

**Intern rapport  
nr. 1475**

**Indre stabilitet i støttekonstruksjoner  
av armert jord**

Januar 1991

**Veglaboratoriet**

Intern rapport

nr. 1475

Gruppe: C

INDRE STABILITET I STØTTEKONSTRUKSJONER  
AV ARMERT JORD

Vegdirektoratet  
**Veglaboratoriet**

Gaustadalleen 25, Postboks 6390 Etterstad, Oslo 6 Tlf. (02) 63 99 00



Veglaboratoriets Interne rapporter omfatter utredninger, forskningsresultater, studiebesøk, forslag til retningslinjer, foredrag og kurskompendier.

Rapportene er delt i to grupper:

- B: For bruk innen Statens vegvesen
- C: For fri distribusjon

Innholdet eller deler av det må ikke publiseres videre uten tillatelse fra Veglaboratoriet.

prosjekt/oppdrag: P-465 Miljøvennlige geokonstruksjoner

seksjon: 47 - Geoteknisk

saksbehandler: H. Bruun, J. Vaslestad

/BN

dato: Januar 1991





VEGLABORATORIET

## rapportsammendrag

X	Intern rapport
	Laboratorierapport
	Oppdragsrapport
nr. 1475	

111	A	Rapportstatus*) N	Seksjon/fylke- 47-Geotek	Prosjekt P-465	Gruppe: C	nr. 1475				
1	2	3	4	5	21	31	41	51	61	71

*) N = ny O = oppdatert	TITTEL	212	A	Indre stabilitet i støttekonstruksjoner av armert jord							
----------------------------	--------	-----	---	--	--	--	--	--	--	--	--

*) N = ny O = oppdatert	SAKS-BEHANDLER	221	A	Navn Hermann Bruun	Institusjon Veglaboratoriet
		B	Jan Vaslestad	"	
		C			

*) N = ny O = oppdatert	RAPPORT DATA	421	A	Rapporttype**) FOU	Dato Jan. 1991	Erstatter rapport nr:				
		B	Totalt sidetall 23	Språk Norsk						
		C	Antall fotos	Ant. figurer 6	Ant. tabeller 2	Ant. litt.henv. 5				
		D	Sammendrag i andre språk				UTM ref.			

**) FoU = forskning og utvikling F = forskrifter/normaler	SAMMENDRAG	511	A	<p>I konstruksjoner av armert jord brukes stål eller geotekstiler som armering. De metodene som gjelder for dimensjonering av geotekstiler er belyst i Håndbok -016 "GEOTEKNIKK I VEGBYGGING". Håndbok -016 tar imidlertid ikke for seg dimensjonering med stål-armering på en tilfredsstillende måte.</p> <p>Denne rapporten tar for seg bruk av stål-bånd som armering i armert jord støttekonstruksjoner. Den er tenkt å være en støtte for revideringen av aktuelle punkter i kap. 16 i Håndbok -016.</p> <p>Det blir gjennomgått en betraktningssmåte ved dimensjonering av armering, indre stabilitet, som blir kalt "Coherent Gravity"-metoden.</p> <p>Det er vist et regneeksempel med bakgrunn i Håndbok -016 for å vise forskjellen mellom "Coherent Gravity"- og "Tie Back Wedge"-metoden (klassisk jordtrykk) ved kontroll av indre stabilitet.</p>							
--	------------	-----	---	---	--	--	--	--	--	--	--

FAG-OMR.	611	A	Bæreevne og jordtrykk	IRRD kode 42.2
		B		
		C		
NØKKELOD	621	A	Geoteknikk	5755
		B	Armering	3471
		C	Støttemur	3359
		D	Landkar	3424
		E	Aktivt jordtrykk	5726
		F		
		G		
		H		



I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
1. INNLEDNING	1
2. DIMENSJONERING AV ARMERING, INDRE STABILITET	1
2.1 COHERENT GRAVITY METODEN	1
2.2 JORDTRYKKSFORDELING	2
2.3 FAKTOR FOR FRIKSJON ARMERING/JORD	3
2.4 ARMERINGENS FORANKRINGSLENGDE	3
2.5 ARMERINGENS STYRKE	5
3. "REINFORCED EARTH"	5
3.1 ARMERINGENS STYRKE	5
3.2 VALG AV FYLLMASSE	7
3.3 FRONTPANELETS UTFORMING	7
4. REGNEEKSEMPEL	8
5. DISKUSJON	19
6. REFERANSER	20



## 1. INNLEDNING

I konstruksjoner av armert jord brukes stål eller geotekstiler som armering. De metodene som gjelder for dimensjonering av geotekstiler er belyst i Håndbok-016 "GEOTEKNIKK I VEGBYGGING" (1). Håndbok-016 tar imidlertid ikke for seg dimensjonering av stålarmring på en tilfredsstillende måte. Denne rapporten vil derfor omhandle dimensjonering av stålarmring i armert jord konstruksjoner. En fransk arkitekt og ingeniør ved navn Henri Vidal tok i sin tid ut patent på en metode med armering av galvaniserte stål-bånd og med frontpanel av betong. Metoden er patentert under navnet "Reinforced Earth". Denne metoden vil bli omtalt i punkt 3. Det som gjelder generelt ved bruk av stålarmring blir omtalt i punkt 2.

Rapporten vil utdype den teorien som er beskrevet i (1) pkt.16.4.2 med bakgrunn i et litteraturstudium fra utenlandske bøker. Overføring av formler til norske forhold er gjort etter beste skjønn, men kan selvsagt diskuteres.

Det er tilslutt vist et regneeksempel med bakgrunn i pkt.16.9 i (1) for å vise forskjellen mellom "Coherent Gravity"- og "Tie Back Wedge"-metoden ved kontroll av indre stabilitet.

## 2. DIMENSJONERING AV ARMERING, INDRE STABILITET

Det er publisert en rekke metoder for analyse av indre (intern) stabilitet i støttekonstruksjoner av armert jord. I Håndbok-016 er "Tie Back Wedge"-metoden (klassisk jordtrykk) benyttet ved bruk av geotekstiler. Ved bruk av stål-bånd regnes armeringen å være "stiv", og man benytter da en metode kalt "Coherent Gravity" som vi skal betrakte her.

### 2.1 COHERENT GRAVITY METODEN

Teorien er hentet fra (2), (3), (4) og (5). Denne metoden bygger på følgende antakelser som vist i fig. 2.1.

- Fronten av konstruksjoner roterer om topp-punktet
- Horisontalspenningene i jorda avtar fra hviletrykk ( $K_0$ ) i toppen til aktivt jordtrykk ( $K_A$ ) i 6 m dybde, dette p.g.a. komprimeringseffekter.
- Kraften i armeringen har sin maksimalverdi ( $S_n$ ) i en avstand av ca.  $0.3 \cdot H$  fra fronten i øverste halvdel av konstruksjonen. I nedre halvdel reduseres denne avstand til null i foten av konstruksjonen.



