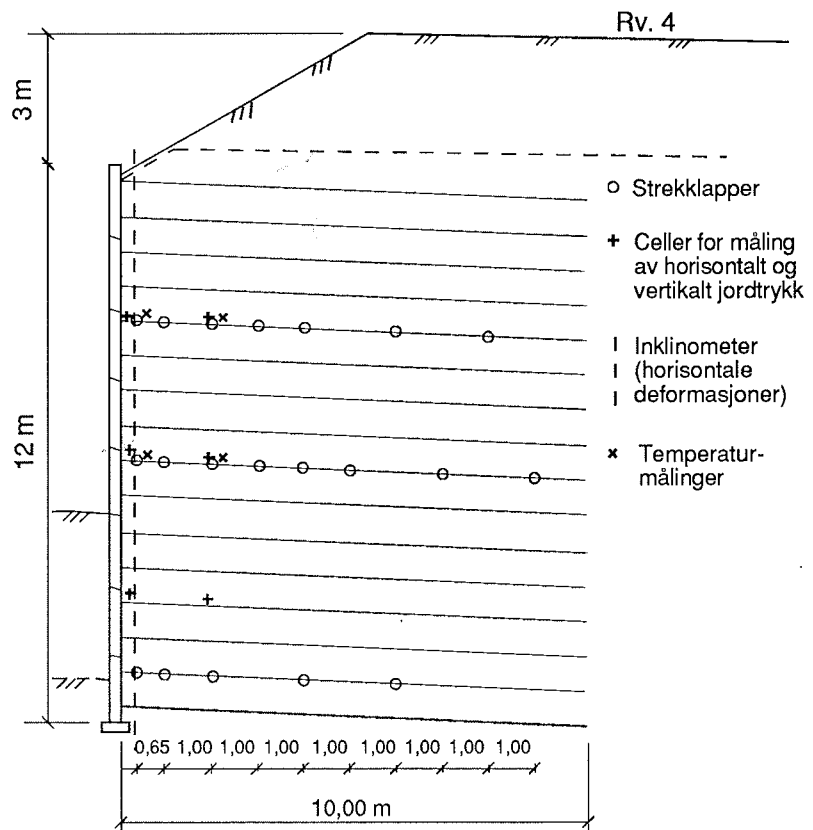


# Intern rapport nr. 1594

ARMOD - Program for beregning av armert jord.  
Støttekonstruksjoner.  
Brukerbeskrivelse for PC-versjon.



Februar 1993

# Intern rapport nr. 1594

## ARMOD - Program for beregning av armert jord. Støttekonstruksjoner. Brukerbeskrivelse for PC-versjon.

### Sammendrag

Rapporten er en brukerveiledning for regnearkprogrammet ARMOD (ARmert jord MODellering) med bruk av PC.

Ved hjelp av programmet kan man kontrollere ytre og indre stabilitet for en støttekonstruksjon av armert jord. Alle nødvendige jordtrykkskoeffisienter og bæreevnefaktorer blir beregnet av programmet. Beregningsgangen i programmet følger pkt. 16.9 i Håndbok-016 GEOTEKNIKK I VEGBYGGING.

Programmet ble i første omgang utviklet ved Veglaboratoriet basert på Notis Calc. Denne versjonen er nå noe modifisert og lagt inn på regnearket Excel 4.0 til bruk på vanlige PC-er.

Denne brukerveiledningen bygger mye på Veglaboratoriets internrapport nr. 1485. For å kunne utføre beregningene må man ha tilgang på programmet ARMOD.XLS og regnearket EXCEL 4.0.

Inngangsparametere er forklart og teorigrunnet for programmet blir gjennomgått. Videre blir gyldighetsområdet for programmet diskutert. Det viser seg nemlig at bæreevnebetraktningen forutsetter en relativt bratt vegg.

Ved beregningene kan man velge mellom geosynteter (geotekstiler, geonett) eller stålarmring.

Utskrifter fra programmet og håndregnete eksempler er vedlagt.

