

FV. 869 GRUNNFØR - DELP

BEREGNING AV LANDKAR FUNDAMENTERT
I FYLLING AV STEIN

Laboratorieavdelingen ved Nordland vegkontor har vurdert alternative utførelser av landkar og fylling ut i fra en ren bæreevnebetraktning ved fundamentering av landkar i steinfylling for bru på fv. Grunnfør - Delp. Det vises forøvrig til notat nr. 1. De alternative utførelser og nødvendige dimensjoner er vist på vedlegg 1-4, mens de nødvendige beregninger er samlet i vedlegg 5.

To typer - hullt landkar og steinfylling helt inntil bakmur - er vurdert, og nødvendig sålestørrelse varierer fra min. 5.8 m x 8.0 m til maks. 9.0 m x 10.0 m. Nødvendig overdekning over sålen varierer fra 0.5 m til 1.5 m. Det presiseres at fyllingsskråningen i alle tilfellene forutsettes å ikke ha større helning enn 1:1.5. En steinfylling som ikke bygges opp lagvis fra bunnen av, vil få en naturlig helning på 1:1 - 1:1 1/4, men dette gir ikke tilstrekkelig bæreevne for landkaret. Fyllingsskråningen foran karet må således på en eller annen måte anordnes slik at helningen ikke blir større enn forutsatt. Dersom en mener å legge ut fyllingsskråningen med naturlig helning (iallfall under kote $\div$ 1.5), må minste overdekning over sålen forlenges fra forkant såle og 8.0 m framover.

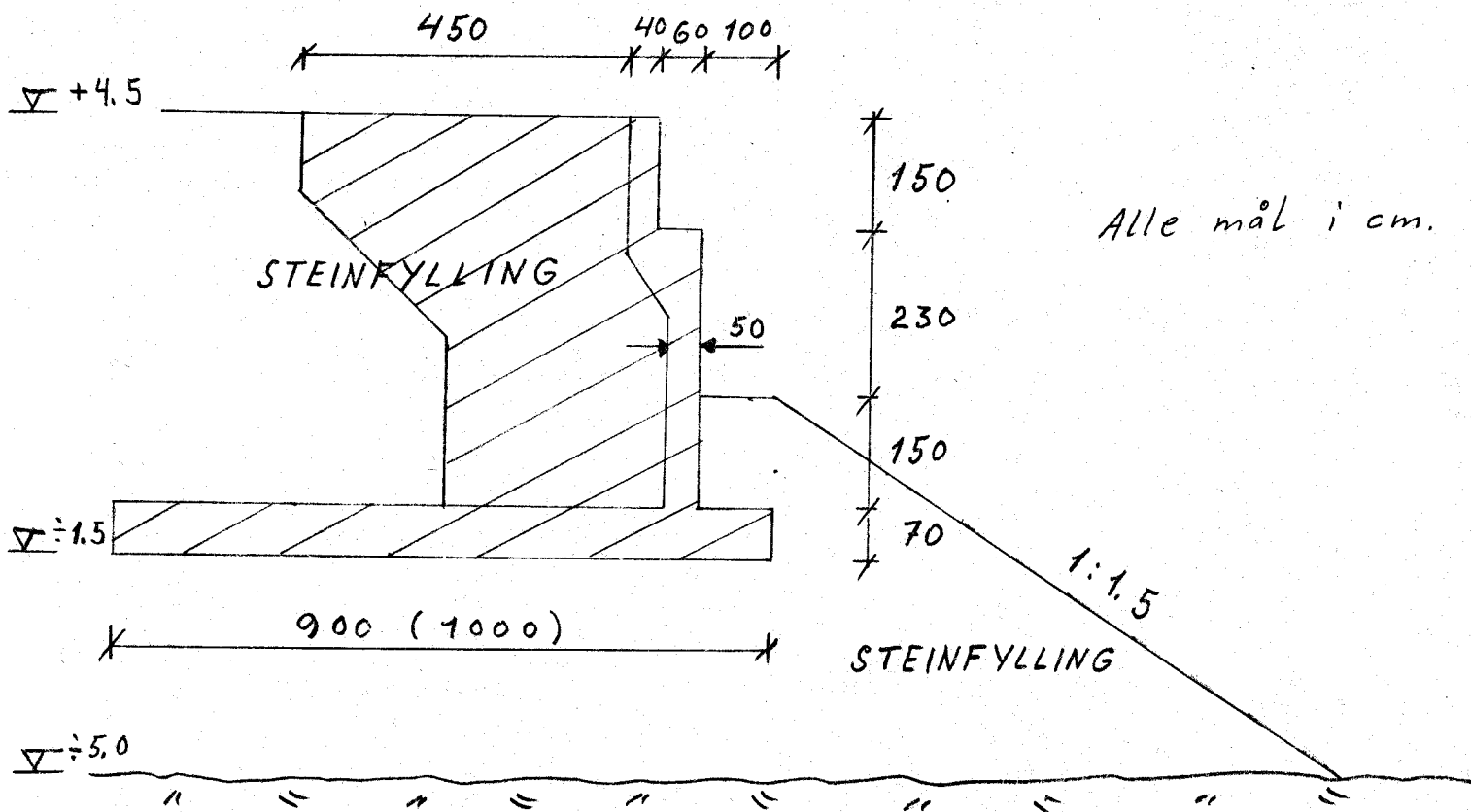
Det forutsettes ellers at fyllingen legges ut og komprimeres lagvis i maks. 1.0 m tykke lag, spesielt i området for landkarene. Første trinn i oppfyllingen bør kunne skje til kote ÷ 1.5. I området for karene foreslår vi at fyllingen legges ut med overhøyde på 2-3 m for raskere å få unnagjort setningene. Fyllingen bør dessuten ligge 2-3 uker etter ferdig oppfylling før landkarene fundamenteres. Det presiseres ellers at fyllingsskråningen rundt landkarene plastres med tilstrekkelig stor sprengstein, midlere steinstørrelse $d_{50} \approx 50$ cm eller større. Fra fyllingsfot legges det ut en 5-10 m bred erosjonssikring av samme steintype.