- En linje gjennom punkter for  $S_m$  definerer en potensiell bruddlinje som deler konstruksjonen i en aktiv sone og en forankringssone.
- Det benyttes kun fyllmasser med attraksjon  $a = 0$ .

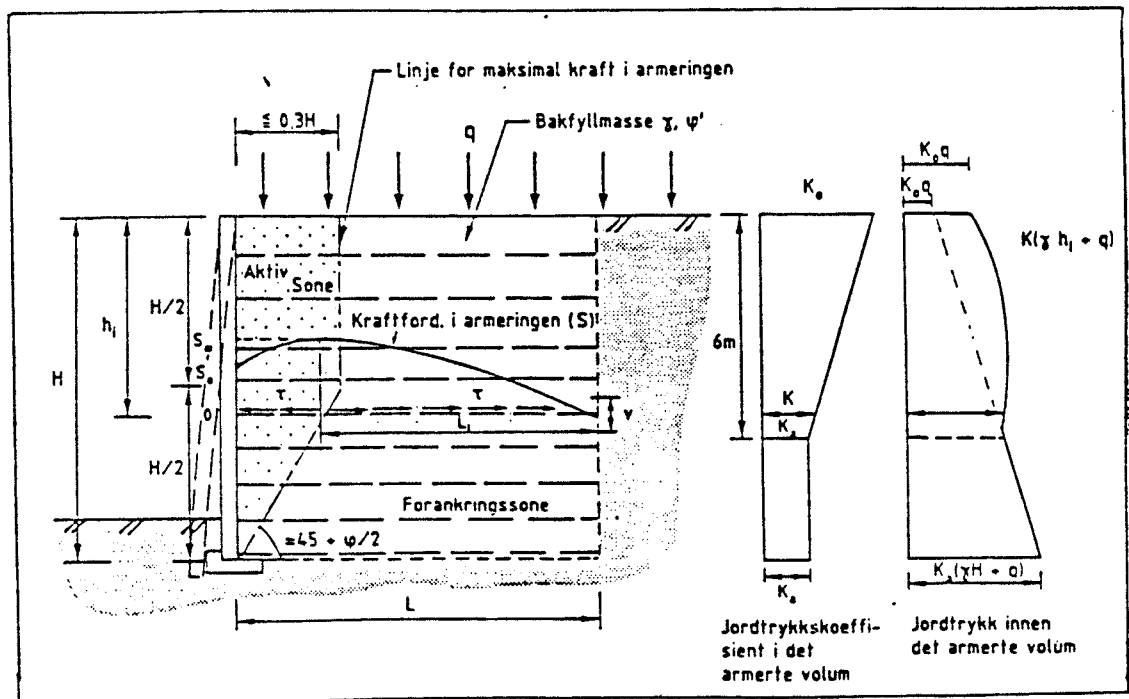


Fig.2.1 "Coherent gravity"-metoden. Fra (2)

## 2.2 JORDTRYKKSFORDELING

Jordtrykkskoeffisienten  $K$  har en lineær fordeling i dybden mellom  $h = 0$  og  $h = 6$  m .  $h$  er definert i fig.2.2.

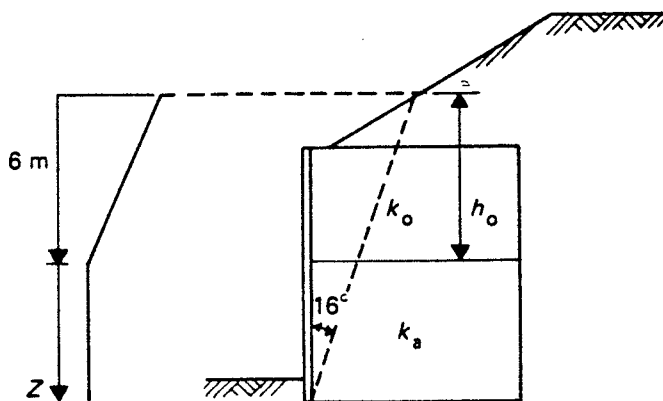


Fig.2.2 Definisjon av dybden  $h$  ved beregning av  $K$ . (4)

$$K = K_0 \left(1 - \frac{h}{6}\right) + K_A \cdot \frac{h}{6} \quad , \quad h \leq 6 \text{ m} \quad (2-1)$$

$$K = K_A \quad , \quad h > 6 \text{ m} \quad (2-2)$$

Utenlandske bøker foreslår hviletrykket  $K_0$ :

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (2-3)$$

Vi foreslår (1) s.453 :

Finn  $K_0$  ved å avlese en verdi for  $K_A$  fra fig. 5.2 eller 5.5 i (1) for en mobiliseringsgrad  $f = 0.5$ .

For  $K_A$  ved jordtrykksberegningene antas  $r = 0$

### 2.3 FAKTOR FOR FRIKSJON ARMERING/JORD

Faktoren for friksjon mellom armering og jord har en fordeling tilsvarende den for  $K$ .

$$f^* = f_0 \left(1 - \frac{h}{6}\right) + \frac{h}{6} \cdot \tan \phi \quad , \quad h \leq 6 \text{ m} \quad (2-4)$$

$$f^* = \tan \phi \quad , \quad h > 6 \text{ m} \quad (2-5)$$

$$f_0 = 1.2 + \log C_u \quad , \quad \text{ru armering} \quad (2-6)$$

$C_u$  er korngraderingstallet,  $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

### 2.4 ARMERINGENS FORANKRINGSLENGDE

Armeringens forankringslengde bestemmes ved å kontrollere at friksjonskreftene som virker på et stål-bånd er større enn jordtrykkskreftene som virker på båndet. Se pkt.16.3 i (1)

Friksjonskreftene som virker på et nett/duk:

$$T_f = 2 \cdot \sigma_v \cdot A \cdot \alpha \cdot \tan \rho \quad ((16-1) \text{ i } (1)) \quad (2-7)$$

$$\tan \rho = \frac{\tan \phi}{\gamma_m} \quad (2-8)$$

Her er  $\alpha$  reduksjonsfaktor armering/jord og  $\tan \rho$  er mobilisert friksjon for jord.

Ved bruk av stål-bånd vil faktoren for friksjon være  $f^*$  og ikke  $\tan \phi$  som for geotekstiler. Reduksjonsfaktoren  $\alpha$  som brukes ved geotekstiler brukes ikke for stål-bånd.