**Emneord:** Bæreevne, jordtrykk, geoteknikk, armering, støttemur, landkar og program(EDB)

**Seksjon:** Geoteknisk  
**Saksbehandler:** Jan Holme/Jan Vaslestad  
**Dato:** Februar 1993

/TG

---

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Veglaboratoriet  
Postboks 6390 Etterstad, 0604 OSLO  
Telefon: 22 63 99 00 Telefax: 22 46 74 21



## INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1. INNLEDNING.....	1
2. ARMOD.XLS.....	2
2.1 Bruk av Armod.xls.....	2
2.2 Utskrift av resultater.....	6
2.3 Eventuelle feilkilder.....	7
3. PROGRAMOPPBYGGING.....	8
3.1 Inngangsparametere.....	8
3.2 Mobiliseringsgrad og materialkoeffisienter...9	
3.2.1 Jord.....	9
3.2.2 Armering.....	9
3.3 Geosynteter eller stålarmoring.....	10
3.4 Langtidsstyrke stålarmoring.....	10
3.5 Forankringslengde stålarmoring.....	11
4. DOKUMENTASJON AV PROGRAMMET.....	12
4.1 Diskusjon.....	12
4.2 Regnemodellens gyldighetsområde.....	13
4.3 Eksempel armert jord støttemur, geotekstiler.14	
4.4 Eksempel armert jord støttemur, stålbånd.....	24
LITTERATURLISTE.....	31

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 brukerveiledning for regnearkprogrammet ARMOD i PC-versjon. Det er tidligere blitt laget en brukerveiledning i ARMOD for Notis Calc brukt på datanettet til Vegdirektoratet. 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.

Programmet gjør bruk av regnearkprogrammet Excel 4.0. Fordelen med regnearket er at man ved hjelp av piltastene lett kan skrive inn inngangsparameterene, og enkelt betrakte resultater som fremkommer ved forandringer av inngangsparameterene.

Programmet beregner jordtrykkskoeffisienter, korreksjonsfaktorer, bæreevnemfaktorer osv. 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. Fordi regnemodellen inneholder en del begrensninger, bør det derfor alltid kontrolleres at resultatene er tilfredsstillende ved hjelp av håndregning med enkle overslagsmetoder.

## 2. BRUK AV ARMOD.XLS.

Bruken av dette programmet forutsetter at du som bruker har tilgang på regnearket Excel 4.0.

Før du starter programmet anbefales det at man har klart for seg jordartsparemetere som skal brukes og evt. dets variasjonsområde. En tegning som viser skråningens geometri er ikke dumt.

Videre bør man ha tilgang på Håndbok-016, produktoversikt for armeringen og aktuelle norske standarder.

Oppstart av programmet :

- \* Hent inn regnearket Excel 4.0
- \* Sett inn disketten med programmet ARMOD.XLS. (Med mindre du ikke har det liggende på harddisken.)
- \* Bruk musa og klikk på File.
- \* Klikk på Open
- \* Velg riktig katalog og klikk på ARMOD.XLS.

Du befinner deg nå øverst i venstre hjørne av regnearket. Regnearket er oppdelt i kolonner og rekker. ARMOD benytter seg av kolonnene A til B0 og rekkene 1 til 115. Rent skissemessig kan vi tenke oss regnearket 3-delt. Inngangsdata, resultater og beregningsdel. Som bruker av programmet trenger du bare operere innenfor kolonnene A til I.

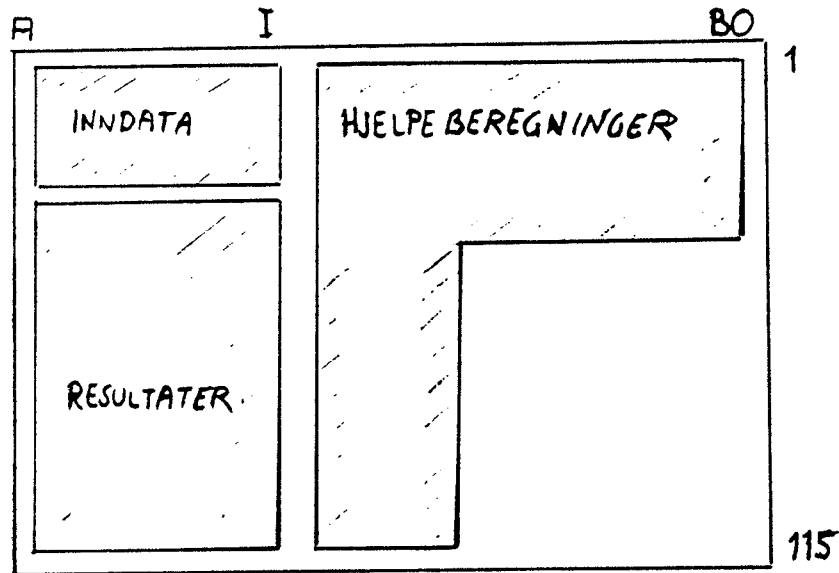


Fig.2.1 Prinsippskisse av regnearkets oppbygning.

