

**Intern rapport  
nr. 1485**

**ARMOD - Program for beregning av  
armert jord.  
Støttekonstruksjoner**

**Januar 1991**

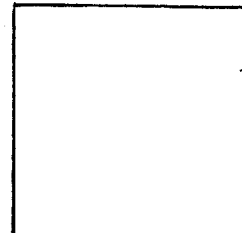
**Veglaboratoriet**

Intern rapport

nr. 1485

Gruppe: B

ARMOD  
PROGRAM FOR BEREGNING AV ARMERT JORD  
STØTTEKONSTRUKSJONER



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:

seksjon: 47 - Geoteknisk

saksbehandler: H. Bruun, J. Vaslestad / BN

dato: Januar 1991

---





VEGLABORATORIET

## rapportsammendrag

X	Intern rapport
	Laboratorierapport
	Oppdragsrapport

111	A	Rapportstatus*) N	Seksjon/fylke 47-Geotek.	Prosjekt	Gruppe: B	nr. 1485
-----	---	----------------------	-----------------------------	----------	--------------	----------

1	2	3	4	5	21	31	41	51	61	71
---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

\*) N = ny  
O = oppdatert

TITTEL	212	A	ARMOD - Program for beregning av armert jord støttestruksjoner			
--------	-----	---	--	--	--	--

\*) N = ny  
O = oppdatert  
K = konferansebidrag  
A = artikkel

SAKS- BEHANDLER	A	Navn Hermann Bruun	Institusjon Veglaboratoriet
	B	Jan Vaslestad	"
	C		

\*\*) FoU = forskning og utvikling  
F = forskrifter/normaler

RAPPORT DATA	A	Rapporttype**) FoU	Dato Jan. 1991	Erstatter rapport nr:		
	B	Totalt sidetall 40	Språk Norsk			
	C	Antall fotos	Ant. figurer 5	Ant. tabeller 1	Ant. litt.henv. 10	
	D	Sammendrag i andre språk			UTM ref.	

SAMMENDRAG	511	A	<p>Denne rapporten er en bruksveiledning for regneark-programmet ARMOD (ARmert jord MODellering).</p> <p>Ved hjelp av programmet kan man kontrollere ytre og indre stabilitet for en støttestruksjon i armert jord. Alle nødvendige jordtrykkskoeffisienter og bæreevnemotorer blir beregnet av programmet. Beregningsgangen i programmet følger pkt.16.9 i Håndbok-016 GEOTEKNIKK I VEGBYGGING.</p> <p>Programmet er utviklet ved Veglaboratoriet og er basert på bruk av Notis-Calc versjon E når det gjelder beregningene og Notis-Wp versjon N når det gjelder utskrift. For å kunne utføre beregningene må man ha tilgang til ARMOD:CLCB og REGNEARK:BDT (ved Veglaboratoriet på bruksområde 47-GEOTEKNIKK).</p> <p>Inngangsparametrene er forklart og teorigrunnet for programmet blir gjennomgått.</p> <p>Ved beregningene kan man velge mellom geosynteter (geotekstiler, geonett) eller stålarmring.</p> <p>Utskrifter fra programmet og håndregnete eksempler er vedlagt.</p>			
------------	-----	---	---	--	--	--

FAG- OMR.	611	A	Bæreevne og jordtrykk	IRRD kode 42.1
		B		
		C		
NØKKELOD	621	A	Geoteknikk	5755
		B	Armering	3741
		C	Støttemur	3359
		D	Landkar	3424
		E	Program (EDB)	8646
		F		
		G		
		H		



## INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1. INNLEDNING.....	1
2. BRUK AV NOTIS-CALC OG NOTIS-WP.....	2
2.1. Bruk av ARMOD.....	2
3. PROGRAMOPPBYGGING.....	4
3.1. Inngangsparametrene.....	4
3.2. Mobiliseringsgrad og material- koeffisienter.....	5
3.2.1. Jord.....	5
3.2.2. Armering.....	5
3.3. Geosynteter eller stålarmering.....	6
3.4. Langtidsstyrke stålarmering.....	6
3.5. Forankringslengde stålarmering.....	7
4. KJØRING AV PROGRAMMET.....	8
4.1. Forberedelser.....	8
4.2. Utførelse av programmet.....	8
4.3. Eventuelle feilkilder.....	10
5. DOKUMENTASJON AV PROGRAMMET.....	11
5.1. Diskusjon.....	11
5.2. Eksempel armert jord støttemur, geotek..	12
5.3. Eksempel armert jord støttemur, stålbånd	22
LITTERATURLISTE.....	29
VEDLEGG A Nullstilt arbeidsark for ARMOD.	
VEDLEGG B Jordtrykkskoeffisienten $K_A$ .	
VEDLEGG C Korreksjonsfaktoren $K_\delta$ .	
VEDLEGG D Bæreevnefaktoren $N_q$ .	
VEDLEGG E Bæreevnefaktoren $N_\gamma$ .	
VEDLEGG F Reduksjonsfaktorer ved bæreevne.	



## 1. INNLEDNING

Denne rapporten er en bruksveiledning for regnearkprogrammet ARMOD. Teorien bak programmet er hentet fra Håndbok-016 GEOTEKNIKK I VEGBYGGING kap.16 og Intern rapport nr.1475, Indre stabilitet i støttekonstruksjoner av armert jord. Når man har lært seg å bruke programmet, vil man kunne spare tid samtidig som resultatet kommer fram oversiktlig på en standard utskrift.

Programmet gjør bruk av regnearkprogrammet NOTIS-CALC versjon E ved beregningene. Regnearkets store fordel er at man ved hjelp av PIL-tastene lett kan skrive inn inngangsparametrene eller betrakte resultatet av endringer.

I bruksveiledningen er det relativt nøye forklart hvordan man bruker NOTIS-CALC generelt.

Programmet beregner jordtrykkskoeffisienter, korreksjonsfaktorer, bæreevnefaktorer o.s.v.. Dette fører til at man hurtig kan gjennomføre et parameterstudie av et profil.

Beregningsgangen i programmet er som for eksempelet i pkt.16.9 i Håndbok-016.

Programmet bygger på bestemte forutsetninger, kfr. bl.a. pkt.3 og vedlegg B - F. Det bør derfor alltid kontrolleres at resultatene er tilfredstillende ved hjelp av håndregning med enkle overslagsmetoder.



## 2. BRUK AV NOTIS-CALC OG NOTIS-WP

Bruken av NOTIS-CALC er forklart i Intern rapport nr. 1447 se (3) og i brukerhåndbok (4).  
Bruk av NOTIS-WP er forklart i brukerhåndbok (5).

### 2.1. BRUK AV ARMOD

Når man har logget seg inn på bruksområde, vil man enten komme direkte til SINTRAN, eller man vil få fram en Brukermiljø-meny. Det er kun vist SINTRAN kommandoer her ved overgang til NOTIS-CALC eller NOTIS-WP, men man kan selvfølgelig bruke Brukermiljø. Det forutsettes at NOTIS-DS ikke er standard for bruksområde i bruk. (Eksemplene på filnavn og skriver er det som gjelder for Veglaboratoriet.)

Logg inn på vanlig måte.

@N-C↓

Skriv T C

På spørsmål om bruk av NOTIS-DS: N

↖

Skriv A H for henting av arbeidsark

Skriv (47)ARMOD (eller legg det inn på PUSH-Key).

↓

↓

Utfylling av skjema:

Hopp til arbeidsarket. ↖  
Bruk piltastene for å komme til ønsket rute.  
Trykk ↓ etter hver inputverdi.  
Dersom du fyller ut et nytt skjema trykk CTRL R (hold CTRL inne mens du trykker R). Nå utfører ikke programmet beregninger for hver inntastet verdi. For tekstutfylling trykk apostrof (') eller anførselstegn (").

Trykk UTFØR-tasten (☐) for beregninger til slutt. Når du er ferdig, hopp til kommandomenyen. ↖ Skriv A L for lagring av det nye regnearket.

Du får da ut: (47)ARMOD

Trykk F1

Skriv ditt nye filnavn på arbeidsarket med anførselstegn " (hvis du ikke lagrer over et allerede eksisterende). F.eks. "ARMERT-RAA-01"

Svar J på spørsmål om oppdatering av standard-lagringsdokument.

HVIS DU ØNSKER EN UTSKRIFT AV PROGRAMMET

Vil du ha en utskrift som vist i vedlegg A trykk på SKRIV-tasten og svar på de etterfølgende spørsmål. Filen blir da ikke redigert og du vil få en utskrift uten indekser, potenser og greske tegn.

Filen blir redigert og du vil få en utskrift som vist i pkt. 5.2 - 5.3 ved å overføre filen til NOTIS-WP:

Skriv E S

Skriv filnavn etter tidligere gitte regler for filer og filoprettelse.

Dokumentnavn: "ARMERT-RAA-01" ↓  
 Område: A1:I110 ↓  
 Formler (J/N)? N ↓

Trykk SLUTT-tasten.

Hent tekstdokument fra NOTIS-WP f.eks.