Friksjonskraften  $T_f$  som kreves for å forhindre uttrekking av et stål-bånd er angitt i (3) til:

$$T_f = 2 \cdot \frac{1}{\gamma_f} \cdot b \cdot L_r \cdot f^* \cdot \sigma_v \quad (2-9)$$

Her er  $\gamma_f$  sikkerhetsfaktor,  $b$  er bredde på stål-bånd, forankringssonen  $L_r$  er definert i fig.2.3.,  $f^*$  er faktor for friksjon se pkt.2.3,  $\sigma_v$  er den vertikale spenningen i en avstand  $x$  bak foten i konstruksjonen.  $\sigma_v$  varierer med  $x$  hvis det er skrått terreng over det armerte legemet. I de fleste tilfeller kan man med tilstrekkelig nøyaktighet sette  $\sigma_v = \gamma \cdot h$  i stedet for å finne  $q_v = \frac{R}{B_0}$  for det aktuelle lag.  $R$  er vertikal last og  $B_0$  effektiv bredde.

I (3) er det angitt at  $\gamma_f$  i (2-9) skal oppfylle følgende krav for alle armeringslag:

$$\gamma_f \geq 1.35$$

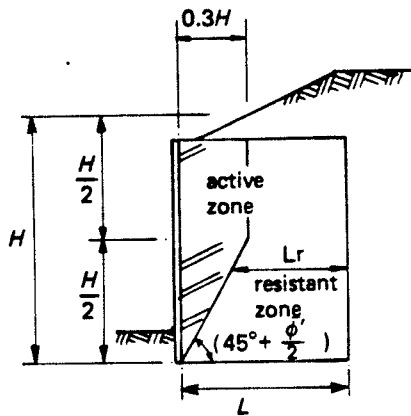


Fig.2.3 Definisjon av forankringssonen  $L_r$ . Fra (4)

#### Kontroll av forankringslengde:

Ved bruk av stål-bånd får vi for et bånd med vertikal og horisontal senteravstand på  $S_v$  h.h.v.  $S_h$ . Den skyvende kraften på ett stål-bånd er:

$$P_h = \sigma_h \cdot S_v \cdot S_h = K \cdot \sigma_v \cdot S_v \cdot S_h \quad (2-10)$$

$K$  er jordtrykksfaktoren gitt ved (2-1) og (2-2),  $\sigma_v$  er vertikalspenningen,  $S_v$  er vertikal senteravstand og  $S_h$  er horisontal senteravstand.

For hvert armeringslag kontrolleres følgende:

$$P_h \leq T_f \quad (2-11)$$

Tilgjengelig forankringslengde ( $L_{f_{max}} = L_r$ ):

$$L_{f_{max}} = L - 0.3 \cdot H \quad 0 < h < H/2 \quad (2-12)$$

$$L_{f_{max}} = L - 0.6(H-h) \quad H/2 < h < H \quad (2-13)$$

Her er  $L$  bredden på det armerte legemet.

## 2.5 ARMERINGENS STYRKE

Ved bruk av stål angir (1) pkt.16.7.2 følgende:

$$f_k = k \cdot f_y \quad (2-14)$$

Her regnes  $k = 0.8$  for stål.  $f_y$  er flytespenning

Armeringens styrke kan da anslås til:

$$T = f_k \cdot A_{netto} \cdot \frac{e_c}{e_o} \quad (2-16)$$

$$A_{netto} = (b-d) \cdot e_o \quad (2-17)$$

Her er  $b$  bredden av stål-bånd,  $d$  er diameter av hull for forankring,  $e_o$  er tykkelse av båndet og  $e_c$  er den antatt rustfrie tykkelse av båndet i konstruksjonens levetid.

## 3. "REINFORCED EARTH"

De metoder som er angitt til nå, gjelder generelt ved bruk av stålarmering. Den patenterte metoden "Reinforced Earth" skal nå betraktes. Teorien er hentet fra (3).

### 3.1 ARMERINGENS STYRKE

Ved utregning av armeringens styrke er det en rekke forhold som må betraktes. Av disse kan nevnes stål-kvalitet og overflatebehandling for å motvirke rustangrep. For "Reinforced Earth" patentet benytter man seg av to utførelser på båndene. Det brukes en tykkelse  $t = 5$  mm og bredder på h.h.v. 40 mm og 60 mm.

Det er angitt følgende strekkstyrke for båndene i (3):

$$T_{r1} = \frac{1}{\gamma_r} R \frac{e_c}{e_o} \quad (3-1)$$

$$T_{r2} = \frac{1}{0.75} \frac{1}{\gamma_r} R \frac{b'}{b} \frac{e_c}{e_o} \quad (3-2)$$

$$T_r = \min(T_{r1}, T_{r2}) \quad (\text{kN}) \quad (3-3)$$

Her er  $R$  strekkstyrke i kN for et bånd.  $R = \sigma \cdot A$ .  $\sigma$  er spenning og  $A$  er areal. Verdien for  $R$  er oppgitt for  $R$  i (3).  $e_o$  er tykkelse for båndet mens  $e_c$  er den tykkelsen som ikke blir angrepet av rust i løpet av konstruksjonens levetid.  $\gamma_r$  er sikkerhetsfaktoren.  $b$  er nominell bredde av båndet, mens  $b'$  er netto bredde d.v.s. nominell bredde minus diameter av hullet der båndet er festet til frontplaten.

Vi definerer følgende:

$$e_c = e_o - e_s \quad (3-4)$$

I tabell 3.1., fra (3), er størrelsen på  $e_s$  angitt.

Tabell 3.1. Angivelse av tykkelse,  $e_s$  (mm), som forventes å bli korrodert bort i løpet av konstruksjonens levetid. Verdien i tabellen settes inn i (3-4). Fra (3)

minimum life-service		5 years prov. struc- tures		30 years temp. struc- tures		70 years		100 years	
Clas- sification of structures	Nature of the rein- force- ment	permanent structures							
		A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ
outside water		0,5	0	1,5	0,5	3	1,0	4,0	1,5
soft water		0,5	0	2,0	1,0	4,0	1,5	5,0	2,0
maritime site		1	0	3,0		5,0		7,0	
site of special ag- gressivity		to be determined in each case by a specific study							

Legend :                    A : non alloyed steel without coating  
                                  AZ : galvanized steel

Note : Values can be interpolated linearly in the intervals :30 - 70 years and 70 - 100 years rounding to the tenth of the superior millimeter

Størrelsen på  $\gamma_r$  er angitt til 1.5 for vanlige konstruksjoner og til 1.65 for konstruksjoner med høy sikkerhet. I Norge benytter man en sikkerhetsfaktor for geotekstiler som er, se pkt.16.7.3 i (1):

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3} \quad (3-5)$$

Det kan diskuteres om  $\gamma_m$  i (3-5) kan settes lik den  $\gamma_r$  som er brukt i (3-1) og (3-2). Hvilke verdier faktorene  $\gamma_{m1}$ ,  $\gamma_{m2}$  og  $\gamma_{m3}$  skal ha, tas det ikke stilling til her.