Laboratorieavdelingen
Nordland vegkontor

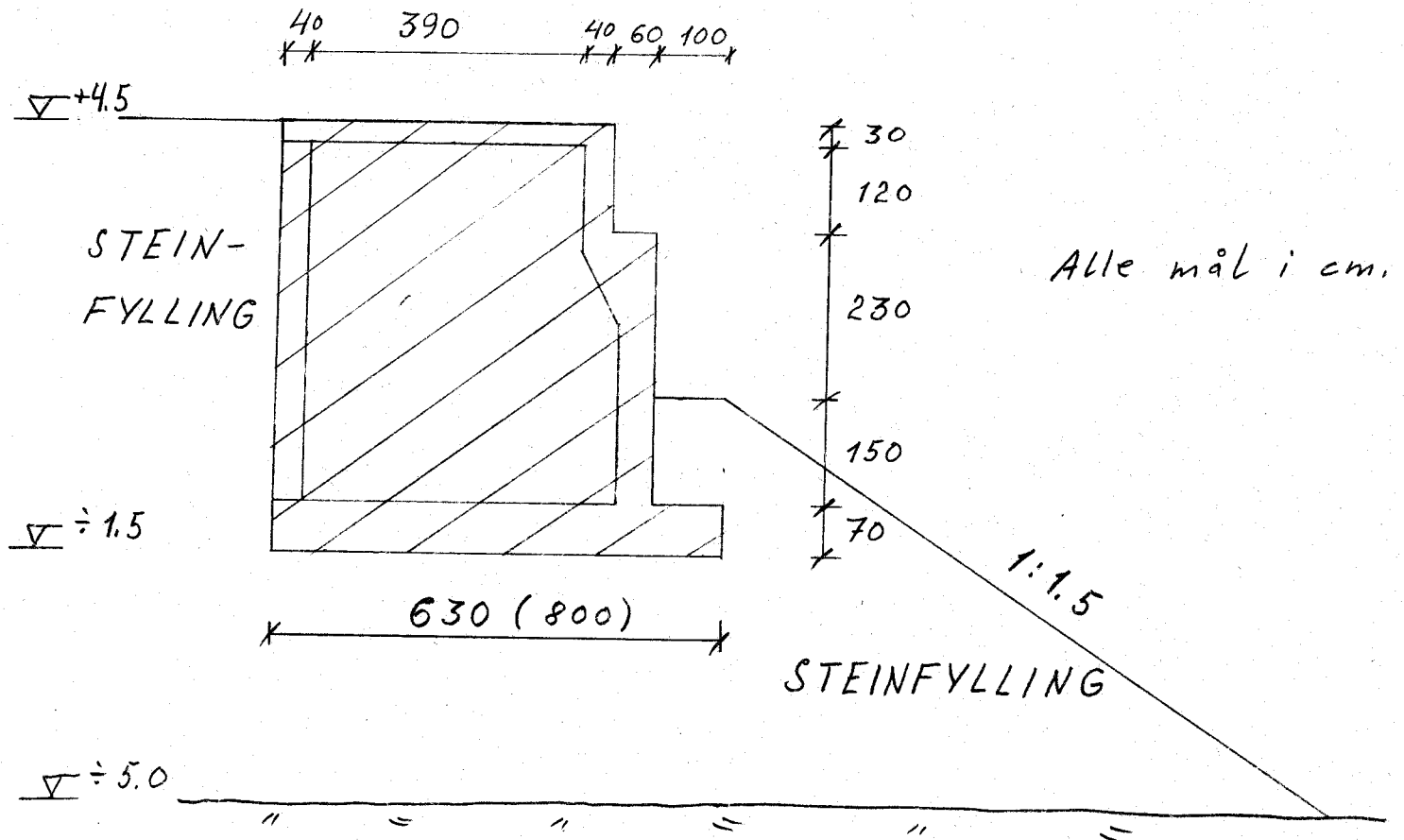
Saksbehandler:
Avd. ing. L. Jussén

VEDLEGG

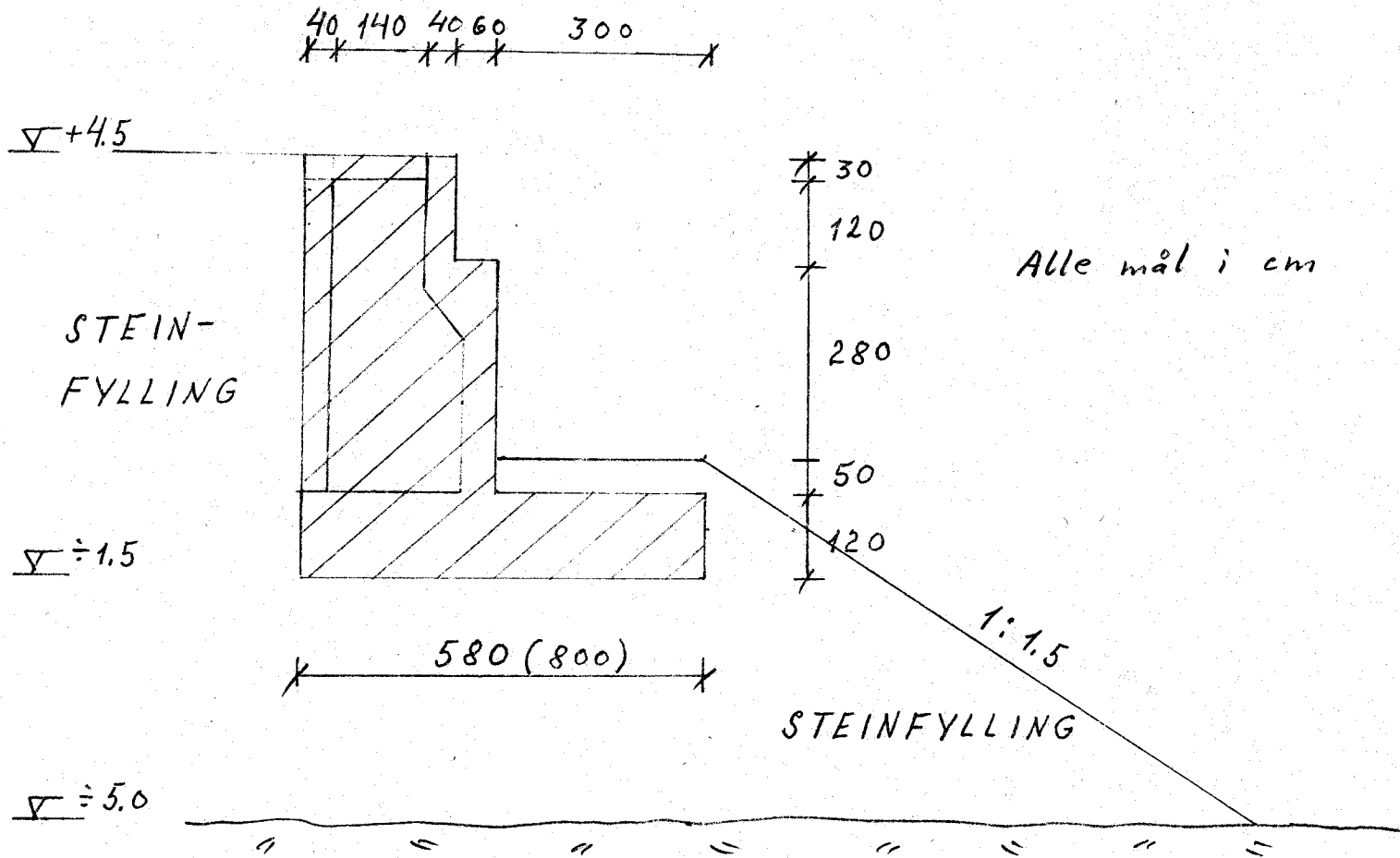
Bodo, 29. august 1978



UTFORMING AV LANDKAR OG
"FULL" STEINFYLLING (Alt. 1)

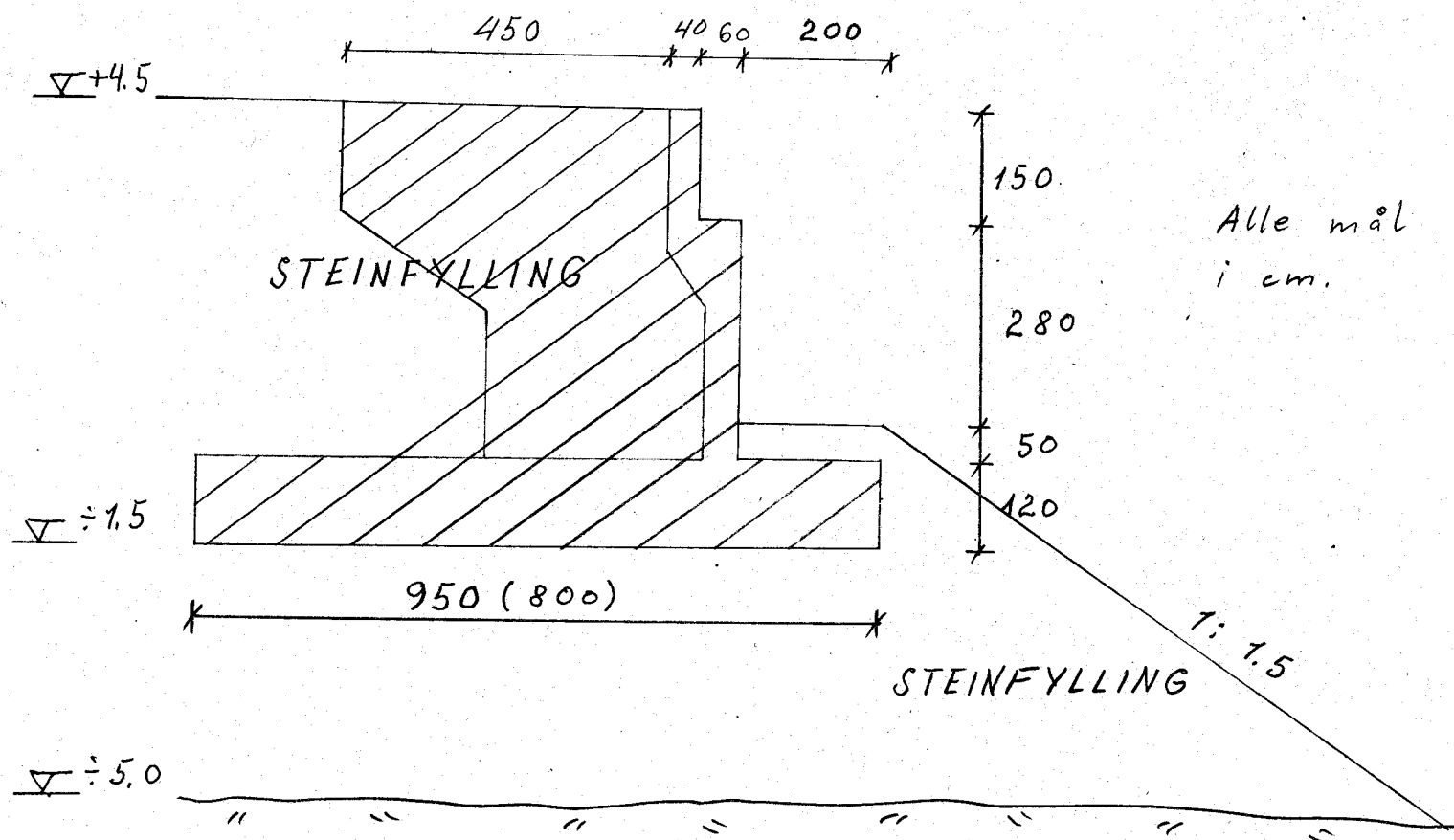


UTFORMING AV LANDKAR (HULT)
OG REDUSERT FYLLING (Alt. 2)