@NOTIS-WP SINTRAN,,ARMERT-RAA-01 ↓

Skriv B H	} Kan forhånds- programmeres på en PUSH-Key.
Skriv ARMOD ↓	
Skriv (47)REGNEARK ↓	
Trykk ENTER	

Vent i ca.40 sek. på den redigerte teksten som da er klar til utskrift.

Trykk SKRIV-tasten

Skriver:CANON-FELLES↓ (Gjelder Veglaboratoriet)

Utskriften kan nå hentes hos CANON-FELLES.

For å forenkle kjøringen enda mer forutsettes at hver enkelt (evt. med hjelp av systemansvarlig) gjør følgende første gang programmet tas i bruk.

1. Forhåndsprogrammering av PUSH-Key for oppkall av redigeringsprogram og evt. ARMOD filen.
2. Init fil for N-CALC.

NB! Redigeringsprogrammet (BDT-sett ARMOD) er skrevet i Notis-WP versjon N. Ved bruk av eldre versjoner vil det oppstå feil, og sannsynligvis også ved nyere versjoner.

### 3. PROGRAMOPPBYGGING

#### 3.1. INNGANGSPARAMETRENE

NOTIS-CALC har ikke greske tegn eller indekser. NOTIS-CALC betegnelse er derfor ført opp i parentes ved siden av den betegnelse som er brukt i NOTIS-WP.

$\gamma$ (Tyngdetetth)	:	Tyngdetetthet regnes konst. innen områdene fyllmasse, bakfyllmasse og undergrunn
a (attraksjon)	:	Attraksjon i kPa
$\phi$ (friksj.vink)	:	Jordas friksjonsvinkel i grader
$f_k$ (fk)	:	Armeringens langtidsstyrke i kN/m. For Geotekstiler oppgis $f_k$ fra leverandør. For stål se pkt.3.4.
$\alpha$ (alfa)	:	Reduksjonsfaktor for friksjon mellom armering og jord Se pkt.16.7.5 i (1) for geotekstiler. Settes lik 1.0 for stål, se pkt.3.4.
$Q_h$ (Qh)	:	Horisontallast (linjelast) i kN/m, kombineres med lastkoeff. $\gamma_f$ for nyttelast.
$P_{v\text{ind}}$ (Pvind)	:	Vindlast (linjelast) i kN/m, kombineres med $\gamma_f$ for vind.
q	:	Vertikal nyttelast q i kPa uten lastkoeff.
Lastkoeffisienter:	:	Vekt av jord, $\gamma_f$ ofte 1.0 Nyttelast, $\gamma_f$ som regel 1.3 Vind, $\gamma_f$ som regel 1.6 se pkt.0.3.4 i (1)
$C_u$ (Cu)	:	Korngraderingstallet $C_u = d_{60}/d_{10}$
$S_h$ (Sh)	:	Midlere horisontalavstand i m, gjelder for stål-armering.
Bredde stålbånd	:	Bredde på stålbånd i m.

Følgende parametre som er omtalt i vedlegg B - F regnes ut av programmet:

$K_A$ (Ka)	:	Jordtrykkskoeffisient (se vedlegg B)
$K_\delta$ (Kd)	:	Korreksjonsfaktor (se vedlegg C)
$N_q$ (Nq)	:	Bæreevnemfaktor (se vedlegg D)
$N_\gamma$ (Ng)	:	Bæreevnemfaktor (se vedlegg E)
$f_{s\ a}$ (fsa)	:	Reduksjonsfaktor ved bæreevne skrått terreng foran fot (se vedlegg F)
$f_{s\ q}$ (fsq)	:	Reduksjonsfaktor ved bæreevne skrått terreng foran fot (se vedlegg F)

Inngangsparametre for geometrien er vist i fig.3.1. Programmet regner bakkantarmering parallell med frontveggen. D.v.s.  $\beta_1$  på fig.3.1. vil automatisk bli beregnet:

$$\beta_1 = 90^\circ - \delta.$$

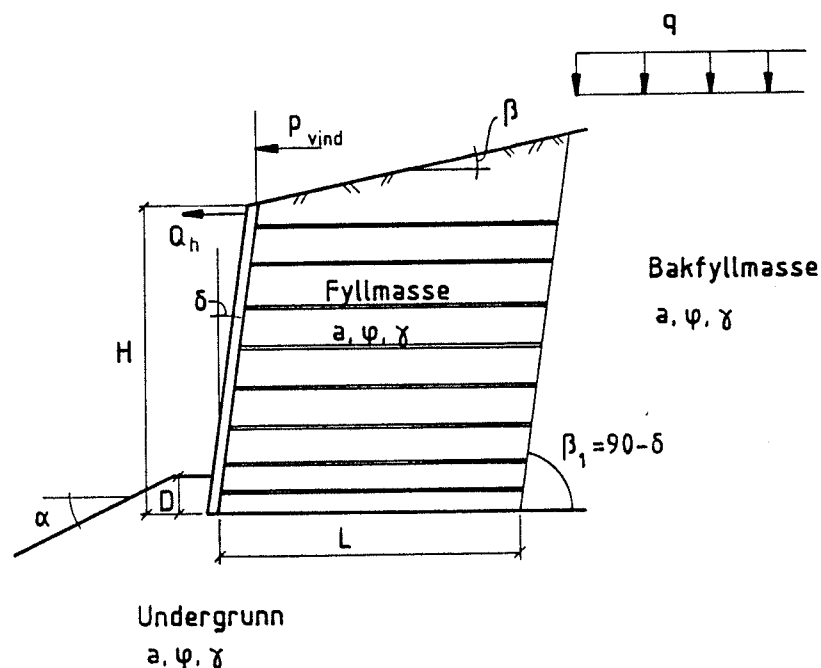


Fig.3.1 Definisjon av inngangsparametere

### 3.2. MOBILISERINGSGRAD OG MATERIALKOEFFISIENTER

#### 3.2.1. Jord

Programmet vil selv velge ut mobiliseringsgrad etter pkt.0.3.6 i (1) for jordtrykket.

$$f = \frac{1}{2 - \frac{\tan \beta}{\tan \phi_m}} \quad (3-1)$$

Her vil  $f$  fra (3-1) bli sammenlignet med  $f$  fra fig.0.3 i (1). Den største  $f$  av disse to sammenlignes så med  $\gamma_m$  fra fig. 16.38 i (1).

#### 3.2.2. Armering

Programmet finner samlet materialfaktor  $\gamma_m$  for armeringen etter pkt.16.7.4 i (1).

Brukeren angir  $\gamma_{m1}$ ,  $\gamma_{m2}$  og  $\gamma_{m3}$  fra pkt.16.7.3 og programmet regner ut  $\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3}$

### 3.3. GEOSYNTETER ELLER STÅLARMERING

Med geosynteter menes geotekstiler, geonett og geomembraner.

Det er lagt inn mulighet for å beregne nødvendig stål-bånd armering i armert jord konstruksjoner. Dette gjelder i første rekke Henri Vidal's patenterte metode som er kjent under navnet "Reinforced Earth". Det benyttes da en metode kalt "Coherent Gravity"-metoden ved beregning av indre stabilitet. Ved bruk av geosynteter brukes en metode kalt "Tie Back Wedge" (klassisk jordtrykk). Dette er vist i fig.16.12 og fig.16.13 i (1). Kontroll av indre stabilitet ved bruk av "Coherent Gravity"-metoden er vist i (8).

Ved bruk av geosynteter går man inn i en produktoversikt, f.eks (7) eller brosjyrer som er utgitt av leverandør for å finne langtidsstyrken til armeringen. Ved bruk av "Reinforced Earth"-metode, se pkt.3.4.

### 3.4. LANGTIDSSTYRKE STÅLARMERING

Teori hentet fra (8).

Den patenterte metoden "Reinforced Earth" benytter to utførelser på stål-bånd:

40x5 mm<sup>2</sup> :

Båndbredde  $b = 40$  mm, båndtykkelse  $e_o = 5$  mm  
Strekkapasitet  $R = 69.3$  kN

60x5 mm<sup>2</sup> :

Båndbredde  $b = 60$  mm, båndtykkelse  $e_o = 5$  mm  
Strekkapasitet  $R = 105.3$  kN

Langtidsstyrke for armeringen:

$$T_{r1} = R \frac{e_c}{e_o} \quad (3-2)$$

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

$$T_r = \min(T_{r1}, T_{r2}) \quad (3-4)$$

$$b' = b - 13 \text{ mm} \quad (3-5)$$

13 mm er diameter på hullet i båndet ved forankring til front,  $e_c$  er den tykkelse på båndet som ikke blir angrepet av rust i konstruksjonens levetid. Verdier for  $e_c$  finnes i pkt.3.1. i (8).

$T_r$  settes inn i rute I26. Programmet beregner

$\gamma_m$ . Midlere horisontalavstand mellom stålbåndene angis i rute I29. Dimensjonerende materialstyrke  $f_d$  angis da i tabellen som:

$$f_d = \frac{T_r}{\gamma_m \cdot S_h} \quad (3-6)$$

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3} \quad (3-7)$$

For  $\gamma_{m1}$ ,  $\gamma_{m2}$  og  $\gamma_{m3}$  se pkt.3.2.2.

$S_h$  er midlere horisontalavstand mellom stålbånd.