Aksialkraftkapasiteten R er angitt i (3) til:

40 x 5 mm<sup>2</sup> bånd: R = 69.3 kN  
 60 x 5 mm<sup>2</sup> bånd: R = 105.3 kN

I pkt.16.7.2 i (1) foreslås  $k = 0.8$  på flytespenningen. Dette neglisjeres ved "Reinforced Earth" da verdien på R er angitt fra produsent.

### 3.2 VALG AV FYLLMASSE

Ved bruk av bånd som armering må man være nøye med valg av fyllmasse. Dette er særlig viktig ved stål-armering som kan svekkes betydelig under spesielle forhold. I Norge er kravet at friksjonsvinkelen  $\phi$  skal være større enn  $33^\circ$ . (Se pkt.16.8 i (1).) Fyllmassens pH skal være mellom 5 og 10. Det er videre angitt verdier for salt og sulfid innhold. For videre studie anbefales (3).

### 3.3 FRONTPANELETS UTFORMING

Ved bruk av "Reinforced Earth"-metoden er det brukt standard frontpanel elementer som vist i fig.3.1.

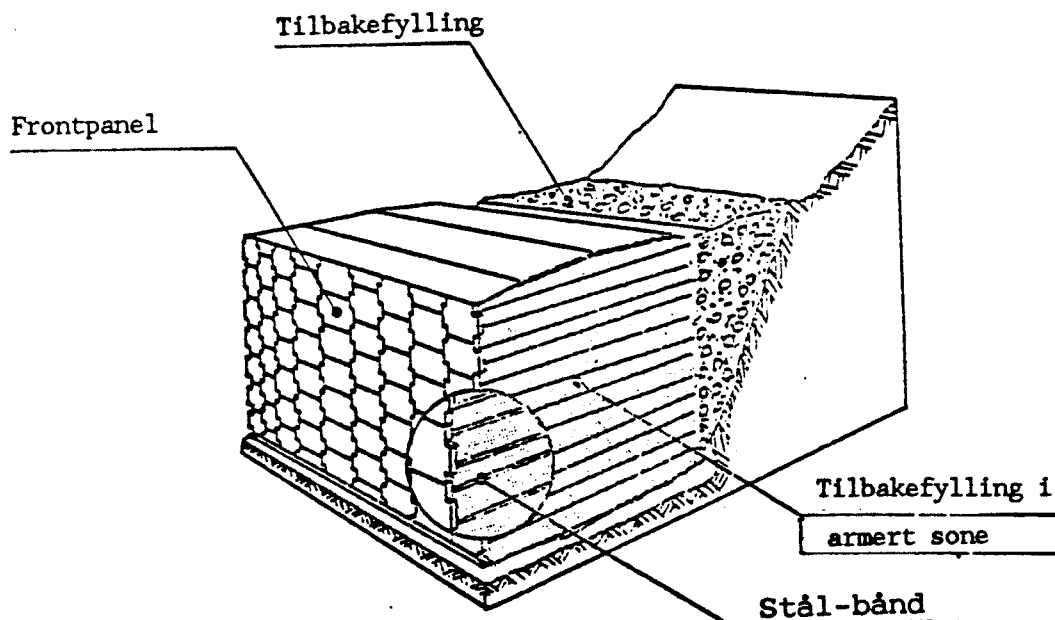


Fig.3.1 Frontpanel ved "Reinforced Earth"-metoden. (3)

Den vertikale avstanden mellom båndene er 0.75 m. Den midlere horisontale avstanden mellom hvert bånd er ved standard utførelse 0.75 m, men den kan varieres slik at horisontal lagstyrke kan økes etter behov.

#### 4. REGNEEKSEMPEL

Regneeksempelet i pkt 16.9 i (1) blir her gjennomregnet for å vise anbefalt fremgangsmåte ved dimensjonering stålarmering etter "Reinforced Earth"-metode.

For fullstendig beregning med geotekstiler vises det til (1). Det som gjelder generelt for geotekstiler og stålarmering er kopiert direkte fra (1) og vist på sidene 9 - 14. Fremgangsmåten blir lik helt til kontrollen av den indre stabiliteten skal utføres. Vi bruker da "Coherent Gravity"-metoden i stedet for "Tie Back Wedge"-metoden som er vist i pkt.16.9.5 i (1).

## 16.9 EKSEMPEL: DIMENSJONERING AV STØTTEKONSTRUKSJON

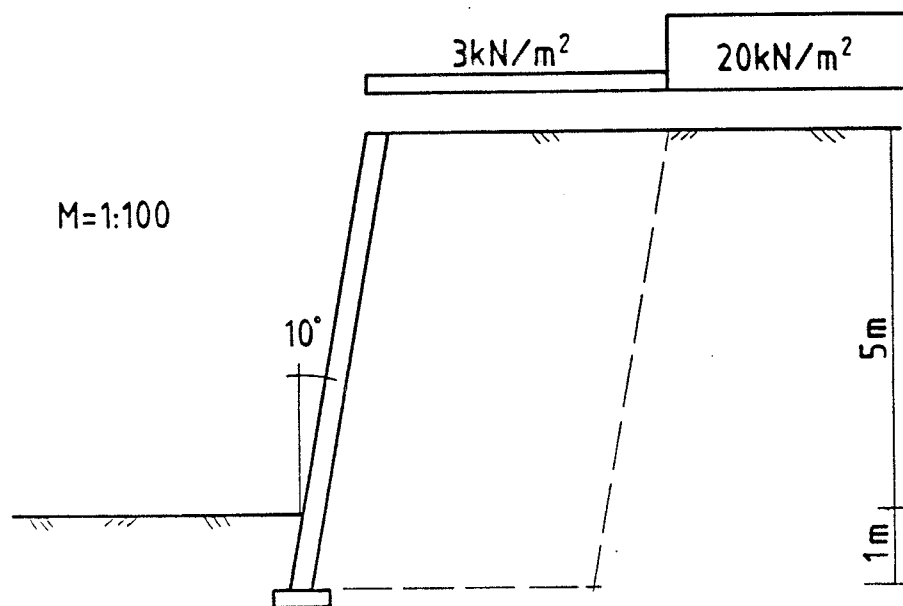


Fig. 16.46 STØTTEKONSTRUKSJON I ARMERT JORD

Det skal bygges en støttestruksjon i armert jord, vist på fig. 16.46. Armering med Tensar geonett, frontkledning av lett støttemurblokk. Oppfylling med velgradert grus. Grus også i fyllingen bak det armerte legemet. Materialet i grunnen er middels fast siltig leire.

### 16.9.1 Belastninger

Karakteristisk last:

Vekt av fyllmasser antas,  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$   
Frontkledningen medtas som fyllmasse (forenkling).

Nyttelast (trafikklast) på vegen i henhold til kap.9.3.2.