Regnearket du nå har fått fram er et såkalt null-stilt regneark. Med det menes at alle inngangsparametere har verdien null. Videre arbeidsgang:

- \* Flytt markøren til første null-stilte rute. (F10)
- \* Skriv riktig verdi og flytt markøren videre.

Merk at det ikke er nødvendig å entre et tall. Det holder med å flytte rundt med piltastene. Nye input-verdier registreres og beregnes direkte.

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

Reduksjonsfaktor  $\alpha$  armering/jord i rute G27 benyttes ved geosynteter. Ved stålarmring 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. 2.3. Ved skrått terreng over det armerte legemet må det tilpasses alternativ 1,



2 eller 3 nedenfor.

1. Terrenget over og bak det armerte legemet er horisontalt. Dvs. helningen  $\beta=0$  og avstanden er lik null.
2. Terrenget er horisontalt over det armerte legemet og skrått der det armerte legemet slutter. Helningen  $\beta > 0$  og avstand er større enn null. Programmet vil da automatisk sette verdien til avstanden lik tallet i rute E70 evt. rute H70. Se forklaring nedenfor.
3. Terrenget er skrått over og bak legemet. Helning  $\beta > 0$  og avstand er lik null.

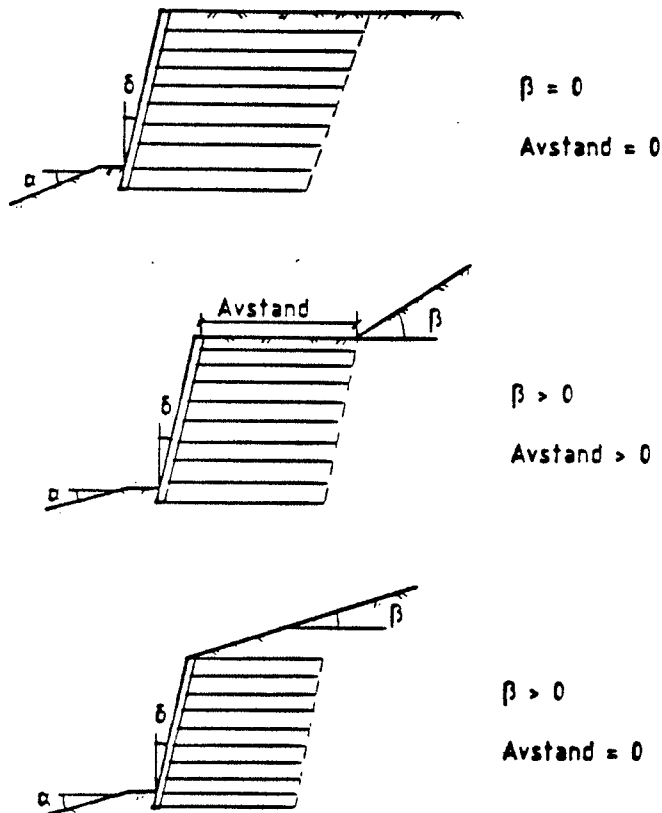


Fig.2.2. Profilene som blir brukt i programmet.

I rekke 48 står det BEREGNEDE DATA. Under denne linja vil resultatene av input-verdiene dine komme. Disse vil komme automatisk etterhvert som du taster inn inngangsparameterene.

Gå ned til linje/rekke 70. Her beregnes nødvendig bredde av armert legeme. Istedenfor å bruke den beregnede verdien gitt i rute F70, kan du legge inn et tall i rute G70. Den beregnede verdien i rute F70 blir bare brukt så lenge rute G70 har verdien null.

Programmet har nå regnet ut jordas bæreevne, antall nødvendige armeringslag, forankringsdybde etc.

Hvis resultatene er tilfredsstillende, kan du nå gå til indre stabilitet i området A85 til I114.

I tabellen i området A93:G107 skal du kun fylle ut kolonne B som angir h som avstand fra topp til armeringslaget. Denne tabellen tilsvarer den som er vist i pkt.16.9.5 i (1), men kolonnen lengst til høyre regner ut differansen mellom  $f_d$  og  $P_h$ .

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

Under tabellen i området A112:G115 er nødvendig armeringslengde kontrollert. Den nødvendige bredden i rute E114 må du sammenlikne 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 :

$$P_h < T_f$$

## 2.2 UTSKRIFT AV RESULTATER.

Når du har gjort dine beregninger, kontrollert at alle input-data er riktige og sjekket at svarene er rimelige, er tiden kommet for å ta en resultatutskrift.