UTFORMING AV LANDKAR (HULT)

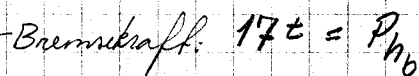
OG REDUSERT FYLLING OG OVERDEKNING
(Alt. 3)



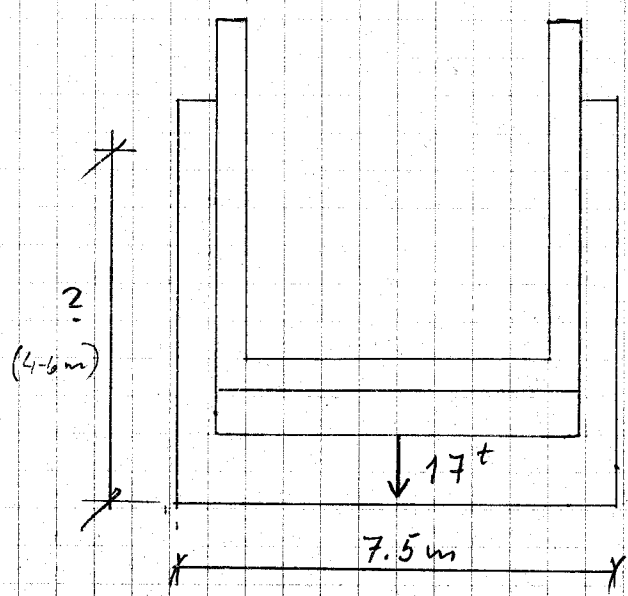
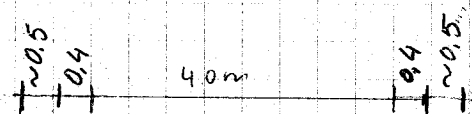
UTFORMING AV LANDKAR OG "FULL"
 STEINFYLLING - REDUSERT OVERDEKNING
 (Alt. 4)

BEREGNINGER

Alt. 1: Fylling inn-
til bakmur,



NB! P_g og P_f er ekskl.
lastfaktorer.