- Over et 6 m bredt felt:  $p = 20 \text{ kN/m}^2$ , plasseres på ugunstigste måte i tverrsnittet.
- Over det øvrige vegarealet:  $p = 3 \text{ kN/m}^2$

Horisontallast:

Medtar skjønnsmessig en horisontallast på  $5 \text{ kN/m}$ . Lasten dekker både sidekraft ved bremsing og påkjørselskraft mot rekkverk. (Det kan forutsettes at disse to ikke inntrer samtidig.)

Dimensjonerende last:

Konstruksjonen beregnes her bare for bruddgrensetilstand. Lastkoeffisienter i bruddgrensetilstand:



Vekt av jord:  $\gamma_f = 1,0$   
 Nyttelast:  $\gamma_f = 1,3$

Gir dimensjonerende last:

Vekt av jord:  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$   
 Nyttelast over 6 m bredde:  $q_1 = 1,3 \cdot 20 = 26 \text{ kN/m}^2$   
 Nyttelast forøvrig:  $q_2 = 1,3 \cdot 3 = 4 \text{ kN/m}^2$   
 Horisontallast:  $Q_h = 1,3 \cdot 5 = 7 \text{ kN/m}$

### 16.9.2 Materialstyrke

Karakteristisk materialstyrke - jordmaterialer:

Styrkeparametre for naturlig grunn er bestemt ved treks-forsøk.

$a = 5 \text{ kN/m}^2$   
 $\varphi = 35^\circ$  ( $\tan\varphi = 0,70$ )

Fyllingsmaterialene forutsettes å være velgradert grus eller bedre, lagvis komprimert. Erfaringsverdier (se kap.3, fig. 3.3).

$a = 0$   
 $\varphi = 38^\circ$  ( $\tan\varphi = 0,78$ )

Dimensjonerende materialstyrke - jordmaterialer:

Materialkoeffisient velges på grunnlag av "sikkerhetsprinsipper i geoteknikk", se pkt. 16.7.3.

skadekonsekvensklasse: alvorlig	] gir $\gamma_m = 1,4$
og	
bruddmekanisme: nøytral	

Gir dimensjonerende materialstyrke:

Naturlig grunn:

$a = 5 \text{ kN/m}^2$   
 $\tan\varphi = \frac{\tan\varphi}{\gamma_m} = \frac{0,70}{1,4} = 0,50$  ( $\rho = 27^\circ$ )

Fyllingsmaterialer:

$a = 0$   
 $\tan\varphi = \frac{\tan\varphi}{\gamma_m} = \frac{0,78}{1,4} = 0,56$  ( $\rho = 29^\circ$ )

Mobiliserbar materialstyrke - jordmaterialer:

Ved beregning av jordtrykk skal både dimensjonerende materialstyrke og mobiliserbar materialstyrke beregnes. Laveste verdier brukes.

For bestemmelse av mobiliseringsgrad, se kap.0, pkt. 0.3.6. Mobiliseringsgraden er den største verdien av  $f$  fra fig. 0.3 og fra formelen:

$$f = \frac{1}{2 - \frac{\tan\beta}{\tan\varphi_m}}$$

der:  $\beta$  = helning på bakenforliggende terreng

Fig 0.3 gir for

veggens fleksibilitet: normal	}	f = 0,7
og		
undergrunn: middels		

Formelen gir, for  $\beta = 0$ :  $f = 0,5$

f = 0,7 skal brukes

Her er  $f < 1/\gamma_m$  ( $0,7 < 1/1,4$ ), dvs. at mobiliserbar materialstyrke brukes i jordtrykksberegningen.

Mobiliserbar materialstyrke:

$$a = 0$$

$$\tan\varphi = f \cdot \tan\varphi = 0,7 \cdot 0,78 = 0,54 \quad (\rho = 28^\circ)$$

## 16.9.3 Beregning av jordtrykk

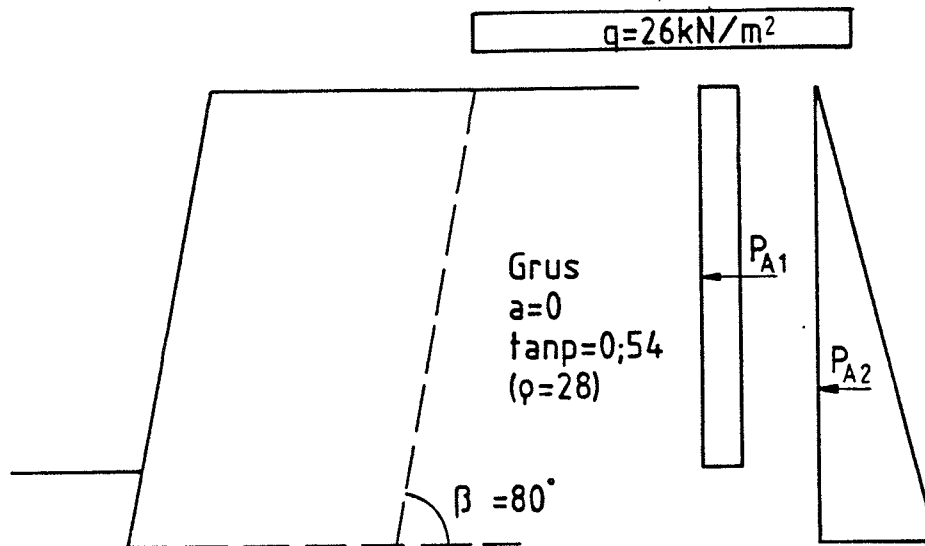


Fig. 16.47 JORDTRYKK

Antar: ruhet  $r = 0$  (litt forsiktig antagelse)

For  $\tan \phi = 0,54$  og  $r = 0$  finnes  $K_A$  (fig. 5.2)

$$K_A = 0,36$$

Korreksjonsfaktor for hellende vegg, se kap.5.3.3.

$$K_{\delta} = \left[ \frac{\sin(\beta_1 - \rho)}{\cos \rho} \right]^2 = \left[ \frac{\sin 52}{\cos 28} \right]^2 = 0,80$$

Korrigert jordtrykksfaktor:

$$K_{A, \text{korr.}} = K_{\delta} \cdot K_A = 0,80 \cdot 0,36 = 0,29$$

Jordtrykk fra nyttelast:

$$P_{A1} = K_{A, \text{korr.}} \cdot q \cdot H = 0,29 \cdot 26 \cdot 5 = 38 \text{ kN}$$

Jevnt fordelt over dybden begrenset til 5 m dybde.  
Angrepspunkt i 2,5 m dybde.

Jordtrykk fra tyngde av jord:

$$P_{A2} = K_{A, \text{korr.}} \cdot \gamma \cdot \frac{H^2}{2} = 0,29 \cdot 19 \cdot \frac{6^2}{2} = 99 \text{ kN}$$

Trekantfordelt med angrepspunkt i 4 m dybde.