Dersom du vil ha en utskrift tilsvarende vist i vedlegg A eller for de to beregningseksemplene vist under pkt. 4.3 og 4.4, gjør du følgende:

- \* Klikk på file.
- \* Klikk på print.

Noe annerledes blir det dersom du ønsker en større utskrift. F. eks. utskrift av hjelpeberegningene i tillegg.

- \* Klikk på File
- \* Klikk på Set print area.
- \* Hold på musa og merk av området du vil ha skrevet ut.
- \* Klikk på print

Excel byr på mange muligheter når det gjelder resultatutskrifter og resultatfremvisninger. Som en første versjon på ARMOD.XLS, har vi ikke gjort noe mer ut av det, men overlater fantasien til brukeren.

## 2.3 EVENTUELLE FEILKILDER

Vær oppmerksom på enhetene i programmet !

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

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

Det er en forutsetning i programmet at alle angitte helninger er konstante. Uregelmessigheter i programmet må derfor bli forsøkt tilpasset med et tilnærmet profil, se fig 2.2

### 3. PROGRAMOPPBYGNING.

#### 3.1 INNGANGSPARAMETERE.

Excel 4.0 har greske tegn, men det har foreløpig vist seg vanskelig å kombinere greske tegn og vanlige norske tegn i en celle. Excel betegnelsen er derfor ført opp i parentes ved siden av den betegnelsen 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. $\gamma_z$ for nyttelast.
$P_{vind}$ (Pvind)	: Vindlast (linjelast) i kN/m, kombineres med $\gamma_z$ for vind.
$q$	: Vertikal nyttelast $q$ i kPa uten lastkoeff.
Lastkoeffisienter:	Vekt av jord, $\gamma_z$ ofte 1.0 Nyttelast, $\gamma_z$ som regel 1.3 Vind, $\gamma_z$ 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)
$K_d$ (Kd)	: Korreksjonsfaktor (se vedlegg C)
$N_q$ (Nq)	: Bæreevnemerkfaktor (se vedlegg D)
$N_\gamma$ (Ng)	: Bæreevnemerkfaktor (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:

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

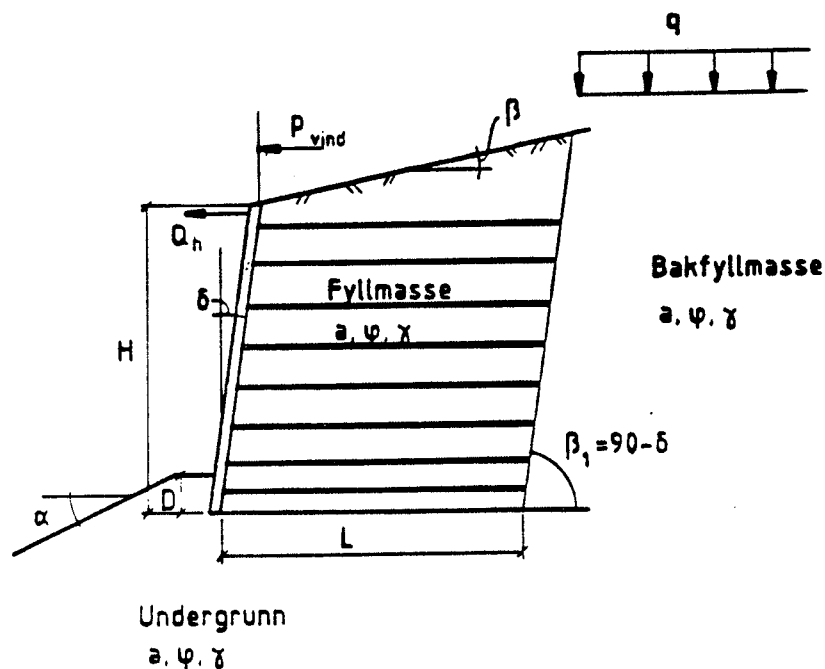


Fig.3.1 Definisjon av inngangsparametere

### 3.2. MOBILISERINGSGRAD OG MATERIALKOEFFISIENTER

#### 3.2.1. Jord

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

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

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  $\gamma_n$  fra fig. 16.38 i (1).