Reduksjonsfaktor  $\alpha$  armering/jord i rute G27 brukes ikke ved beregning av stålarmering. Det anbefales derfor å sette  $\alpha = 1.0$  ved bruk av stålarmering.

### 3.5. FORANKRINGSLENGDE STÅLARMERING

Teori hentet fra (8).

Faktor for friksjon  $f^*$  blir regnet ut av programmet:

$$f^* = f_o + \log C_u \quad (3-8)$$

$f_o = 1.2$  i programmet.  
Korngraderingstallet  $C_u$  angis i rute G28.

Ved kontroll av forankringslengde benyttes følgende:

Friksjonskraft  $T_f$ :

$$T_f = 2 \cdot \frac{1}{\gamma_f} \cdot b \cdot L_r \cdot f^* \cdot \sigma_v \quad (3-9)$$

Her er  $\gamma_f$  sikkerhetsfaktor,  $b$  er bredde på stålbånd,  $L_r$  er forankringssonen,  $f^*$  er faktor for friksjon,  $\sigma_v$  er den vertikale spenningen.

Jordtrykk  $P_h$ :

$$P_h = \sigma_h \cdot S_v \cdot S_h = K \cdot \sigma_v \cdot S_v \cdot S_h \quad (3-10)$$

$K$  er jordtrykksfaktoren,  $\sigma_h$  er horisontal spenningen,  $\sigma_v$  er vertikalspenningen,  $S_v$  er vertikal senteravstand og  $S_h$  er horisontal senteravstand.

I programmet er  $\gamma_f$  i (3-9) satt lik 1.35.

Krav ved kontroll av forankringslengde:

$$P_h \leq T_f \quad (3-11)$$

## 4. KJØRING AV PROGRAMMET

### 4.1. FORBEREDELSE

Tegn en god figur.

Bestem jordartsparametre (evt. variasjonsområde) på forhånd.

Følgende bør være tilgjengelig når programmet startes opp:

Håndbok-016, produktoversikt for armeringen og aktuelle norske standarder.

### 4.2. UTFØRELSE AV PROGRAMMET

Forutsetter at du er i NOTIS-CALC og har hentet en fil f.eks (47)ARMOD (gjelder Veg-laboratoriet).

Ved bruk av programmet skal du hele tiden holde deg i kolonne A til I.

Start med CTRL + R for å slå av automatisk kalkulasjon.

I linje 26 må du angi en verdi for armeringens karakteristiske langtidsstyrke  $f_k$ . Hvis det brukes geosynteter benyttes rute G26. Ved bruk av stål-bånd benyttes rute I26. Ved bruk av geosynteter må det stå 0.00 (eller neg. tall) i rute I26 for at programmet skal benytte riktig regnemodell ved kontroll av indre stabilitet.

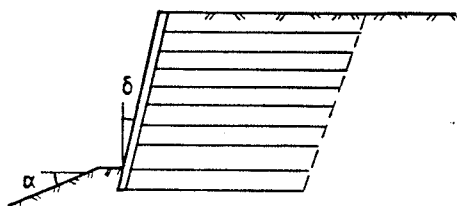
Reduksjonsfaktor  $\alpha$  armering/jord i rute G27 benyttes ved geosynteter. Ved stålarmoring neglisjerer programmet verdien i rute G27 og man kan f.eks. sette  $\alpha = 1.0$  se pkt.3.4.

Helning bak topp velges i rute E43. Her kan du velge mellom følgende alternativer som er angitt nedenfor og i fig.4.1. Ved skrått terreng over det armerte legemet må dette tilpasses alternativ 1, 2 eller 3 nedenfor.

1. Terreng over og bak det armerte legemet er horisontalt. Dvs. helningen  $\beta = 0$  og avstanden = 0.
2. Terreng er horisontalt over det armerte legemet og skrått der det armerte legemet slutter. Helningen  $\beta > 0$  og avstand  $> 0$ . Avstand angis med et vilkårlig tall større enn 0. Programmet vil da automatisk sette verdien til avstand lik tallet i rute E70

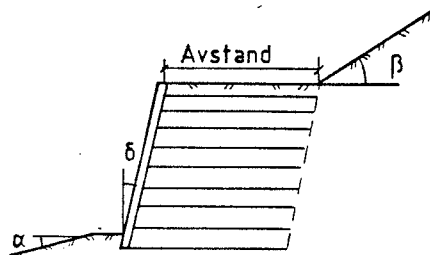
evnt. rute H70. Se forklaring nedenfor.

3. Terrenget er skrått over og bak det armerte legemet. Helning  $\beta > 0$  og avstand = 0.



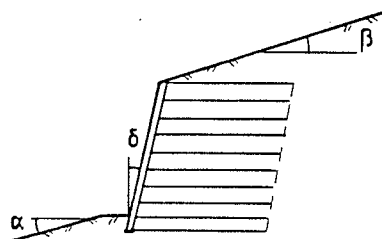
$$\beta = 0$$

$$\text{Avstand} = 0$$



$$\beta > 0$$

$$\text{Avstand} > 0$$



$$\beta > 0$$

$$\text{Avstand} = 0$$

Fig.4.1. Profilene som blir brukt i programmet.

I linje 48 står det Beregnede data. Når alle inputverdiene i området over linje 48 er tastet inn trykker du UTFØR-tasten. ( )

Gå ned til linje 70. Utfor rute E70 står det et tall i ruten H70. Hvis du vil at programmet skal regne videre med tallet i ruten E70 skal det stå 0.00 i rute H70. Hvis du vil at programmet skal regne videre med et annet tall angir du dette i rute H70.

Trykk UTFØR-tasten hvis du satte inn et tall i rute H70.

Du kan nå sammenligne bæreevnen  $\sigma_v$  mot grunntrykket  $q_v$ .

Hvis resultatene er tilfredsstillende kan du nå gå til indre stabilitet i området A85 til I109.

Her vil du få et forslag til antall armeringslag med den forutsetning at alle armeringslag er av samme utførelse.



I tabellen i området A93:G102 skal du kun fylle ut kolonne B som angir  $h$  som er avstand fra topp til armeringslaget. Trykk deretter UTFØR-tasten for å få beregnet verdiene i tabellen. Denne tabellen tilsvarer den som er vist i pkt.16.9.5 i (1), men kolonnen lengst til høyre regner ut differensen mellom  $f_d$  og  $P_h$ .

I situasjoner der man bruker nett med ulik styrke i de forskjellige lag, kan man neglisjere de to kolonnene lengst til høyre.

Under tabellen i området A105:I108 er nødvendig armeringslengde kontrollert.

Den nødvendige bredden i rute E109 må du sammenligne med den verdien programmet regnet med fra E70 (eller fra H70 hvis du anga din egen verdi).

Ved kontroll av forankringslengde er det i programmet benyttet en  $\gamma_f = 1.35$ , se pkt.2.4 i (8) ved kontrollen:

$$P_h \leq T_f$$

#### 4.3. EVENTUELLE FEILKILDER

Vær oppmerksom på enhetene i programmet!

Enkelte parametre brukes kun ved beregning av geosynteter, mens andre parametre brukes kun ved stålarmering. Det er derfor meget viktig at man angir karakteristisk langtidsstyrke for armeringen i riktig rute.

Ved angivelse av høyde for lastene  $Q_h$  og  $P_{vind}$  er høyden alltid fra angrepspunktet og til u.k. fot.

Det er en forutsetning i programmet at alle angitte helninger er konstante. Uregelmessigheter i terrenget må derfor bli forsøkt tilpasset med et tilnærmet profil, se fig.4.1.

## 5. DOKUMENTASJON AV PROGRAMMET

Program ARMOD er sammenlignet med håndregnede beregninger i pkt.5.2 - 5.3. Eksemplene skal vise hvordan inngangsparametrene skal legges inn.

### 5.1. DISKUSJON

Etter at programmet er sammenlignet med håndregnede eksempler synes følgende å være "dokumentert":

Programmet regner med god nøyaktighet. Det vil alltid være en forskjell mellom program ARMOD og de håndregnede eksemplene. Dette gjelder spesielt avlesningene av verdiene for  $K_A$ ,  $K_o$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ ,  $f_{s,q}$  og  $f_{s,a}$  i figurer der et lite avvik i  $r$  og  $\tan \rho$  vil gi betydelige forskjeller for de avleste verdiene sammenlignet med utregnete formler i programmet.

Etter å ha regnet gjennom en del eksempler med programmet synes det som om programmets utregning av  $N_q$  er 5 - 10 % høyere enn manuelt avleste verdier i fig.6.3 i (1).

Diagrammet i fig.6.3 i (1) er sammenlignet med de som er angitt i forelesningsnotatene i fagene Geoteknikk 2, se (9), og Teoretisk Geoteknikk, se (10). Det ble her påvist en forskjell på  $\pm 5$  %.

Det er dessuten vanskelig å avlese riktig fra logaritmiske skalaer.

Utregningen av  $N_\gamma$  vil også avvike fra avleste verdier i figurer. Dette er kommentert i vedlegg E.

## 5.2. EKSEMPEL ARMERT JORD STØTTEMUR, GEOTEKSTILER

Kopierte fra (1).