Overført såletrykk: (antar vannstand ved u.k. såle)

1) Egenvekt landkar:

- Frontmur + bakmur: $I = 2.4(0.5 \cdot 3.8 + 0.4 \cdot 2.3) \text{ t/m} = 6.7 \text{ t/m}$
- Ringemur: $II = 2.4 \cdot 0.8(3.5 \cdot 5.3 + \frac{1}{2} \cdot 3.0 \cdot 2.5) / 10.0 = 4.3 \text{ t/m}$
- Såle: $III = 2.4 \cdot 0.7 B = 1.7B \text{ t/m}$

2) Egenvekt jord:

- Foran mur: $IV = 2.0 \cdot 1.5 \cdot 1.0 = 3.0 \text{ t/m}$
- Bak mur: $V = 2.0 \cdot 5.3(B - 1.6) = (10.6B - 17) \text{ t/m}$

3) Egenvekt + nytte last bru:

$$P_g + P_q = 150 / 10.0 \text{ t/m} = 15.0 \text{ t/m}$$

4) Nyttelast på fylling (over såle):

$$P_{gr} = 1(B - 1.9) = (B - 1.9) \text{ t/m}$$

Total vertikal belastning:

W \ B	5.0 m	6.0 m	7.0 m	8.0 m
I	6.7	6.7	6.7	6.7
II	4.3	4.3	4.3	4.3
III	8.5	10.2	11.9	13.6
IV	3.0	3.0	3.0	3.0
V	36.0	46.6	57.2	67.8
$P_g + P_q$	15.0	15.0	15.0	15.0
P_{gr}	3.1	4.1	5.1	6.1
ΣP_i	78.0	91.3	104.6	117.9

Jordtrykk:

Antagelser $\left\{ \begin{array}{l} F = 1.4 \\ \tan \phi = 0.9 \\ r = 0 \\ \tan \beta = 0.64 \end{array} \right\} \Rightarrow \tan \beta = \tan \phi / F = 0.9 / 1.4 = 0.64$

$\left\{ \begin{array}{l} r = 0 \\ \tan \beta = 0.64 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} K_A = 0.3 \\ K_P = 3.8 \end{array} \rightarrow \text{ut ifra diagram}$

Aktivt jordtrykk bak muren: $p'_A = K_A \cdot p'_A = K_A (\gamma' z_A + p_{zf})$

$$p'_A = 0.3 (2.0 \cdot z_A + 1.0)$$

$$p'_A = (0.6 z_A + 0.3) \text{ t/m}^2$$

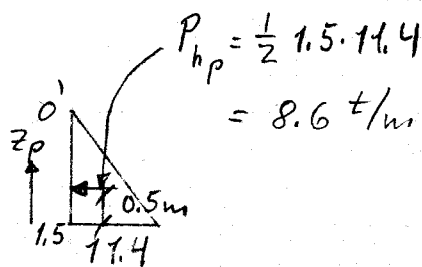
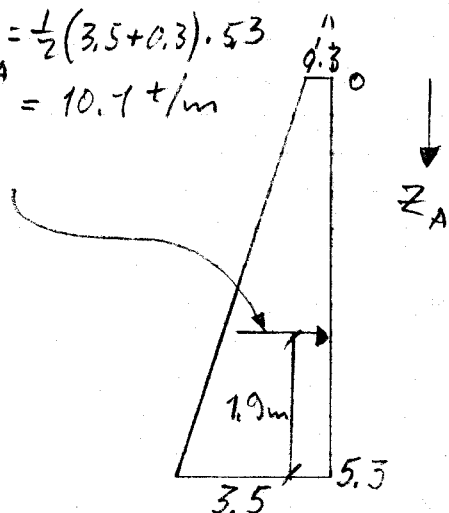
Passivt jordtrykk foran muren: $p'_P = K_P \cdot p'_P = K_P \cdot \gamma' \cdot z_P$

$$p'_P = 3.8 \cdot 2.0 \cdot z_P$$

$$p'_P = 7.6 z_P$$

$$P_{hA} = \frac{1}{2} (3.5 + 0.3) \cdot 5.3$$

$$= 10.1 \text{ t/m}$$



z	p'_A	p'_P	p'_P
0	1.0	0.3	
5.3	11.6	3.5	
0'	0		0
1.5	3.0		11.4

Total horisontal belastning: $P_h = P_{hA} + P_{hP} = 17 + 10.1 - 8.6 = 18.5 \text{ t/m}$

Till. maks. hor. belastning: $P_{hmax} = f_b \cdot P_v = 0.35 \cdot 104.6 = 36.6 \text{ t/m}$

dvs. ikke fare for glidning.

Jordas bæreevne:

$$\bar{\sigma}_v' + a = N_{qs}(\bar{p}' + a) \quad \text{der } a \approx 0$$

$$\bar{\sigma}_v' = f_s \cdot N_q (\bar{p}' + \bar{f} \cdot z_0) \quad \text{der } z_0 = d_0 \cdot B_0$$