#### 3.2.2. Armering

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

Brukeren angir  $\gamma_{n1}$ ,  $\gamma_{n2}$  og  $\gamma_{n3}$  fra pkt.16.7.3 og programmet regner ut  $\gamma_n = \gamma_{n1} \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_{n3}$

### 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  $e_0 = 5$  mm  
Strekkapasitet  $R = 69.3$  kN

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

Båndbredde  $b = 60$  mm, båndtykkelse  $e_0 = 5$  mm  
Strekkapasitet  $R = 105.3$  kN

Langtidsstyrke for armeringen:

$$T_{r1} = R \frac{e_c}{e_0} \quad (3-2)$$

$$T_{r2} = \frac{1}{0.75} R \frac{b'}{b} \frac{e_c}{e_0} \quad (3-3)$$

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

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

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

$\gamma_n$ . Midlere horisontalavstand mellom stål-båndene angis i rute I29. Dimensjonerende materialstyrke  $f_d$  angis da i tabellen som:

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

$$\gamma_n = \gamma_{n1} \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_{n3} \quad (3-7)$$

For  $\gamma_{n1}$ ,  $\gamma_{n2}$  og  $\gamma_{n3}$  se pkt.3.2.2.

$S_h$  er midlere horisontalavstand mellom stål-bånd.

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

### 3.5. FORANKRINGSLENGDE STÅLARMERING

Teori hentet fra (8).

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

$$f^* = f_0 + \log C_u \quad (3-8)$$

$f_0 = 1.2$  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 stål-bånd,  $L_r$  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. DOKUMENTASJON AV PROGRAMMET.

Programmet ARMOD er sammenliknet med håndregnede beregninger i pkt. 4.3 - 4.4. Eksempelene skal vise hvordan inngangsparametrene skal legges inn.

### 4.1 DISKUSJON

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

Programmet regner med god nøyaktighet. Det vil alltid være en forskjell mellom ARMOD og de håndregnede eksemplene. Dette gjelder spesielt avlesningene av verdiene for  $K_a$ ,  $K_0$ ,  $N_q$ ,  $N_g$ ,  $f_{s,q}$  og  $f_{s,a}$  i figurer der et lite avvik i  $r$  og  $\tan\phi$  vil gi betydelig forskjeller for de avleste verdiene sammenliknet 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. 6.3.1 i (1) er sammenliknet 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 +- 5%

Det er dessuten vanskelig å avlese riktig fra logarimiske skalaer.

Utrekningen av  $N_g$  vil også avvike fra avleste verdier i figurer. Dette er kommentert i vedlegg E.

## 4.2 REGNEMODELLENS GYLDIGHETSOMRÅDE.

Bak formelverket for beregningene ligger det visse forutsetninger. Som kommentert i vedlegg C, vil f.eks. korreksjonsfaktorene for aktivt trykk ikke bli korrekt dersom helningen til skråningen er slakere enn 60 grader.

Videre må  $\alpha$  og  $\beta$  som henholdsvis er helning foran og bak armert legeme, være mindre enn mobilisert friksjonsvinkel  $\rho$  og ikke større enn 40 grader.

Det viser seg at bæreevnebetraktningen blir mindre korrekt dess slakere skråningen blir. Det er derfor i programmet lagt inn en test på når den effektive bredden  $B_0$  er større enn total bredde  $B$ . Som bruker vil du da få meldingen "Er bæreevne modellen riktig?". Det er ingenting i veien for at du som bruker kan operere med slakere skråning, men da skal man vite at jordas bæreevne er dårligere enn den som er blitt regnet ut. Det blir derfor nødvendig å dokumentere bæreevnen på andre måter, f.eks. ved stabilitetsberegninger eller andre anerkjente metoder.

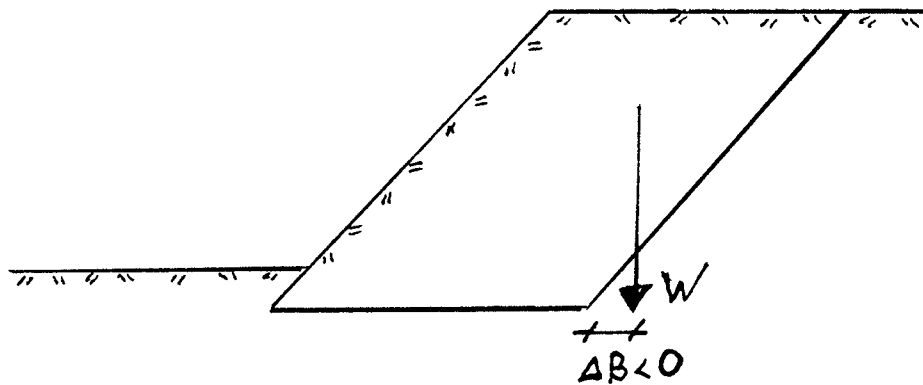


Fig 4.1 Viser når bæreevne modellen blir gal.

#### 4.3 EKSEMPEL ARMERT JORD STØTTEMUR, GEOTEKSTILER

Kopiert fra (1).