## 16.9 EKSEMPEL: DIMENSJONERING AV STØTTEKONSTRUKSJON

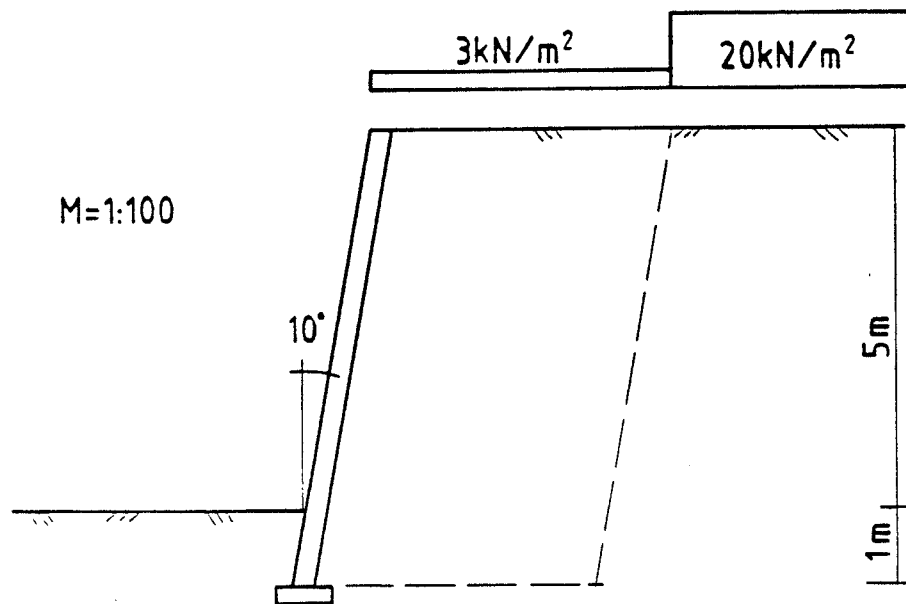


Fig. 16.46 STØTTEKONSTRUKSJON I ARMERT JORD

Det skal bygges en støttemur 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 inntre 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:

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

der:  $\beta$  = helning på bakenforliggende terreng

Fig 0.3 gir for

$$\left. \begin{array}{l} \text{veggen fleksibilitet: normal} \\ \text{og} \\ \text{undergrunn: middels} \end{array} \right\} f = 0,7$$

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:

$$a = 0$$

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

Karakteristisk materialstyrke - armering:

I eksempelet velges geonett Tensar SR 110. Vi aksepterer leverandørens dokumentasjon av langtids krypforsøk som gir karakteristisk langtidsstyrke:

$$f_k = 41,5 \text{ kN/m}$$

Dimensjonerende materialstyrke - armering:

Materialkoeffisienter ifølge avsnitt 16.7:

Skadekonsekvensklasse alvorlig og

bruddmekanisme nøytral:

$$Y_{m1} = 1,4 \quad (\text{fig.16.38})$$

Materiale nedgravd i bakken:

$$Y_{m2} = 1,1$$

Skader i anleggstiden (grus):

$$Y_{m3} = 1,3 \quad (\text{fig.16.39})$$

$$Y_m = Y_{m1} \cdot Y_{m2} \cdot Y_{m3} = 2,0$$

Dimensjonerende materialstyrke:

$$f_d = \frac{f_k}{Y_m} = \frac{41,5}{2,0} = 20,8 \text{ kN/m}$$

Reduksjonsfaktor  $\alpha$  for friksjon armering/jord:

$$\alpha = 0,95 \quad (\text{naturgrus}) \quad (\text{fig.16.40})$$

### 16.9.3 Beregning av jordtrykk

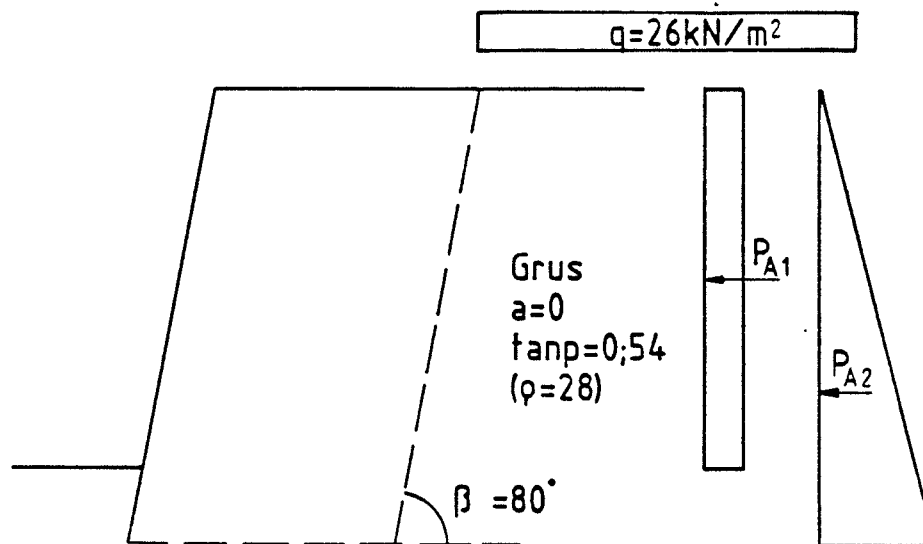


Fig. 16.47 JORDTRYKK

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

For  $\tan \varphi = 0,54$  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

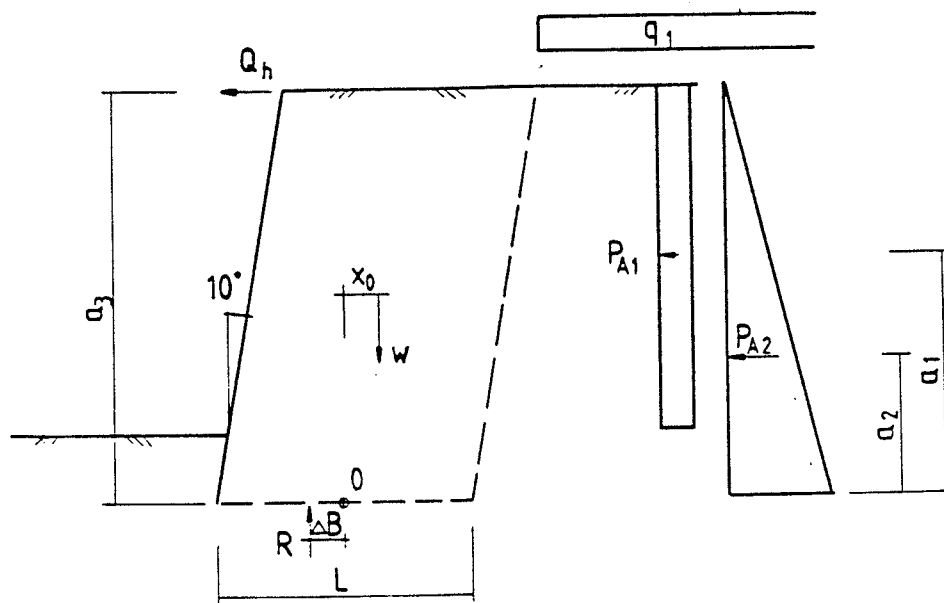


Fig. 16.48 YTRE STABILITET

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 ved nederste armeringslag:

$$r_b = \frac{\bar{t}_h}{\bar{q}_v \cdot \alpha \cdot \tan\rho} \quad (\tan\rho \text{ for grus}) \\ = \frac{36}{114 \cdot 0,95 \cdot 0,56} = 0,59 \quad \text{Krav: } r_b \leq 0,9 \text{ for grus}$$

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:

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

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

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



Kontroll av totalstabiliteten:

Stabiliteten av konstruksjonen kontrolleres ved sirkulærsylindriske og/eller sammensatte skjærflater gjennom massene bak og under det armerte jordlegemet. Eksempel på beregning er vist i kap.4 og tas ikke med her. Husk at evt. utgravning for å etablere den armerte konstruksjonen også må kontrolleres (korttid).

#### 16.9.5 Kontroll av indre stabilitet

Ved dimensjonering av armeringen medtas også jordtrykk fra nyttelast ( $q_1=26 \text{ kN/m}^2$ ) på det armerte legemet, dessuten horisontallasten ( $Q_h=7 \text{ kN/m}$ ).

Samlet last på alle armeringslag:

$$P_h = K_A \cdot k_{\text{corr}} \cdot (\gamma \cdot H^2/2 + qH) + Q_h \quad (16-8)$$

$$= 0,29(19 \cdot 6^2/2 + 26 \cdot 5) + 7 = 144 \text{ kN}$$

Armering med Tensar SR 110,  $f_d = 20,8 \text{ kN/m}$

Antall armeringslag, overslagsberegning:

$$n = \frac{P_h}{f_d} = \frac{144}{20,8} = 6,9 \quad \Rightarrow 7 \text{ lag} \quad (16-9)$$

For å forenkle fordelingen velges 8 lag.

Det skal brukes frontkledning av lett støttemurblokk, blokkhøyde 170 mm. Armeringslagene tilpasses skift-høyden. Prøver en fordeling som vist i fig 16.49. Kontrollen gjøres lettest i tabell.