### 16.9.4 Kontroll av ytre stabilitet

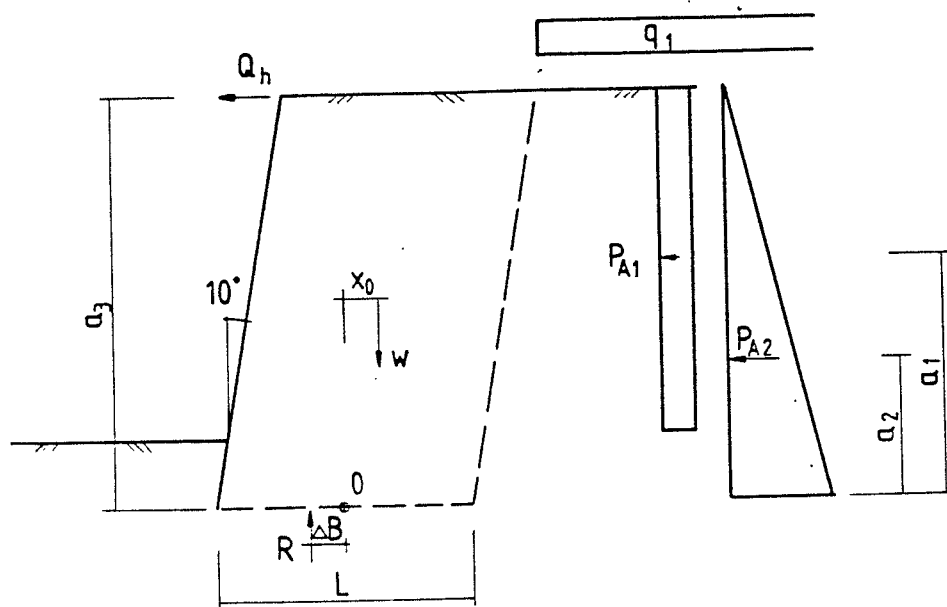


Fig. 16.48 YTRE STABILITET

Det regnes her med full nyttelast  $q_1 = 26 \text{ kN/m}^2$  på terrenget bak det armerte jordlegemet, ingen nyttelast på det armerte legemet. Horisontallasten medtas. Passivt jordtrykk på forsiden av konstruksjonen medtas ikke. Drenert til underkant av armert jordlegeme.

Overslag over nødvendig bredde av armert legeme:

Vinkelen  $\alpha$ , (se fig.16.15 og ligning 16-13 (for  $\beta=0$ )):  $\alpha = 1/2 (90 - \rho - \delta) = 1/2 (90 - 28 - 10) = 26^\circ$

Nødvendig bredde (NB! overslagsberegning):

$$L = H \cdot [\tan(\alpha + \delta) - \tan\delta] + 1,0 \\ = 6 \cdot [\tan(26 + 10) - \tan 10] + 1,0 = 4,3 \text{ m}$$

Prøver i første omgang med bredde  $L = 4 \text{ m}$

Kontroll mot glidning:

Midlere horisontallast (se fig.16.48):

$$\bar{t}_h = \frac{P_h}{L} = \frac{38 + 99 + 7}{4,0} = 36 \text{ kN/m}^2$$

Midlere vertikallast:

$$\bar{q}_v = \gamma \cdot H = 19 \cdot 6 = 114 \text{ kN/m}^2$$

Glidning mot naturlig grunn:

$$r_b = \frac{\bar{t}_h}{(\bar{q}_v + a) \tan \rho} \quad (\tan \rho \text{ for leire})$$

$$= \frac{36}{(114+5) \cdot 0,50} = 0,61 \quad \text{Krav: } r_b \leq 0,8 \text{ for leire}$$

Kontroll av grunnens bæreevne:

Vekt av jordlegemet:

$$W = \gamma \cdot H \cdot L = 19 \cdot 6 \cdot 4,0 = 456 \text{ kN}$$

Eksentrisiteten  $x_0$  (se fig.16.49):

$$x_0 = H/2 \cdot \tan \delta = 3 \cdot \tan 10 = 0,53 \text{ m}$$

Vertikal likevekt gir:

$$R = W = 456 \text{ kN}$$

Momentlikevekt om punkt 0 gir:

$$R \cdot \Delta B = P_{A1} \cdot a_1 + P_{A2} \cdot a_2 + q_3 \cdot a_3 - W \cdot x_0$$

$$456 \cdot \Delta B = 38 \cdot 3,5 + 99 \cdot 2,0 + 7 \cdot 6,0 - 456 \cdot 0,53 = 131 \text{ kNm}$$

$$\Delta B = 0,29 \text{ m}$$

Nyttig bredde:

$$B_0 = L - 2\Delta B = 4,0 - 2 \cdot 0,29 = 3,4 \text{ m}$$

Kontroll mot brudd i tåen:

$$\frac{B_0}{L} = \frac{3,4}{4,0} = 0,85 \quad \text{Krav: } \frac{B_0}{L} \geq 0,5$$

Midlere vertikalt grunntrykk over bredde  $B_0$ :

$$q_v = \frac{R}{B_0} = \frac{456}{3,4} = 134 \text{ kN/m}^2$$

Ruhetsforholdet bestemmes:

$$r_b = \frac{P_h}{(W + a \cdot B_0) \tan \rho} \quad a \text{ og } \tan \rho \text{ for leire}$$

$$= \frac{38+99+7}{(456+5 \cdot 3,4) \cdot 0,50} = 0,61$$

For  $r = 0,61$  og  $\tan \rho = 0,5$  bestemmes bæreevnefaktorene  $N_q$  og  $N_\gamma$ . (Kap.6, fig.6.3 og 6.4)

$$N_q = 6,2 \quad N_\gamma = 2,9$$

Jordas bæreevne bestemmes av:

$$\sigma_v + a = N_q (p' + a) + \frac{1}{2} N_\gamma \cdot \gamma' \cdot B_0$$

$$\sigma_v = 6,2 (19 \cdot 1 + 5) + \frac{1}{2} \cdot 2,9 \cdot 3,4 \cdot 5 = 188 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_v > q_v, \text{ dvs. tilstrekkelig bæreevne.}$$

## EKSEMPEL I PKT.16.9 I (1) MED STÅL-BÅND SOM ARMERING

Materialparametre og materialkoeffisienter for armering:

Faktor for friksjon  $f^*$  armering/jord:

Ru armering,  $f_0 = 1.2 + \log C_u$   
 Antar  $C_u = 10$ .  $f_0 = 1.2 + \log 10 = 2.2$

$$f^* = f_0 \left(1 - \frac{h}{6}\right) + \frac{h}{6} \cdot \tan \phi, \quad h \leq 6 \text{ m} \quad (2-4)$$

$$f^* = \tan \phi = 0.78, \quad h > 6 \text{ m} \quad (2-5)$$

Setter inn for  $f_0$  og  $\tan \phi$  i (2-4):

$$f^* = 2.2 - 0.237 \cdot h, \quad h \leq 6 \text{ m}$$

Materialkoeffisienter velges som for geotekstiler.  
 (Se kommentarer pkt.3.1.)

$$\gamma_{m1} = 1.4, \quad \gamma_{m2} = 1.1, \quad \gamma_{m3} = 1.3$$

$$\gamma_m = 1.4 \cdot 1.1 \cdot 1.3 = 2.0$$

## KONTROLL AV YTRE STABILITET:

Glidning ved nederste armeringslag:

Denne kontrollen er ikke nødvendig å utføre fordi bredden av stål-båndene utgjør en begrenset del av arealet.