#### 16.9 EKSEMPEL: DIMENSJONERING AV STØTTEKONSTRUKSJON

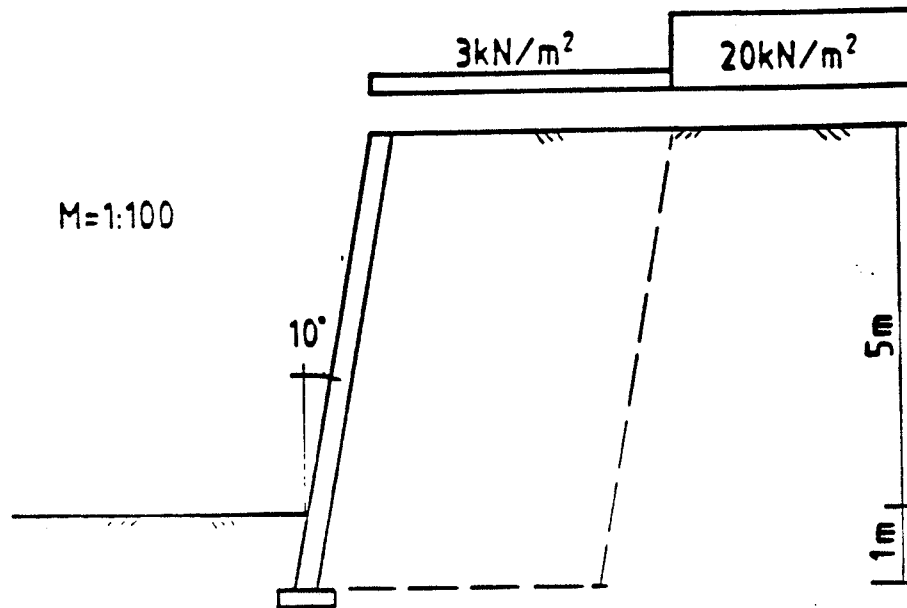


Fig. 16.46 STØTTEKONSTRUKSJON I ARMERT JORD

Det skal bygges en støttekonstruksjon 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 kN/m. Lasten dekker både sidekraft ved bremsing og påkjørselskraft mot rekkverk. (Det kan forutsettes at disse to ikke inntreer 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

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

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

$f = 0,7$  skal brukes

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

Mobiliserbar materialstyrke:

$$a = 0$$

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

Karakteristisk materialstyrke - armering:

I eksempelet velges geonett Tensar SR 110. Vi aksepterer leverandørens dokumentasjon av langtids kryptforsøk 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:

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

Reduksjonsfaktor  $\alpha$  for friksjon armering/jord:

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

## 16.9.3 Beregning av jordtrykk

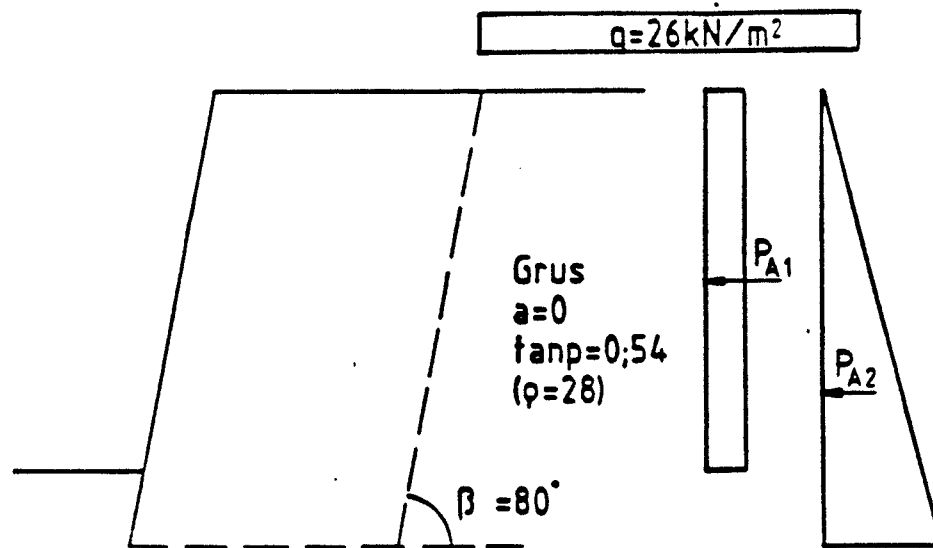


Fig. 16.47 JORDTRYKK

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

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

$$K_A = 0,36$$

Korreksjonsfaktor for hellende vegg, se kap.5.3.3.