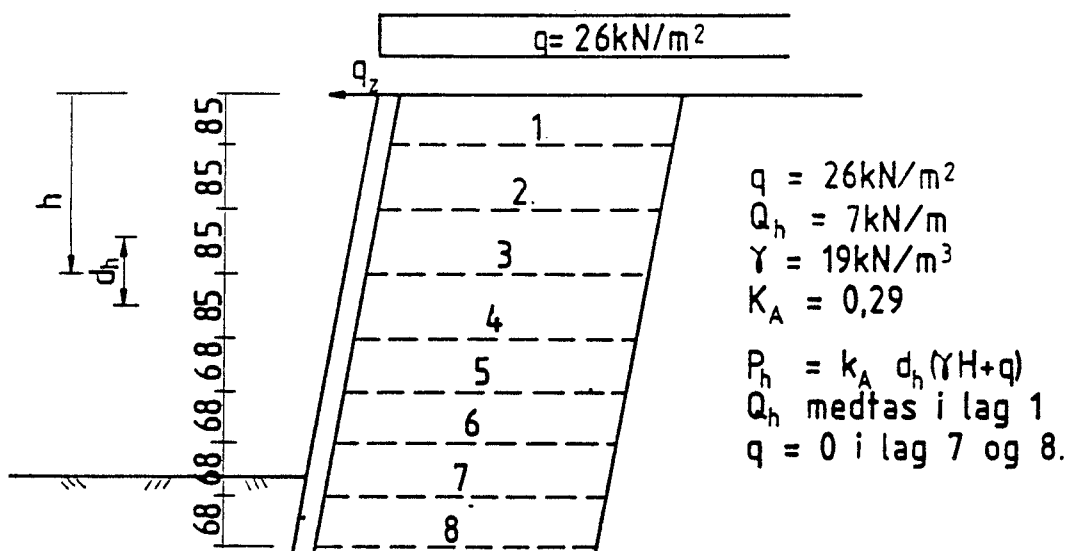


Fig. 16.49 FORDELING AV ARMERINGSLAG

LAG	h	d <sub>h</sub>	(γH+q)	$\frac{P_h}{K_A d_h (\gamma H+q)}$	f <sub>d</sub>
1	0,65	1,08	38,3	19,0	20,8
2	1,50	0,85	54,5	13,4	20,8
3	2,35	0,85	70,7	17,4	20,8
4	3,20	0,76	86,8	19,1	20,8
5	3,88	0,68	99,7	19,7	20,8
6	4,56	0,68	112,6	22,2	20,8
7	5,24	0,68	99,6 <sup>2</sup>	19,6	20,8
8	5,92	0,42	112,5 <sup>2</sup>	13,7	20,8

$$\sum d_h = 6,00$$

Fordelingen er tilfredsstillende. Overskridelsen i lag 6 godtas da det er rikelig kapasitet i lagene over og under.

Kommentar: Det er normalt ikke nødvendig å kontrollere samlet styrke for hvert armeringslag. Et par stikkprøver vil raskt vise om fordelingen er fornuftig.

Nødvendig armeringslengde:

Beregningen er tidligere gjennomført som overslag, må kontrolleres.

Helning på teoretisk bruddflate:

$$\alpha = \frac{1}{2} (90 - \rho - \beta) \quad \text{når } \beta = 0, \text{ se (16-4)}$$

$$= \frac{1}{2} (90 - 20 - 10) = 26^\circ$$

Bredde av jordkile ved armeringslag 1:

$$L_1 = h [\tan(\alpha + \delta) - \tan \delta]$$

$$= 5,35 [\tan(26 + 10) - \tan 10] = 2,9 \text{ m}$$

Forankringslengden for lag 1:

$$L_{f1} = \frac{P_h}{2\alpha (\gamma h_1 + q) \tan \rho} \quad (16-4)$$

$$= \frac{19}{2 \cdot 0,95 \cdot 38,3 \cdot 0,56} = 0,47$$

Forankringslengden skal likevel ikke være mindre enn:

$$L_f = 1,0 \text{ m} \quad (16-5)$$

Nødvendig bredde av konstruksjonen ved 1. armeringslag (bredde av frontkledning er inkludert):

$$L = L_1 + L_{f1} = 2,9 + 1,0 = 3,9 \text{ m}$$

Konklusjon: Armeringslengden velges lik for alle lag. Bredde den armerte konstruksjonen på 4,0 m er tilstrekkelig.

**ARMOD**

DATO 14.01.1991

OPPDRAG : 5.2 EKSEMPEL ARMERT JORD STØTTEMUR  
 PROFIL NR. :  
 KOMMENTAR : EKSEMPEL I PKT.16.9 I (1)  
 MED GEOTEKSTILER SOM ARMERING

**INNGANGSDATA:**Materialparametre jord:

Materialkoeffisient	se fig. 16.38	:	1.40
Mobiliseringsgrad	se pkt. 0.3.6	:	0.70
Fyllmasse:	Tyngdetetth. $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ):	:	19.0
(armert)	Attraksjon $a$ (kPa):	:	0
	Friksjonsvinkel $\phi$ :	:	38
Bakfyllmasse:	Tyngdetetth. $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ):	:	19.0
(uarmert)	Attraksjon $a$ (kPa):	:	0
	Friksjonsvinkel $\phi$ :	:	38
Undergrunn:	Tyngdetetth. $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ):	:	19.0
	Attraksjon $a$ (kPa):	:	5
	Friksjonsvinkel $\phi$ :	:	35

Materialparametre armering geotekstiler eller stål:

Materialkoeffisienter:	Generelt sikkerhetsnivå $\gamma_{m1}$ :	1.40	
	Holdbarhet $\gamma_{m2}$ :	1.10	
	Skader i anleggstiden $\gamma_{m3}$ :	1.30	
Karakteristisk langtidsstyrke $f_k$ (kN/m)	Geotek.:	41.50	Stål: 0.00
Reduksjonsfaktor $\alpha$	armering/jord	:	0.95
Korngraderingstallet $C_u = d_{60}/d_{10}$	:	:	0
Horisontal senteravstand $S_h$ (m):	0.00	Bredde stålbånd (m):	0.00

Ytre påkjenning:

Horisontallast $Q_h$	(kN/m):	5.00	Høyde (m):	6.00
Vertikal nyttelast $q$	(kPa):	20.00		
Vindlast $P_{vind}$	(kN/m):	0.00	Høyde (m):	0.00

Lastkoeffisienter bruddgrensetilstand:

Vekt av jord $\gamma_f$	:	1.00
Nyttelast $\gamma_f$	:	1.30
Vind $\gamma_f$	:	1.60

Geometri:

Helning foran fot alfa $\alpha$	:	0	
Helning bak topp beta $\beta$	:	0	Avstand (m): 0.00
Helning vegg $\delta$	:	10	
Såledybde $D$	(m):	1.00	
Totalhøyde $H$	(m):	6.00	

**BEREGNEDE DATA:**

Materialkoeffisient jordtrykk $\gamma_m$ :	1.43
Materialkoeffisient bæreevne $\gamma_m$ :	1.40
Materialkoeffisient armering $\gamma_m$ :	2.00

<u>Materialparametre jord:</u>		Jordtrykk	Bæreevne
Fyllmasse	$\tan \rho$	0.55	0.56
Bakfyllmasse	$\tan \rho$	0.55	0.56
Undergrunn	$\tan \rho$	0.49	0.50

Jordtrykk:

Hviletrykkskoeffisient $K_0$	:	0.47
Jordtrykkskoeffisient $K_A$	:	0.35
Korreksjonsfaktor hellende vegg $K_\delta$	:	0.79
Korrigert hviletrykkskoeffisient $K_{0korrr}$	:	0.37
Korrigert jordtrykkskoeffisient $K_{Akorrr}$	:	0.28
Jordtrykk nyttelest $P_{A1}$ (kN/m)	:	36
Jordtrykk fra tyngde av jord $P_{A2}$ (kN/m)	:	95

Ytre stabilitet:

Vinkel $\alpha$ fig.16.15	:	26	Eget valg!
Nødvendig bredde armert legeme L (m)	:	4.25	4.00
Glidning nedre armeringslag $r_b$	:	0.57	
Glidning mot naturlig grunn $r_b$	:	0.58	
Nyttig bredde $B_0$ (m)	:	3.50	
Kontroll mot brudd i tåen $B_0/L$	:	0.87	Krav: > 0.50
Ruhetsforholdet $r_b$	:	0.58	
Bæreevnefaktor $N_q$	:	6.8	
Bæreevnefaktor $N_\gamma$	:	3.4	
Korrigeringsfaktorer for hellende terreng foran fot:			
Reduksjonsfaktor $f_{sa}$	:	1.00	
Reduksjonsfaktor $f_{sq}$	:	1.00	
Bæreevne $\sigma_v$ (kPa)	:	211	
Vertikalt grunntrykk $q_v$ (kPa)	:	130	

Indre stabilitet:

Samlet last på alle armeringslag (kN/m)	:	138
Antall armeringslag	:	6.65

Lag	h (m)	$d_h$ (m)	$(\gamma h + q)$ (kPa)	$P_h$ (kN/m)	$f_d$ (kN/m)	$f_d - P_h$ (kN/m)
1	0.65	1.08	38.4	18.0	20.7	2.8
2	1.50	0.85	54.5	12.9	20.7	7.8
3	2.35	0.85	70.7	16.7	20.7	4.0
4	3.20	0.77	86.8	18.5	20.7	2.2
5	3.88	0.68	99.7	18.9	20.7	1.9
6	4.56	0.68	112.6	21.3	20.7	-0.6
7	5.24	0.68	99.6	18.8	20.7	1.9
8	5.92	0.42	112.5	13.1	20.7	7.6
9	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0

$$\Sigma d_h = 6.00$$

Kontroll nødvendig armeringslengde:

Bredde av jordkile lag 1 $L_1$ (m)	:	2.90	Minstekrav:
Forankringslengde $L_f$ (m)	:	0.44	$L_f \geq 1.0$ m
Nødvendig bredde L (m)	:	3.90	

## 5.3. EKSEMPEL ARMERT JORD STØTTEMUR, STÅL-BÅND

Hentet fra (8).