## KONTROLL AV INDRE STABILITET:

Beregning av jordtrykk Coherent Gravity:

Hviletrykket  $K_0$ :

Antar ruhet  $r = 0$

Ved beregning av  $K_0$  antas  $f = 0.5$

$$\tan \rho = 0.5 \cdot \tan 38^\circ = 0.39$$

$$K_0 = 0.47 \text{ (fig.5.2 i (1), } r = 0 \text{ og } \tan \rho = 0.39)$$

Aktivt jordtrykk  $K_A$ :

Dette blir som i pkt.16.9 i (1)

$$\tan \rho = 0.7 \cdot \tan \phi = 0.54$$

$$K_A = 0.36 \text{ (fig.5.2 i (1), } r = 0 \text{ og } \tan \rho = 0.54)$$

Korreksjonsfaktor for hellende vegg:

Dette er uforandret fra (1).

$$K_\delta = \left[ \frac{\sin(\beta_1 - \rho)}{\cos \rho} \right]^2 = \left[ \frac{\sin 52}{\cos 28} \right]^2 = 0.80$$

Korrigerte jordtrykksfaktorer:

$$K_{A \text{ KORR}} = 0.80 \cdot 0.36 = 0.29$$

$$K_{O \text{ KORR}} = 0.80 \cdot 0.47 = 0.38$$

Fra pkt.2.2 får vi følgende fordeling for jordtrykket i dybden. Nyttelast antas å virke til 5 m dybde.

$$K = 0.38(1 - 0.167 \cdot h) + 0.29 \cdot 0.167 \cdot h$$

$$= 0.38 - 0.015 \cdot h \quad h \leq 6 \text{ m}$$

Jordtrykksfordelingen er vist i fig.4.1.

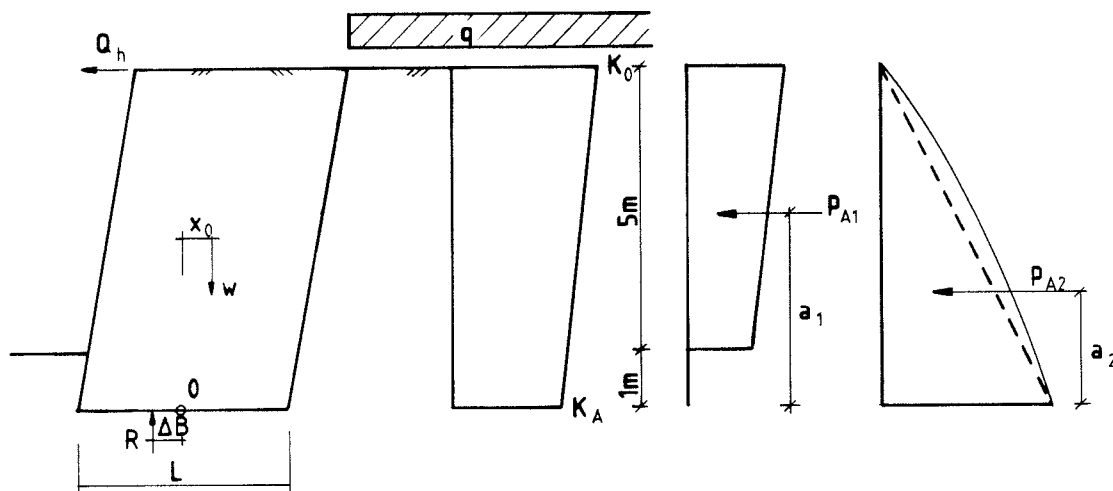


Fig.4.1 Jordtrykksfordeling ved "Coherent Gravity"-metoden

Jordtrykk fra nyttelast:

$$P_{A1} = \int_0^5 (0.38 - 0.015 \cdot h) \cdot q \, dh = 45 \text{ kN/m}$$

Jordtrykk fra tyngde av jord:

$$P_{A2} = \int_0^6 (0.38 - 0.015 \cdot h) \cdot \gamma \cdot h \, dh = 109 \text{ kN/m}$$

Samlet last på alle armeringslag:

$$P_h = P_{A1} + P_{A2} + Q_h = 45 + 109 + 7 = 161 \text{ kN/m}$$

Armeringens strekkstyrke er (antar  $\gamma_r = \gamma_m = 2.0$ ):

I tab.3.1. er korrodert tykkelse av stål-båndet angitt. Ved levetid 70 år og ikke utsatt for vann er  $e_s = 1.0\text{mm}$

$$e_c = e_o - e_s = 5 - 1 = 4 \text{ mm}$$

Stål-bånd 40 x 5 mm<sup>2</sup> :

$$R = 69.3 \text{ kN} \quad (\text{pkt.3.1})$$

$$T_{r1} = \frac{1}{\gamma_r} R \frac{e_c}{e_o} = \frac{1}{2.0} 69.3 \frac{4.0}{5.0} = 27.7 \text{ kN}$$

$$T_{r2} = \frac{1}{0.75} \frac{1}{\gamma_r} R \frac{b'}{b} \frac{e_c}{e_o} = \frac{1}{0.75} \cdot \frac{1}{2.0} 69.3 \frac{40-13}{40} \cdot \frac{4.0}{5.0}$$

$$= 24.9 \text{ kN}$$

$$T_r = \text{Min}(T_{r1}, T_{r2}) = 24.9 \text{ kN}$$

Stål-bånd 60 x 5 mm<sup>2</sup> :

$$R = 105.3 \text{ kN} \quad (\text{pkt.3.1})$$

$$T_{r1} = \frac{1}{2.0} 105.3 \frac{4.0}{5.0} = 42.1 \text{ kN}$$

$$T_{r2} = \frac{1}{0.75} \cdot \frac{1}{2.0} 105.3 \frac{60-13}{60} \cdot \frac{4.0}{5.0} = 44.0 \text{ kN}$$

$$T_r = \text{Min}(T_{r1}, T_{r2}) = 42.1 \text{ kN}$$

Midlere horisontalavstand  $S_h = 0.75$  m. Dimensjonerende armerings styrke for et horisontalt lag blir da:

$$40 \times 5 \text{ mm}^2 : \quad f_d = \frac{T_r}{S_h} = \frac{24.9}{0.75} = 33.2 \text{ kN/m}$$

$$60 \times 5 \text{ mm}^2 : \quad f_d = \frac{T_r}{S_h} = \frac{42.1}{0.75} = 56.1 \text{ kN/m}$$

Kontrollerer at  $P_h = K \cdot d_h \cdot (\gamma \cdot h_i + q) \leq f_d$ . Forslag til fordeling av armering er vist i fig.4.2.