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

Korrigert jordtrykksfaktor:

$$K_{A, \text{korrigert}} = K_{\beta} \cdot K_A = 0,80 \cdot 0,36 = 0,29$$

Jordtrykk fra nyttelast:

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

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

Jordtrykk fra tyngde av jord:

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

Trekantfordelt med angrepspunkt i 4 m dybde.

### 16.9.4 Kontroll av ytre stabilitet

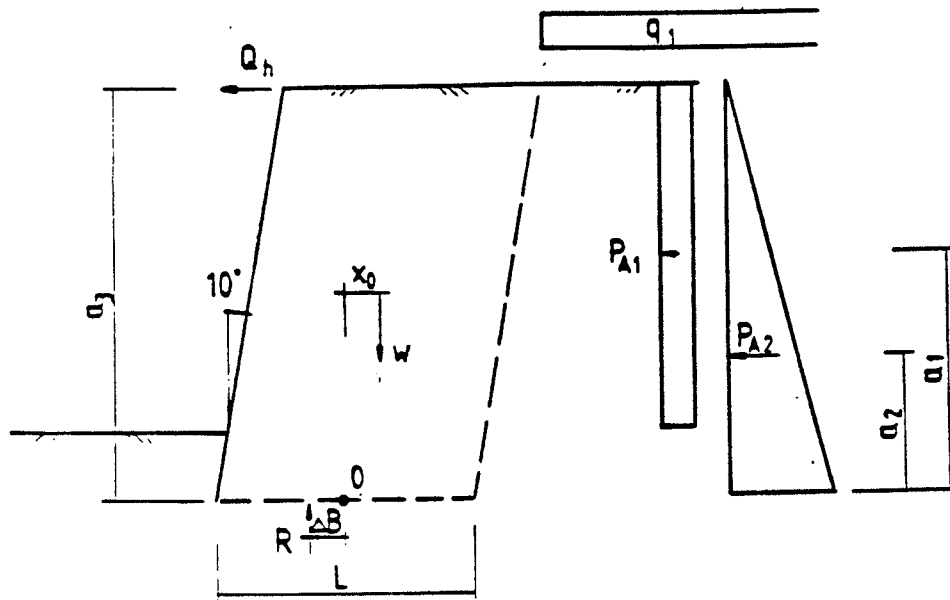


Fig. 16.48 YTRE STABILITET

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. Drenerert 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:

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

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

Kontroll av grunnens bæreevne:

Vekt av jordlegemet:

$$W = \gamma \cdot H \cdot L = 19 \cdot 5 \cdot 4,0 = 456 \text{ kN}$$

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 O 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:

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

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

For  $r = 0,61$  og  $\tan \phi = 0,5$  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:

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

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

$c_v > q_v$ , 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:

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

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.

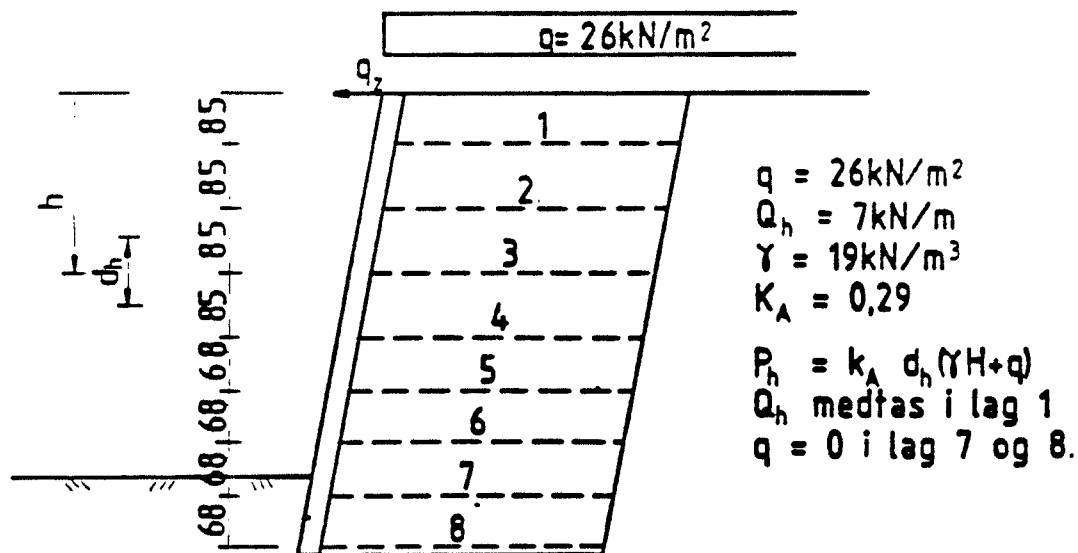


Fig. 16.49 FORDELING AV ARMERINGSLAG

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

$$I_{d_h} = 6,00$$

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:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1/2 (90 - \rho - \beta) \quad \text{når } \beta = 0, \text{ se (16-4)} \\ &= 1/2 (90 - 20 - 10) = 26^\circ \end{aligned}$$