Dette er det samme eksempelet som i pkt.5.2., men nå benyttes stål-bånd som armering. Det som gjelder generelt for stål-bånd og geotekstiler er vist på s.12 - 17. Nedenfor er angitt det som kun gjelder ved bruk av stål-armering. Ved beregning av indre stabilitet benyttes en metode kalt "Coherent Gravity".

## 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  $C_u = 10$ .  $f_0 = 1.2 + \log 10 = 2.2$

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

$$f^* = \tan \phi = 0.78, \quad h > 6 \text{ m}$$

Setter inn for  $f_0$  og  $\tan \phi$ :

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

Materialkoeffisienter velges som for geotekstiler.  
 (Se kommentarer pkt.3.1. i (8))

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

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

## 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).

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

Korrigerede 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 i (8) får vi følgende fordeling for jordtrykket i dybden. Nyttelast antas å virke til 5 m dybde.

$$K = 0.38(1 - 0.167 \cdot h) + 0.29 \cdot 0.167 \cdot h \quad h \leq 6 \text{ m}$$

$$= 0.38 - 0.015 \cdot h$$

Jordtrykksfordelingen er vist i fig.5.1.

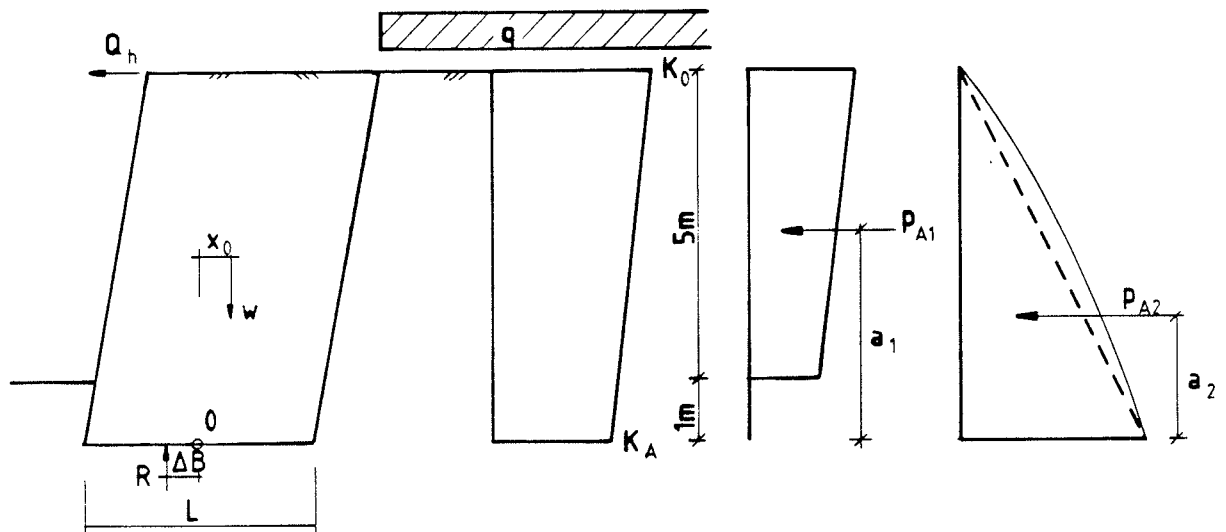


Fig.5.1 Jordtrykksfordeling ved "Coherent Gravity"-metoden

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. i (8) er korrodert tykkelse av stål-båndet angitt. Ved levetid 70 år og ikke utsatt for vann er  $e_s = 1.0$  mm.

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

Stål-bånd 40 x 5 mm<sup>2</sup>:

$$R = 69.3 \text{ kN}$$

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

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

$$= 24.9 \text{ kN}$$

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

Stål-bånd 60 x 5 mm<sup>2</sup>:

$$R = 105.3 \text{ kN}$$

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

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

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

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.5.2.

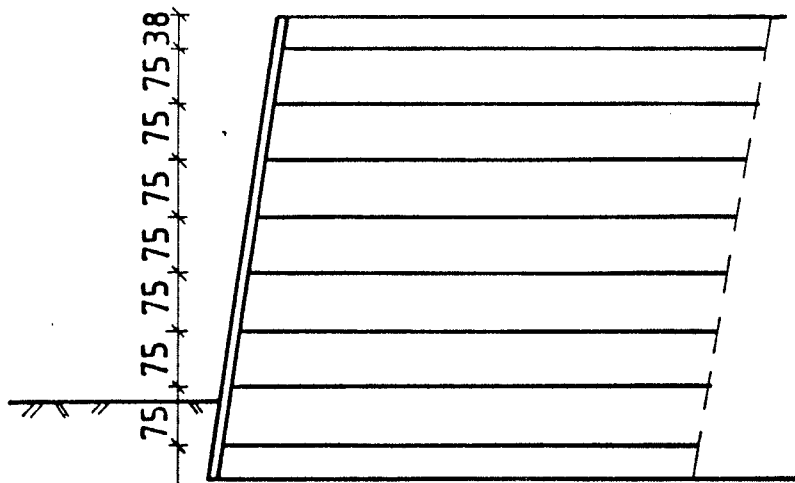


Fig.5.2 Fordeling av armering.

Tabell 5.1 Kontroll av armering

LAG	h	$d_h$	$(\gamma h+q)$	$P_h = K \cdot d_h (\gamma h+q)$	$f_d$
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:

$$P_h \leq T_f$$

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) i (8) er  $K \cdot \sigma_v \cdot S_v = P_h$  i tab.5.1.



$$T_f = 2 \cdot \frac{1}{\gamma_f} \cdot b \cdot f^* \cdot L_r \cdot \sigma_v$$

$$= \frac{2 \cdot 0.04 \cdot (2.2 - 0.237 \cdot 0.38) \cdot (4.0 - 1.8) \cdot 33.2}{1.35} = 9.1 \text{ kN}$$

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

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

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.5.2.

**ARMOD**

DATO 14.01.1991

OPPDRAG : 5.3 EKSEMPEL ARMERT JORD STØTTEMUR  
 PROFIL NR. :  
 KOMMENTAR : EKSEMPEL I PKT.16.9 I (1)  
 MED STÅL-BÅND SOM ARMERING

**INNGANGSDATA:**Materialparametre jord:

Materialkoeffisient	se fig. 16.38	:	1.40
Mobiliseringsgrad	se pkt. 0.3.6	:	0.70
Fyllmasse:	Tyngdetetth. $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ):		19.0
(armert)	Attraksjon $a$ (kPa):		0
	Friksjonsvinkel $\phi$ :		38
Bakfyllmasse:	Tyngdetetth. $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ):		19.0
(uarmert)	Attraksjon $a$ (kPa):		0
	Friksjonsvinkel $\phi$ :		38
Undergrunn:	Tyngdetetth. $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ):		19.0
	Attraksjon $a$ (kPa):		5
	Friksjonsvinkel $\phi$ :		35

Materialparametre armering geotekstiler eller stål:

Materialkoeffisienter:	Generelt sikkerhetsnivå $\gamma_{m1}$ :	1.40	
	Holdbarhet $\gamma_{m2}$ :	1.10	
	Skader i anleggstiden $\gamma_{m3}$ :	1.30	
Karakteristisk langtidsstyrke $f_k$ (kN/m)	Geotek.:	0.00	Stål: 49.80
Reduksjonsfaktor $\alpha$	armering/jord	:	1.20
Korngraderingstallet $C_u = d_{60}/d_{10}$		:	10
Horisontal senteravstand $S_h$ (m):	0.75	Bredde stålbånd (m):	0.06

Ytre påkjenning:

Horisontallast $Q_h$	(kN/m):	5.00	Høyde (m):	6.00
Vertikal nyttelast $q$	(kPa):	20.00		
Vindlast $P_{vind}$	(kN/m):	0.00	Høyde (m):	0.00

Lastkoeffisienter bruddgrensetilstand:

Vekt av jord $\gamma_f$	:	1.00
Nyttelast $\gamma_f$	:	1.30
Vind $\gamma_f$	:	1.60

Geometri:

Helning foran fot alfa $\alpha$	:	0	
Helning bak topp beta $\beta$	:	0	Avstand (m): 0.00
Helning vegg $\delta$	:	10	
Såledybde $D$	(m):	1.00	
Totalhøyde $H$	(m):	6.00	