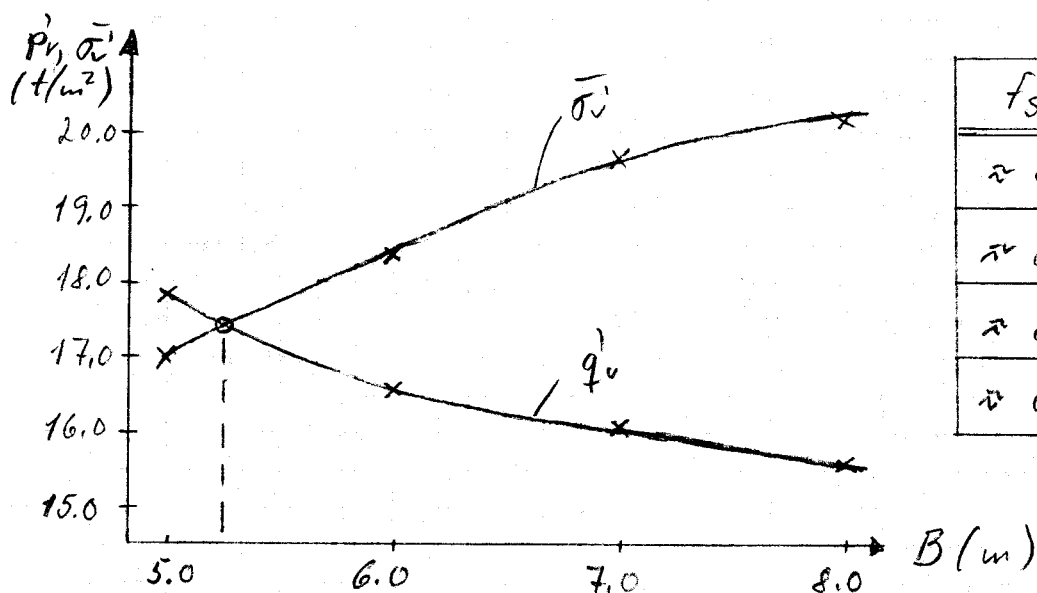
f_s , N_q og d_0 tas ut av diagrammer

B	r	d_0	N_q	f_s	N_{qs}	$\bar{p}' + \bar{f} \cdot d_0 \cdot B_0$	$\bar{\sigma}_v'$
5.0	0.36	≈ 0.54	≈ 25	≈ 0.02	≈ 0.5	$2.0 \cdot 2.2 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 4.46$	3.4
6.0	0.32	≈ 0.54	≈ 25	≈ 0.02	≈ 0.5	$2.0 \cdot 2.2 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 5.50$	3.7
7.0	0.29	≈ 0.54	≈ 25	≈ 0.02	≈ 0.5	$2.0 \cdot 2.2 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 6.54$	4.0
8.0	0.26	≈ 0.54	≈ 25	≈ 0.02	≈ 0.5	$2.0 \cdot 2.2 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 7.58$	4.25

Helning $1:b = 1:1\frac{1}{4} \Rightarrow \tan \beta = 0.80 \Rightarrow s = \frac{\tan \beta}{\tan \delta} = \frac{0.80}{0.64} = 1.25$

KONKLUSJON: Bæreevnen blir for liten - uansett overdekning og sålestørrelse innen realistiske grenser - med skråningshelning $1:1\frac{1}{4}$.

Helning $1:b = 1:1.5 \Rightarrow \tan \beta = 0.67 \Rightarrow s = \frac{0.67}{0.64} = 1.04$



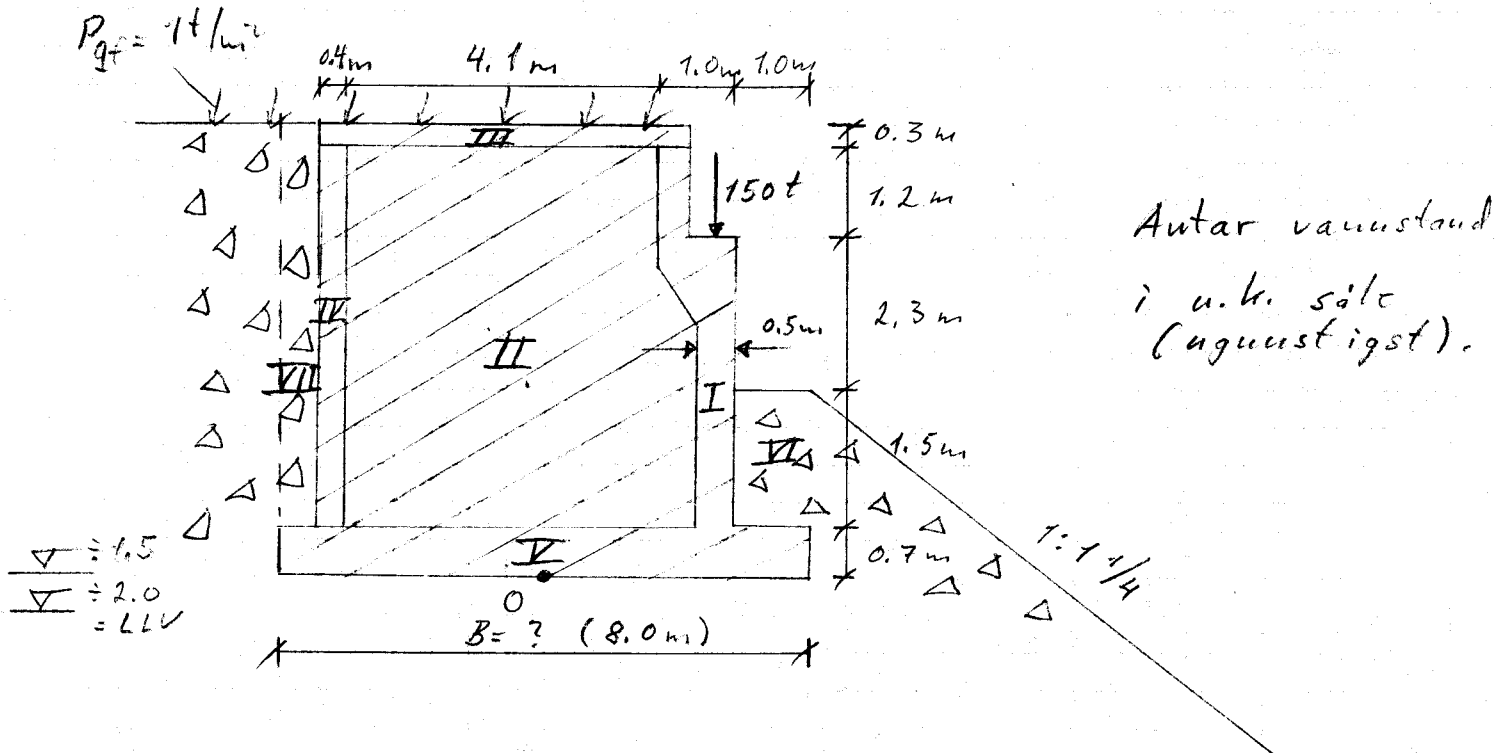
f_s	N_{qs}	$\bar{\sigma}_v'$
≈ 0.10	≈ 2.5	17.0
≈ 0.10	≈ 2.5	18.4
≈ 0.10	≈ 2.5	19.7
≈ 0.10	≈ 2.5	20.2

$B_{n\ddot{o}dv.} = 5.3 \text{ m}$

Krav: $\bar{p}' \leq \bar{\sigma}_v' \leq 15 \text{ t/m}^2 \Rightarrow B_{n\ddot{o}dv.} = 9.0 \text{ m}$
Setningskrav! for $1:1.5$.

