Bund af grube : kote - 8,0

Grundvandspejl : kote - 9,2

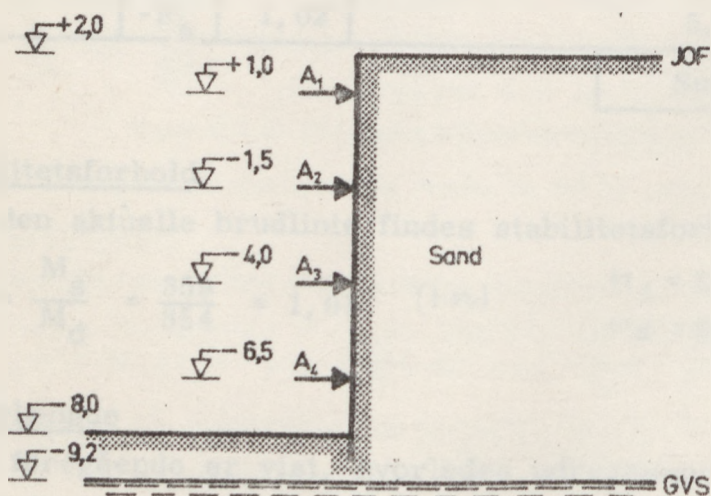
Afstivninger : kote + 1,0, - 1,5, - 4,0 og - 6,5.

Jorden består på begge sider af spunsvæggen og til stor dybde af sand med:

$\varphi = 34,7^\circ$ ($c = 0$), $\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$, $\gamma_m = 2,0 \text{ t/m}^3$ og $h_c = 0$
 Jordoverfladen kan regnes ubelastet.

ØNSKES

Find det maksimale moment M i spunsvæggen, den maksimale kraft A i afstivningerne, samt den nødvendige rammedybde d .

LØSNING

Figur 9.7 A: Afstivet stålspunsvæg.

Forudsætninger

Jordtrykket beregnes efter Brinch Hansens metode.

Spunsvæggen forudsættes at være ru.

Nominelle værdier

$$\varphi_n = \text{Arctan} \frac{\tan \varphi}{f_\varphi} = \text{Arctan} \frac{\tan 34,7^\circ}{1,2} = 30^\circ$$

Beregning af jordtryk

Indledningsvis optegnes jordtryksfordelingen på væggen bagside under forudsætning af, at væggen drejer sig som et stift hele omkring øverste understøtning.

Med:

$$\rho = \frac{9,0}{10,0} = 0,90, \quad \text{pos. rot.}, \quad \text{ru væg og } \varphi_n = 30^\circ$$

findes:

$$\xi = 0,88, \quad K_\gamma^x = 5,7 \quad \text{og} \quad K_\gamma^y = 0,23$$

Trykspringets beliggenhed findes:

$$\xi \cdot h = 0,88 \cdot 10,00 = 8,80 \text{ m d.v.s. kote } + 0,80$$

Jordtrykkene beregnes:

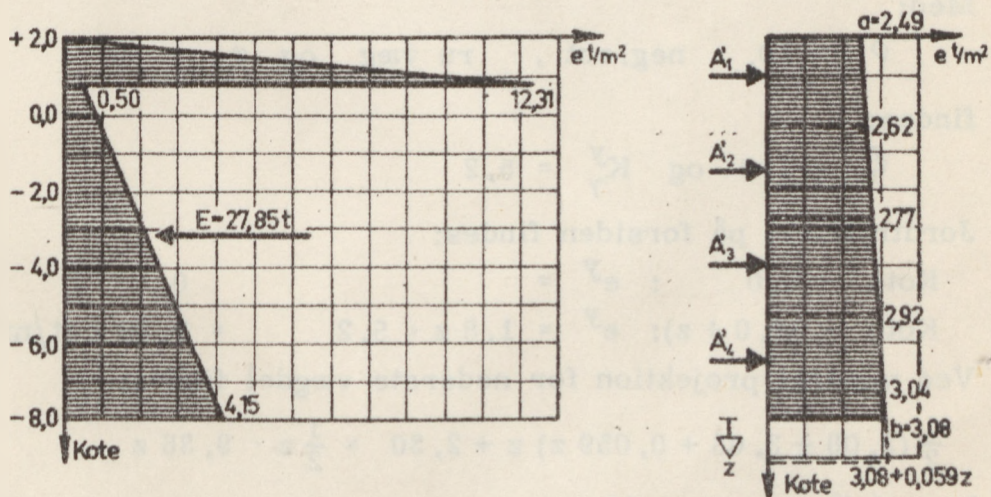
$$\begin{aligned} \text{Kote } + 2,00: e^x &= && 0 \quad \text{t/m}^2 \\ \text{Kote } + 0,80: e^x &= 1,8 \cdot 1,20 \cdot 5,7 && = 12,31 \text{ t/m}^2 \\ \text{Kote } + 0,80: e^y &= 1,8 \cdot 1,20 \cdot 0,23 && = 0,50 \text{ t/m}^2 \\ \text{Kote } - 8,00: e^y &= 1,8 \cdot 10,00 \cdot 0,23 && = 4,15 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Heraf findes for det totale jordtryk:

$$E = \frac{1}{2} \cdot 1,20 \cdot 12,31 + \frac{1}{2} (0,50 + 4,15) 8,80 = 27,85 \text{ t/m}$$

$$Ez = \frac{1}{2} \cdot 1,20 \cdot 12,31 (8,80 + \frac{1}{3} \cdot 1,20)$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot 0,50 \cdot 8,80^2 \cdot \frac{2}{3} + \frac{1}{2} \cdot 4,15 \cdot 8,80^2 \cdot \frac{1}{3} = 134,4 \text{ tm/m}$$



Figur 9.7 B: Jordtryk på afstivet stålpunsvæg.

Tilnærmes dette jordtryk som vist på figur 9.7 B med en retliniet jordtryksfordeling med ordinat a i væggen toppunkt og ordinat b i væggen fodpunkt fås for a og b :

$$E = \frac{1}{2} (a + b) 10,00 = 27,85$$

$$Ez = \frac{1}{3} a \cdot 10,00^2 + \frac{1}{6} b \cdot 10,00^2 = 134,4$$

Heraf findes:

$$a = 2,49 \text{ t/m}^2 \quad \text{og} \quad b = 3,08 \text{ t/m}^2$$

Beregning af kræfter på understøtninger

Man finder:

$$A_1 = \frac{1}{2} (2,49 + 2,62) 2,25 = 5,75 \text{ t/m}$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (2,62 + 2,77) 2,50 = 6,74 \text{ t/m}$$

$$A_3 = \frac{1}{2} (2,77 + 2,92) 2,50 = 7,10 \text{ t/m}$$

$$A_4 = \frac{1}{2} (2,92 + 3,04) 2,00 = 5,96 \text{ t/m}$$

Beregning af nødvendig rammedybde

I kote - 8,0 er den vandrette forskydningskraft i væggen

$$Q = \frac{1}{2} (3,04 + 3,08) 0,75 = 2,30 \text{ t/m}$$

Denne forskydningskraft samt jordtrykket på væggens bagside under kote - 8,0 skal optages af passivt jordtryk på væggens forside.

Med:

$$\varphi = 10, \quad \text{neg. rot.}, \quad \text{ru væg} \quad \text{og} \quad \varphi_n = 30^\circ$$

findes:

$$\xi = 1,0 \quad \text{og} \quad K_\gamma^y = 5,2$$

Jordtrykkene på forsiden findes:

$$\text{Kote - 8,0} \quad : \quad e^y = 0$$

$$\text{Kote - (8,0 + z)}: \quad e^y = 1,8 z \cdot 5,2 = 9,36 z \text{ (t/m}^2\text{)}$$

Ved vandret projektion for nederste vægdel findes:

$$\frac{1}{2} (3,08 + 3,08 + 0,059 z) z + 2,30 = \frac{1}{2} z \cdot 9,36 z$$

hvoraf fås $z = 1,11 \text{ m}$

D. v. s. at væggen skal rammes til kote - 9,11.

Beregning af maksimalmoment i væggen

Man finder:

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{16} e_{\text{middel}} \cdot h^2 \\ &= \frac{1}{16} \cdot 2,92 \cdot 2,50^2 = 1,14 \text{ tm/m} \end{aligned}$$

KONKLUSION

Det maksimale moment i spunsvæggen er $M = 1,14 \text{ tm/m}$, den nødvendige rammedybde er $d = 1,11 \text{ m}$ og maksimalkraften i afstivningerne er $A = 7,10 \text{ t/m}$.