**BEREGNEDE DATA:**

Materialkoeffisient jordtrykk $\gamma_m$ :	1.43
Materialkoeffisient bæreevne $\gamma_m$ :	1.40
Materialkoeffisient armering $\gamma_m$ :	2.00

<u>Materialparametre jord:</u>	Jordtrykk	Bæreevne
Fyllmasse	$\tan \rho$ 0.55	0.56
Bakfyllmasse	$\tan \rho$ 0.55	0.56
Undergrunn	$\tan \rho$ 0.49	0.50

Jordtrykk:

Hviletrykkskoeffisient $K_0$	:	0.47
Jordtrykkskoeffisient $K_A$	:	0.35
Korreksjonsfaktor hellende vegg $K_\delta$	:	0.79
Korrigert hviletrykkskoeffisient $K_{0\text{korrr}}$	:	0.37
Korrigert jordtrykkskoeffisient $K_{A\text{korrr}}$	:	0.28
Jordtrykk nyttebelast $P_{A1}$ (kN/m)	:	42
Jordtrykk fra tyngde av jord $P_{A2}$ (kN/m)	:	105

Ytre stabilitet:

Vinkel $\alpha$ fig.16.15	:	26	Eget valg!
Nødvendig bredde armert legeme L (m)	:	4.20	4.00
Glidning nedre armeringslag $r_b$	:	0.27	
Glidning mot naturlig grunn $r_b$	:	0.64	
Nyttig bredde $B_0$ (m)	:	3.32	
Kontroll mot brudd i tåen $B_0/L$	:	0.83	Krav: > 0.50
Ruhetsforholdet $r_b$	:	0.65	
Bæreevnefaktor $N_q$	:	6.2	
Bæreevnefaktor $N_\gamma$	:	3.0	
Korrigeringsfaktorer for hellende terreng foran fot:			
Reduksjonsfaktor $f_{sa}$	:	1.00	
Reduksjonsfaktor $f_{sq}$	:	1.00	

Bæreevne $\sigma_v$ (kPa)	:	187
Vertikalt grunntrykk $q_v$ (kPa)	:	137

Indre stabilitet:

Samlet last på alle armeringslag (kN/m)	:	154
Antall armeringslag	:	4.63

Lag	h (m)	$d_h$ (m)	$(\gamma h + q)$ (kPa)	$P_h$ (kN/m)	$f_d$ (kN/m)	$f_d - P_h$ (kN/m)
1	0.38	0.76	33.2	15.6	33.2	17.5
2	1.13	0.75	47.5	12.9	33.2	20.2
3	1.88	0.75	61.7	16.3	33.2	16.9
4	2.63	0.75	76.0	19.4	33.2	13.7
5	3.38	0.75	90.2	22.3	33.2	10.9
6	4.13	0.75	104.5	24.9	33.2	8.2
7	4.88	0.75	118.7	27.3	33.2	5.9
8	5.63	0.75	107.0	23.5	33.2	9.6
9	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0

$$\Sigma d_h = 6.00$$

Kontroll nødvendig armeringslengde:

Bredde av jordkile lag 1 $L_1$ (m)	:	1.80	Minstekrav:
Forankringslengde $L_f$ (m)	:	1.88	$L_f \geq 1.0$ m
Nødvendig bredde L (m)	:	3.68	

## LITTERATURLISTE:

1. Veglaboratoriet Håndbok-016  
Geoteknikk i vegbygging  
1990
2. Døssland, T. Forankring av støttestruksjonar med horisontale friksjonselement.  
Dr.ing oppgave  
Inst. for geoteknikk og  
fundamenteringslære. NTH  
1980
3. Aabøe, R. Setningsberegningsprogrammet  
Bruun, H. SETNING-MAL  
Granli, T. Intern rapport nr. 1447  
Veglaboratoriet 1990
4. Norsk Data Notis-Calc Brukerhåndbok  
versjon E
5. Norsk Data Notis-WP Brukerveiledning  
versjon N
6. Kirkebø, S. Revurdering av bæreevnefaktorene  
 $N_q$ ,  $N_\gamma$  og  $N_u$  ved hjelp av  
spenningsfeltteori.  
Hovedoppgave  
Institutt for geoteknikk  
NTH 1986
7. Utvalg for Produktoversikt  
armert jord Rapport nr.4  
Veglaboratoriet  
2.utg. 1990
8. Bruun, H. Indre stabilitet i støttestruksjoner av armert jord.  
Vaslestad, J. Intern rapport nr.1475  
Veglaboratoriet 1991
9. Janbu, N. Geotekniske beregningsmetoder  
Grande, L. Kompendium i fag 33525  
Hjeldnes, E.I. Geoteknikk 2 GK  
Institutt for geoteknikk  
NTH 1988
10. Nordal, S. Forelesningsnotater i fag  
33562 Teoretisk Geoteknikk VK  
Institutt for geoteknikk  
NTH 1989





60:Hviletrykkskoeffisient Ko : 1.00  
 61:Jordtrykkskoeffisient Ka : 1.00  
 62:Korreksjonsfaktor hellende vegg Kd : 1.00  
 63:Korrigerert hviletrykkskoeffisient Kokorr: 1.00  
 64:Korrigerert jordtrykkskoeffisient Kakorr: 1.00  
 65:Jordtrykk nyttelast Pal (kN/m): 0  
 66:Jordtrykk fra tyngde av jord Pa2 (kN/m): 0  
 67:  
 68:Ytre stabilitet: Eget valg!  
 69:Vinkel alfa fig.16.15 : 0  
 70:Nødvendig bredde armert legeme L (m): 1.00 0.00  
 71:Glidning nedre armeringslag rb : 0.00  
 72:Glidning mot naturlig grunn rb : 0.00  
 73:Nyttig bredde Bo (m): 1.00  
 74:Kontroll mot brudd i tåen Bo/L : 1.00 Krav: > 0.50  
 75:Ruhetsforholdet r : 0.00  
 76:Bæreevnefaktor Nq : 1.0  
 77:Bæreevnefaktor N-gamma : 0.0  
 78:Korrigeringsfaktorer for hellende terreng foran fot:  
 79:Reduksjonsfaktor fsa : 1.00  
 80:Reduksjonsfaktor fsq : 1.00  
 81:  
 82:Bæreevne sigma v (kPa): 0  
 83:Vertikalt grunntrykk qv (kPa): 0  
 84:  
 85:Indre stabilitet:  
 86:Samlet last på alle armeringslag (kN/m): 0  
 87:Antall armeringslag : 0.00  
 88:  
 89:  
 90:  

91:	Lag	h	dh	(g*h+q)	Ph	fd	fd - Ph
92:							
93:	1	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
94:	2	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
95:	3	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
96:	4	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
97:	5	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
98:	6	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
99:	7	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
100:	8	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
101:	9	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
102:	10	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
103:	Sum		0.00				

 104:  
 105:  
 106:Kontroll nødvendig armeringslengde:  
 107:Bredde av jordkile lag 1 L1 (m): 0.00 Minstekrav:  
 108:Forankringslengde Lf (m): 0.00 Lf >= 1.0 m  
 109:Nødvendig bredde L (m): 0.00  
 110:

## VEDLEGG B

### JORDTRYKSKOEFFISIENTEN $K_a$

Ved å benytte seg av spenningsfelt teori, se f.eks. (10), for jordtrykk ( $a\phi$ ) kommer man fram til følgende generelle formel ved antakelser om positiv ruhet og  $\gamma = 0$ .

$$K_a = \frac{1}{2N} ((N + 1) - (N - 1)\cos 2\omega)e^{-2\omega \tan \rho} \quad (\text{B-1})$$

(B-1) gjelder for horisontalt terreng. Ved å benytte seg av plane skjærflater får man følgende uttrykk for  $K_a$  som gjelder både for horisontalt og skrått terreng:

$$K_a = \frac{1}{(\sqrt{1+\tan^2 \rho} + \tan \rho \cdot \sqrt{t})^2} \quad (\text{B-2})$$

Her er  $t = (1 + r)(1 - s)$  der  $s$  er definert slik:

$$s = \frac{\tan \beta}{\tan \rho} \quad (\text{B-3})$$

$\beta$  er skråningens helning  
 $\rho$  er mobilisert friksjonsvinkel  
 $r$  er ruhet

Ved horisontalt terreng er  $s = 0$  og  $t = 1 + r$ .  
Programmet benytter (B-1) ved horisontalt terreng og (B-2) ved skrått terreng.





## VEDLEGG C

KORREKSJONSFAKTOREN  $K_\delta$ .

Teorien er hentet fra (1) pkt.16.5.

Ved beregning av armering i skråninger der støttemuren har hellende front, gjelder i prinsipp samme metoder som for vertikale vegger. For bratte skråninger er  $K$  (jordtrykkskoeffisienten) mindre enn for vertikal vegg ( $K_A$ ). Tilnærmet kan settes:

$$K_{A\text{korrigert}} = K_A \cdot K_\delta \quad (\text{C-1})$$

$$K_\delta \approx \left[ \frac{\sin(\beta_1 - \rho)}{\cos \rho} \right]^2 \quad (\text{C-2})$$

Begrensninger:  $0 \leq \rho \leq 40^\circ$   
 $60^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$

$\rho$  er mobilisert friksjonsvinkel  
 $\beta_1$  er armerte legemets helning, se fig. 3.1.