NB! Utforming av fyllingskråning meget viktig!

Alt. 2 : Redusert fylling (hult kar)



Overført søletrykk:

1) Egenvekt landkar:

- Frontmur + bakmur (side 2) : $I = 6.7 \text{ t/m}$
- Vingenmur : $II = 2.4 \cdot 0.8 \cdot 5.0 \cdot 5.5 / 8.0 = 6.6 \text{ t/m}$
- Overliggende plate : $III = 2.4 \cdot 0.3 \cdot 5.5 = 4.0 \text{ t/m}$
- Bakplate : $IV = 2.4 \cdot 0.4 \cdot 5.0 = 4.8 \text{ t/m}$
- Søle : $V = 2.4 \cdot 0.7 \cdot B = 1.7 B \text{ t/m}$

2) Egenvekt jord:

- Foran mur : (side 2) $VI = 3.0 \text{ t/m}$
- Bak mur : $VII = 2.0 \cdot 5.3 (B - 6.5) = (10.6 B - 69) \text{ t/m}$

3) Egenvekt + nyttelast bru:

- $P_g + P_q = 150 / 8 = 18.7 \text{ t/m}$

4) Nyttelast på overplate og bakfylling:

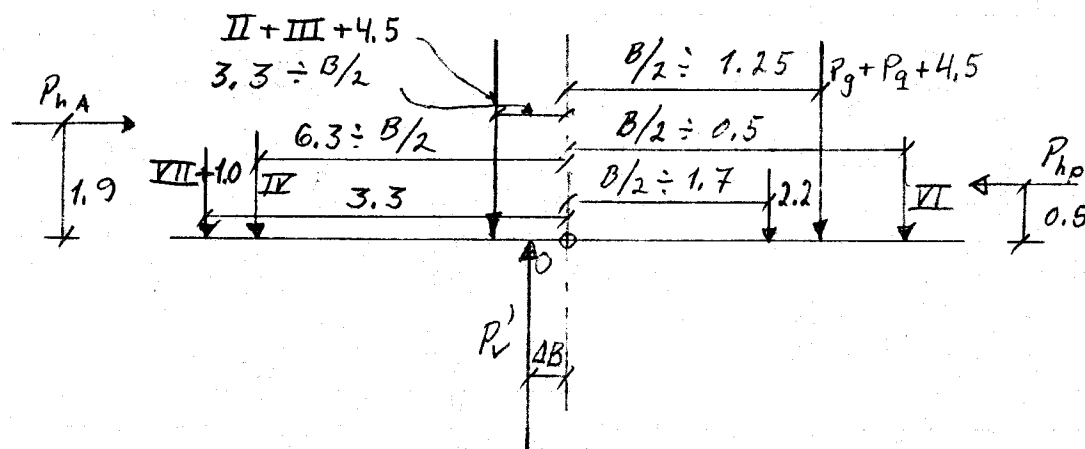
- $P_{gf} = 1.0 \cdot 4.5 + 1.0 (B - 6.5) = (B - 1.0) \text{ t/m}$

Total vertikal belastning:

W \ B	6.0 m	7.0 m	8.0 m
I	6.7	6.7	6.7
II	6.6	6.6	6.6
III	4.0	4.0	4.0
IV	4.8	4.8	4.8
V	10.2	11.9	13.6
VI	3.0	3.0	3.0
VII	0	5.3	15.9
$P_g + P_q$	18.7	18.7	18.7
P_{gf}	4.5	5.0	6.0
$\Sigma P_v'$	58.5	66.0	79.3

Jordtryk: Som for alt. 1 (side 3)

Beregning av eksentrisitet:



$$\Sigma M_o = 0; P_v' \cdot AB + (P_g + P_q + 4.5)(B/2 + 1.25) + VI(B/2 + 0.5) + 2.2(B/2 + 1.7) + P_{hA} \cdot 1.9 \\ + (II + III + 4.5)(3.3 + B/2) + IV(6.3 + B/2) + (VII + 1.0)3.3 + 0.5 P_{hp} = 0$$

$$\Delta B = \frac{(II + III + 4.5)(3.3 + B/2) + IV(6.3 + B/2) + 3.3(VII + 1.0) + 0.5 P_{hp}}{P_v'} + \frac{1.9 P_{hA}}{P_v'} + \frac{2.2(B/2 + 1.7)}{P_v'} + \frac{0.5 P_{hp}}{P_v'} + \frac{B/2 + 0.5}{P_v'} VI$$

$$\Delta B = \frac{15.1(3.3 \div B/2) + 4.8(6.3 \div B/2) + 350B \div 23.2(B/2 \div 1.25) \div 3.0(B/2 \div 0.5) \div 2.2(B/2 \div 1.7) \div 246}{P'_v}$$

B	P'_v	ΔB	B ₀	p'_v	r
6.0	58.5	÷ 1.14	3.72	15.7	0.49
7.0	66.0	÷ 0.93	5.14	12.8	0.44
8.0	79.3	÷ 0.58	6.84	11.6	0.36

$$B_0 = B - 2 \Delta B$$

$$r = \frac{P_h}{P'_v \cdot \tan \phi}$$

Beregnet $r \approx 0.43$, mens antatt $r \approx 0$. Korrigerer imidlertid ikke for dette da jordtrykket har relativt liten innflytelse på eksentrisiteten.

Jordens bæreevne: N_q , f_s og c_0 tilnærmet lik alt. 1 (side 5)

Helning 1: 1 1/4

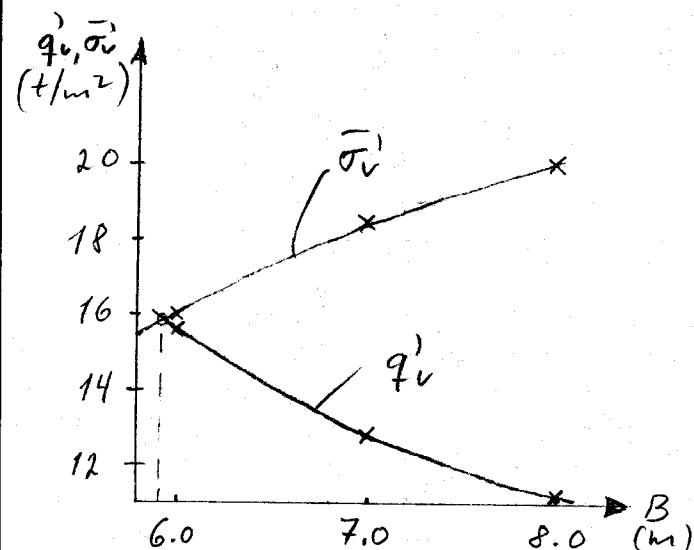


B	$p'_v + \bar{f} \cdot d_0 \cdot B_0$	$\bar{\sigma}'_v$
6.0	$4.4 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 3.72$	3.2
7.0	$4.4 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 5.14$	3.7
8.0	$4.4 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 6.84$	4.05