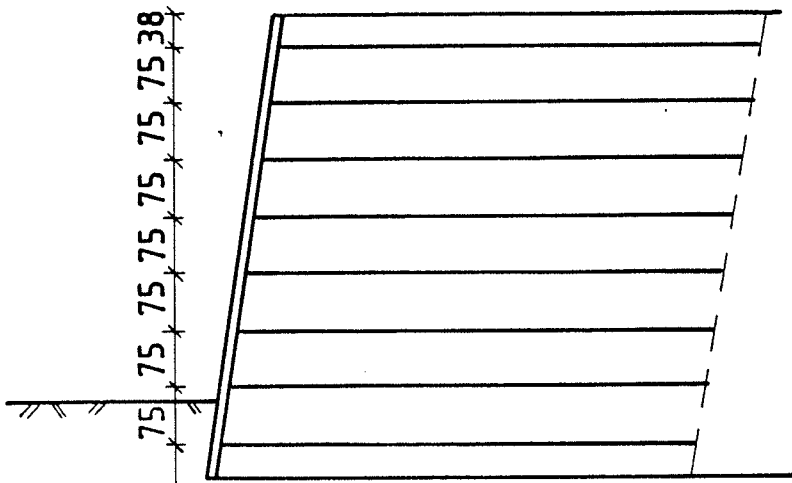


Fig.4.2 Fordeling av armering.



Tabell 4.1 Kontroll av armering

LAG	h	d <sub>h</sub>	(γh+q)	P <sub>h</sub> = K · d <sub>h</sub> (γh+q)	f <sub>d</sub>
1	0.38	0.76	33.2	16.3	33.2
2	1.13	0.75	47.5	12.8	33.2
3	1.88	0.75	61.7	16.2	33.2
4	2.63	0.75	76.0	19.4	33.2
5	3.38	0.75	90.2	22.3	33.2
6	4.13	0.75	104.5	25.1	33.2
7	4.88	0.75	118.7	27.6	33.2
8	5.63	0.75	107.0	24.1	33.2

Kapasiteten er tilfredsstillende for alle lag.

Kontroll av forankringslengde:

$$P_h \leq T_f \quad (2-11)$$

For hvert lag må  $\gamma_f \geq 1.35$ . I dette eksempelet kontrolleres lag 1 da dette regnes for å være ugunstig pga. horisontalkraften  $Q_h$ . Den aktive sonen vil avta fra  $0.3 \cdot H = 1.8$  m i 3 m dybde til 0 i 6 m dybde. Faktor for friksjon  $f^*$  avtar i dybden. Det utføres en kontroll for lag 5 for å vise fremgangsmåten. Den midlere horisontalavstanden mellom hvert stål-bånd  $S_h$  er 0.75m.

Lag 1:

Aktiv sone er  $L_o = 0.3 H = 1.8$  m  
 Horisontalkraften  $Q_h = 7$  kN/m medtas i lag 1  
 I (2-10) er  $K \cdot \sigma_v \cdot S_v = P_h$  i tab.4.1.

$$\begin{aligned} T_f &= 2 \cdot \frac{1}{\gamma_f} \cdot b \cdot f^* \cdot L_r \cdot \sigma_v \\ &= \frac{2 \cdot 0.04 \cdot (2.2 - 0.237 \cdot 0.38) \cdot (4.0 - 1.8) \cdot 33.2}{1.35} = 9.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_h = K \cdot \sigma_v \cdot S_v \cdot S_h = 16.3 \cdot 0.75 = 12.2 \text{ kN}$$

$$P_h = 12.2 \text{ kN} > T_f = 9.1 \text{ kN}$$

Forankringen holder ikke. Prøver da å bruke 60 x 5 mm<sup>2</sup> bånd.

$$T_f = 9.1 \cdot \frac{0.06}{0.04} = 13.7 \text{ kN}$$

$$P_h = 12.2 \text{ kN} < T_f = 13.7 \text{ kN} \quad \text{Dvs. OK!}$$

Lag 5:

$$\text{Aktiv sone } L_o = (6 - 3.38) \cdot \tan(45^\circ - 28^\circ/2) = 1.57 \text{ m}$$

$$T_f = \frac{2 \cdot 0.06 \cdot (2.2 - 0.237 \cdot 3.38) \cdot (4.0 - 1.57) \cdot 90.2}{1.35} = 27.3 \text{ kN}$$

$$P_h = 22.3 \cdot 0.75 = 16.7 \text{ kN}$$

$$P_h = 16.7 \text{ kN} < T_f = 27.3 \text{ kN} \quad \text{Dvs. OK!}$$

Velger derfor 60 x 5 mm<sup>2</sup> stål-bånd og lengde på armert legeme lik 4 m. Fordeling er vist i fig.4.2.

## 5. DISKUSJON

Ved å sammenligne eksempelet i pkt.16.9 i Håndbok-016 med regneeksempelet i denne rapporten ser man at det er forskjell mellom "Tie Back Wedge" og "Coherent Gravity"-metodene ved beregning av indre stabilitet. Arbeidsmengden er størst med "Coherent Gravity"-metoden.

Det er flere usikkerhetsmomenter ved beregningene i pkt.4. Dette gjelder spesielt bruken av materialfaktorer og sikkerhetskoeffisienter i noen av de formlene som er hentet fra "Reinforced Earth".

## 6. REFERANSER

1. Veglaboratoriet                      Håndbok-016  
Geoteknikk i vegbygging  
1990
2. Utvalg for armert jord                Rapport nr.5  
Veglaboratoriet                      Seminar om armert jord  
Narvik 6.september 1988  
November 1988
3. Reinforced earth                      Reinforced earth structures  
company                              Recommendations and rules  
of the art.  
Issued by the french ministry  
of transport-English  
translation  
LCPC 1979
4. Jones, C.J.F.P.                      Earth Reinforcement and  
Soil Structures  
Butterworths Advanced Series  
in Geotechnical Engineering  
Revised Reprint 1988
5. Schweizerischer                      Das Geotextil-Handbuch  
Verband der                            2. opplag  
Geotextilfachleute                    September 1988  
(SVG)