## VEDLEGG D

BÆREEVNEFAKTOREN  $N_q$ .

Bæreevnefaktoren  $N_q$  finnes ved å benytte spenningsfelt og man kommer da fram til:

$$(\sigma_v' + a) = N_q(p' + a) \quad (D-1)$$

$$N_q = \frac{1}{2} ((N + 1) + (N - 1)\cos 2\omega)e^{(\pi-2\omega)\tan \rho} \quad (D-2)$$

$$N = \tan^2(\pi/4 + \rho/2) \quad (D-3)$$

$$\tan \omega = f_\omega \cdot \tan(\pi/4 + \rho/2) \quad (D-4)$$

$$f_\omega = \frac{1}{r} (1 - \sqrt{1 - r^2}) \quad (D-5)$$



## VEDLEGG E

BÆREEVNEFAKTOREN  $N_\gamma$ .

Det har hittil ikke vært mulig å finne en eksakt løsning på bæreevnefaktoren  $N_\gamma$ . Bakgrunnen for dette er at de diagrammene som er publisert ved NTH, er framkommet ved å benytte kombinasjoner av karakteristikkmetoden, lamellemetoden og ulike likevektsmetoder. I et regneprogram vil derfor nøyaktigheten variere for ulike kombinasjoner av  $r$  og  $\tan \rho$ .

I programmet er valgt å bruke en metode som er beskrevet i hovedoppgaven til Signe Kirkebø, 1986, se (6). Metoden gir bra nøyaktighet sammenlignet med fig.6.4. i (1) og den er konservativ ved lave verdier for ruhet  $r$ .

En skjærflate ble valgt med  $\alpha_0$  som variabel, se fig.E.1.

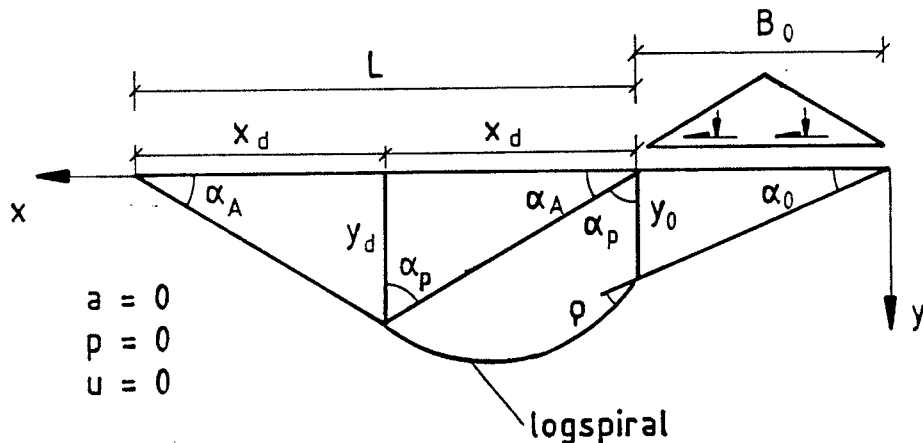


Fig.E.1. Basistilfelle for beregning av  $N_\gamma$ .

I fig.E.1 gjelder følgende:

$$\alpha_A = 45^\circ - \rho/2 \quad (\text{E-1})$$

$$\alpha_P = 45^\circ + \rho/2 \quad (\text{E-2})$$

$$y_0 = B_0 \cdot \tan \alpha_0 \quad (\text{E-3})$$

$$y_d = \cos \alpha_P \cdot B_0 \cdot \tan \alpha_0 \cdot e^{\alpha_P \cdot \tan \rho} \quad (\text{E-4})$$

$$x_d = \sin \alpha_P \cdot B_0 \cdot \tan \alpha_0 \cdot e^{\alpha_P \cdot \tan \rho} \quad (\text{E-5})$$

$$\tan \alpha = \frac{dy}{dx} \quad (\text{E-6})$$

Stabilitetskriteriet fikk da følgende form.

$$Q + \int_0^{B+L} (p+t)\tan(\alpha-\rho)dx = 0 \quad (\text{E-7})$$

$$p = \begin{cases} \sigma_v + \gamma \cdot Y & : B \geq x \geq 0 \\ \gamma \cdot Y & : B+L \geq x \geq B \end{cases} \quad (\text{E-8})$$

$$Q = \int_0^B \tau_h dx \quad (\text{E-9})$$

Integralene løses ved arealbetraktning, og  $N_\gamma$  finnes som funksjon av  $\alpha_0$ . For å finne minste  $N_\gamma$ , ble  $N_\gamma$  derivert med hensyn på  $\tan \alpha_0$ , og den deriverte satt lik null. Dette ga  $\alpha_0$  for  $N_\gamma$ -flaten, som igjen ga  $N_{\gamma \text{ min}}$ .

Følgende algoritme benyttes for å finne  $N_\gamma$  for angitt  $r$  og  $\tan \rho$ .

$$\alpha_p^{\text{rad}} = \pi/4 + \rho/2 \quad (\text{E-10})$$

$$K_p = 2 \cdot \sin^2 \alpha_p \cdot e^{2 \cdot \alpha_p \cdot \tan \rho} \quad (\text{E-11})$$

$$x_0^2 = \frac{(1-r) \cdot \tan \rho}{1+r \cdot \tan^2 \rho} \quad (\text{E-12})$$

$$\beta = (1 - \tan^2 \rho) \cdot K_p - 1 \quad (\text{E-13})$$

$$\lambda = 2 \cdot \tan \rho \cdot K_p \quad (\text{E-14})$$

$$x_c = x_0 \sqrt{\frac{\tan \rho + 2 \cdot \beta \cdot x_c + 3 \cdot x_c^2}{\beta + 2 \cdot \lambda \cdot x_c}} \quad (\text{E-15})$$

For å finne  $x_c$  må man iterere seg fram til en løsning for hver kombinasjon av  $r$  og  $\tan \rho$ .

$$x_{c1} = x_0 \sqrt{\frac{\tan \rho + 2 \cdot \beta \cdot x_0 + 3 \cdot x_0^2}{\beta + 2 \cdot \lambda \cdot x_0}} \quad (\text{E-16})$$

$$x_{c2} = x_0 \sqrt{\frac{\tan \rho + 2 \cdot \beta \cdot x_{c1} + 3 \cdot x_{c1}^2}{\beta + 2 \cdot \lambda \cdot x_{c1}}} \quad (\text{E-17})$$

$$x_{c3} = \dots \dots \dots$$

Konvergenskrav er  $|x_{cn} - x_{cn-1}| \leq 0.0001$

$$N_{\gamma \text{ min}} = \frac{3 \cdot \lambda \cdot x_c^2 + 2 \cdot \beta \cdot x_c + \tan \rho}{1 + r \cdot \tan^2 \rho} \quad (\text{E-18})$$

## VEDLEGG F

### REDUKSJONSFAKTORER VED BÆREEVNE.

Bæreevneformelen ved horisontalt terreng er:

$$\sigma_v' + a = N_q(p' + a) + \frac{1}{2} N_\gamma \cdot \gamma' \cdot B_o \quad (\text{F-1})$$

Ved skrått terreng blir bæreevnen redusert. Fra pkt.6.3.2 i (1) er det angitt følgende formel med forutsetninger om attraksjon  $a=0$  og vektløs jord:

$$\sigma_v' = f_{s_q} (N_q \cdot p' + \frac{1}{2} N_\gamma \cdot \gamma' \cdot B_o) + (N_q \cdot f_{s_a} - 1)a \quad (\text{F-2})$$

Torgeir Døssland angir i (2) følgende formler for  $f_{s_q}$  og  $f_{s_a}$ .

$$f_{s_q} = \cos^2 \beta \cdot \frac{1 + f_\eta^2 \cdot \tan^2 \alpha_A}{1 + f_\eta^2} e^{-2(\eta + \beta) \tan \rho} \quad (\text{F-3})$$

$$s = \frac{\tan \beta}{\tan \rho} \quad (\text{F-4})$$

$$f_\eta = \frac{1 - \sqrt{1 - s^2}}{s} \quad (\text{F-5})$$

$$\tan \eta = f_\eta \cdot \tan \alpha_A \quad (\text{F-6})$$

$$\alpha_A = \pi/4 - \rho/2 \quad (\text{F-7})$$

For  $f_{s_a}$  angis følgende formel:

$$f_{s_a} = e^{-2\beta \tan \rho} \quad (\text{F-8})$$

I fig.6.14 i (1) ser man at kurvene for  $f_{s_q}$  har et knekkpunkt for  $s = 0.95$ . Derfor er det ved programmeringen benyttet en ny formel i området  $0.95 < s < 1.0$  slik at  $f_{s_q} = 0$  når  $s = 1.0$ .

$$f_{s_q} = \frac{0.3}{\tan \rho} \cdot \frac{(1 - s)^{0.2313}}{e^{40(s - 0.95)}} \quad (\text{F-9})$$

Formel (F-9) gir konservative verdier for  $f_{s_q}$  sammenlignet med fig.6.14 i (1).