Helning 1: 1.5



B	$p'_v + \bar{f} \cdot d_0 \cdot B_0$	σ'_v
6.0	—	16.0
7.0	—	18.5
8.0	—	20.0

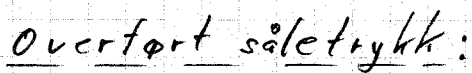


$$\text{Krav: } p'_v \leq \sigma'_v \leq 15 t/m^2$$

setningskrav

$$\text{dvs. } B_{hodv.} = 6.3 m \text{ for } 1:1.5$$

KONKLUSJON: Helning 1: 1 1/4 gir heller ikke nå tilstrekkelig bæreevne.



1) Eigenvekt Landker:

- 2) Egenvekt jord:

- 3) Egenvekt + nyttelast-bru: (som for alt. 2) = 18.7 t/m

- 4) Nyttelast på overliggende plate: $p_{sf} = 1.0(B \div 4.0) = (B \div 4.0) \text{ t/m}$

B	P_v'	ΔB	B_0	p_v'	r
6.0	62.9	$\div 0.26$	5.48	11.5	0.46
7.0	68.6	$\div 0.17$	6.66	10.3	0.42
8.0	74.3	0.04	7.92	9.4	0.39

$$B_0 = B \div 2 \Delta B$$

$$r = \frac{P_h}{P_v' \cdot \tan \rho}$$

Jordas bæreevne: N_q , f_s og d_0 tilnærmet lik alt. 1 (side 5):

Helning 1:1 $1\frac{1}{4}$



B	$p_v' + \bar{f} \cdot d_0 \cdot B_0$	$\bar{\sigma}_v'$
6.0	$2.0 \cdot 2.7 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 5.48$	4.2
7.0	$2.0 \cdot 2.7 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 6.66$	4.4
8.0	$2.0 \cdot 2.7 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 7.92$	4.8

Helning 1:1.5



B	$p_v' + \bar{f} \cdot d_0 \cdot B_0$	$\bar{\sigma}_v'$
6.0	—	21.0
7.0	—	21.0
8.0	—	24.0

$B_{nødv.} \approx 4.0$ m for helning 1:1.5, men den konstruksjonsmessige utforming blir da ikke relevant (for små ringer) og eksentrisiteten for stor. For bl.a. å unngå "konflikt" mellom lagene og fylling må: $B_{nødv.} = 5.8$ m for 1:1.5.

B! Overdekningen kan her reduseres til 0.5 m.

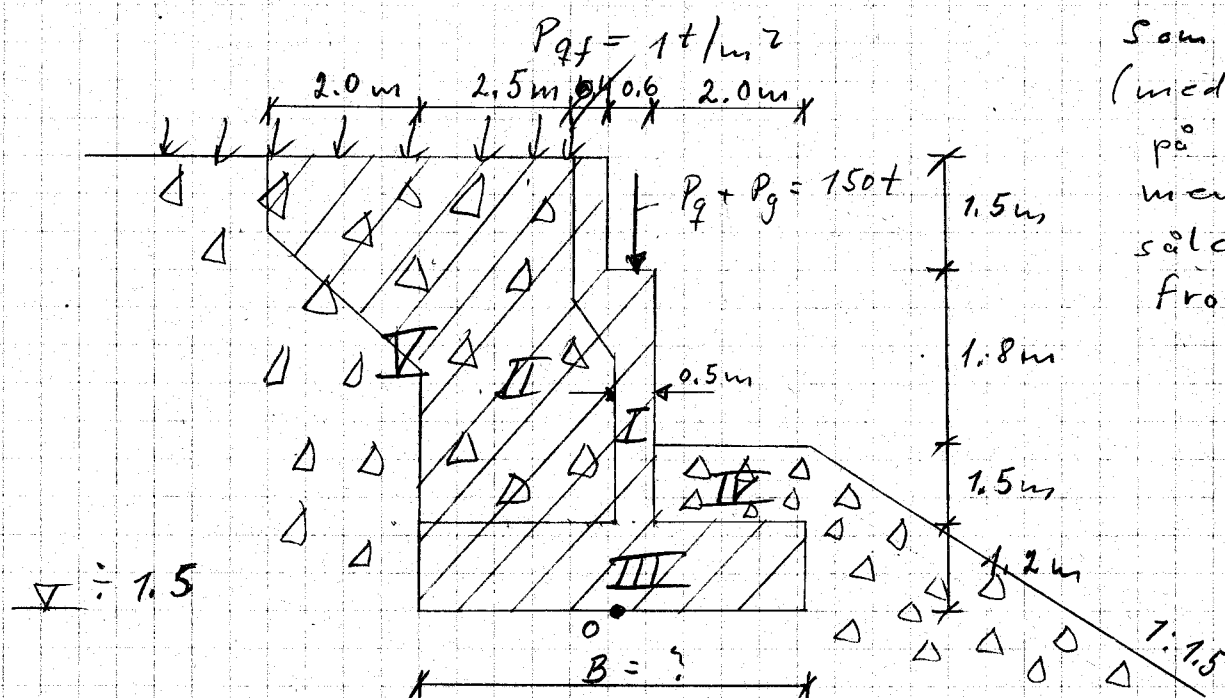
Kontroll:

B	$p_v' + \bar{f} \cdot d_0 \cdot B_0$	$\bar{\sigma}_v'$
6.0	$2.0 \cdot 1.7 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 5.48$	16.0

Dessuten blir P_v' mindre.

OK

Alt. 4. Fylling i utilbakmur - alt. utforming.



Som alt. I
(med fast verdi
på ring),
men større
søle foran
frontmur.

Overført søletrykk: (vanntrend ved uk. søle)

1) Egenvekt landkar:

- Frontmur + bakmur: (som alt. 3) $I = 6.3 \text{ t/m}$
- Vinge mur: $II = 2.4 \cdot 0.8 (3.5 \cdot 4.8 + \frac{1}{2} \cdot 3.0 \cdot 7.3) / 8.0 = 4.9 \text{ t/m}$
- Søle: $III = 2.4 \cdot 1.2 B = 2.9 B \text{ t/m}$

2) Egenvekt jord:

- Foran mur: $IV = 2.0 \cdot 1.5 \cdot 2.0 = 6.0 \text{ t/m}$
- Bak mur: $V = 2.0 \cdot 4.8 \cdot (B \div 2.6) = (9.6 B \div 2.5) \text{ t/m}$

3) Egenvekt + nyttelast, bru:

- $P_g + P_q = 150 / 8.0 \text{ t/m} = 18.7 \text{ t/m}$

4) Nyttelast på fylling over søle:

- $P_{qf} = 1 (B \div 2.8) = (B \div 2.8) \text{ t/m}$

Total vertikal belastning:

$\frac{W}{B}$	4.0 m	5.0 m	6.0 m
I	6.3	6.3	6.3
II	4.9	4.9	4.9
III	9.2	11.5	13.8
IV	6.0	6.0	6.0
V	13.5	23.0	33.5
$P_g + P_q$	18.7	18.7	18.7
P_{gf}	1.2	2.2	3.2
$\Sigma P_v'$	59.8	72.6	86.4

Jordtrykk:

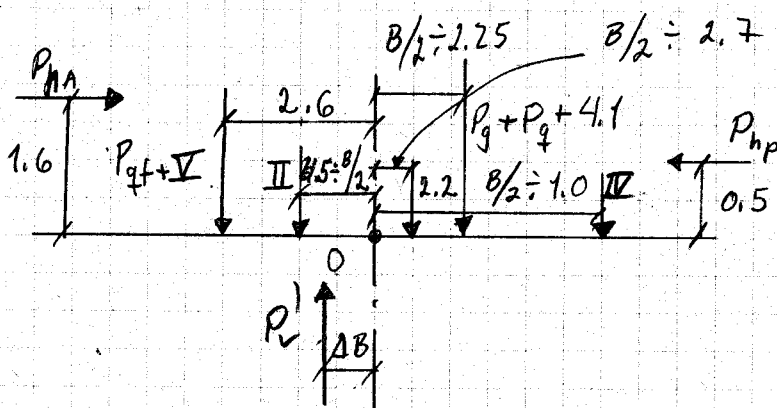
- Passivt foran mur: (som alt. 1) $P_{hp} = 8.6 \text{ t/m}$
- Aktivt bak — : $P_{ha} = \frac{1}{2}(0.3 + 3.2) 4.8 = 8.4 \text{ t/m}$
($a = 1.6 \text{ m}$)

Total horisontal belastning: $P_h = P_{ha} + P_{hp} - P_{hp}$

$$P_h = 17 + 8.4 - 8.6 = 16.8 \text{ t/m}$$

$$< P_{hmax} \therefore \underline{\underline{0 \text{ t}}}$$

Beregning av eksentrisitet:



$$\sum M_o = 0 \Rightarrow \Delta B = \frac{I.6(P_q + I) + II(4.5 \div B/2) + 0.5 P_{hp} \div (P_q + P_q + 4.1)(B/2 \div 2.25) \div IV(B/2 \div 1.0) \div 1.2(B/2 \div 2.7) \div 1.6 P_u}{P_u'}$$

$$\Delta B = \frac{2.6(10.6B \div 17.8) + 4.9(4.5 \div B/2) + 4.3 \div 2.8(B/2 \div 2.25) \div 6.0(B/2 \div 1.0) \div 2.2(B/2 \div 2.7) \div 13.4}{P_u'}$$

B	P_u'	ΔB	B_o	p_u'	r
4.0	59.8	0.63	2.74	21.8	0.44
5.0	71.6	0.64	3.72	19.5	0.36
6.0	86.4	0.65	4.70	18.4	0.32

$$B_o = B - 2 \Delta B$$

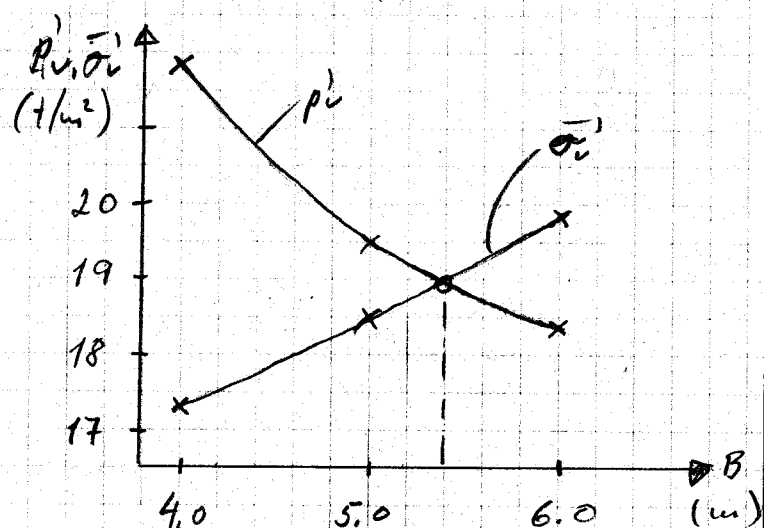
$$r = \frac{P_u}{P_u' \cdot t_g \cdot s}$$

Jordens bæreevne: N_q , f_s og d_o tilnærmet lik alt. 1 (side 5):

Helning 1:1.5



B	$p_u' + \bar{\gamma} \cdot d_o \cdot B_o$	$\bar{\sigma}_u'$
2.0	$2.0 \cdot 2.7 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 2.74$	17.3
5.0	$2.0 \cdot 2.7 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 3.72$	18.5
6.0	$2.0 \cdot 2.7 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 4.70$	19.8



$$B_{nodv} = 5.4 \text{ m}$$

$$\text{Krav: } p_u' \leq \bar{\sigma}_u' \leq 15 \text{ t/m}^2$$



$$B_{nodv} = 9.5 \text{ m for helning 1:1.5}$$

NB! Uttøring på 3.0 m gir beregningsmcs-sig 10.5 x 8.0 m

NB! Overdekningen kan her reduseres til 0.5 m.

Kontroll:

B	$p_u' + \bar{\gamma} \cdot d_o \cdot B_o$	$\bar{\sigma}_u'$
6.0	$2.0 \cdot 1.7 + 1.0 \cdot 0.54 \cdot 4.70$	14.9