Bredde av jordkile ved armeringslag 1:

$$\begin{aligned} L_1 &= h [\tan(\alpha + \delta) - \tan \delta] \\ &= 5,35 [\tan(26 + 10) - \tan 10] = 2,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Forankringslengden for lag 1:

$$\begin{aligned} L_{r1} &= \frac{P_h}{2\alpha (\gamma h_1 + q) \tan \rho} \quad (16-4) \\ &= \frac{19}{2 \cdot 0,95 \cdot 38,3 \cdot 0,56} = 0,47 \end{aligned}$$

Forankringslengden skal likevel ikke være mindre enn:

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

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

$$L = L_1 + L_{r1} = 2,9 + 1,0 = 3,9 \text{ m}$$

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

## GEONETT.XLS

ARMOD							
OPPDRAG :	EKSEMPEL ARMERT JORD STØTTEMUR			DATE :			
PROFIL NR. :				SIGN. :			
KOMMENTAR :	EKS. 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:	Tyngdetetthet (kN/m <sup>3</sup> ):	19,00					
(armert):	Attraksjon (kPa):	0,00					
	Friksjonsvinkel :	38,00					
Bakfyllmasse:	Tyngdetetthet (kN/m <sup>3</sup> ):	19,00					
(uarmert):	Attraksjon (kPa):	0,00					
	Friksjonsvinkel :	38,00					
Undergrunn:	Tyngdetetthet (kN/m <sup>3</sup> ):	19,00					
	Attraksjon (kPa):	5,00					
	Friksjonsvinkel :	35,00					
Materialparametre armering geotekstiler eller stål:							
Materialkoeffisienter:	Generelt sikkerhetsnivå:	1,40					
	Holdbarhet :	1,10					
	Skader i anleggstiden :	1,30					
Karakteristisk langtidsstyrke fk (kN/m)		41,50	Stål :	0,00			
Reduksjonsfaktor alfa armering/jord		0,95					
Korngraderingstallet Cu = d60/d10		0,00					
Horisontal senteravstand Sh (m):	0,00	Bredde stålband (m) :	0,00				
Ytre påkjenning:							
Horisontallast Qh (kN/m):	5,00	Høyde	6,00				
Vertikal nyttelast q (kPa):	20,00						
Vindlast Pvind (kN/m):	0,00	Høyde	0,00				
Lastkoeffisienter bruddgrensetilstand:							
Vekt av jord :	1,00						
Nyttelast :	1,30						
Vind :	1,60						
Geometri:							
Helning foran fot alfa :	0,00						
Helning bak topp beta :	0,00	Avstand (m) :	0,00				
Helning vegg delta :	10,00						
Såledybde D (m):	1,00						
Totalhøyde H (m):	6,00						
BEREGNEDE DATA:							
Materialkoeffisient jordtrykk:	1,43						
Materialkoeffisient bæreevne :	1,40						
Materialkoeffisient armering :	2,00						
Materialparametre jord:	Jordtrykk	Bæreevne					
Fyllmasse	tan ro	0,55	0,56				
Bakfyllmasse	tan ro	0,55	0,56				
Undergrunn	tan ro	0,49	0,50				
Jordtrykk:							

## GEONETT.XLS

Hviletrykkskoeffisient Ko	:	0,47				
Jordtrykkskoeffisient Ka	:	0,35				
Korreksjonsfaktor hellende vegg Kd	:	0,79				
Korrigert hviletrykkskoeffisient Kokorr:	:	0,37				
Korrigert jordtrykkskoeffisient Kakorr:	:	0,28				
Jordtrykk nyttelast Pa1 (kN/m):	:	36,18				
Jordtrykk fra tyngde av jord Pa2 (kN/m):	:	95,19				
Ytre stabilitet:						Eget valg I
Vinkel alfa fig.16.15	:	25,66				
Nødvendig bredde armert legeme L (m):	:	4,25				4,00
Glidning nedre armeringslag rb	:	0,57				
Glidning mot naturlig grunn rb	:	0,58				
Nyttig bredde Bo (m):	:	3,50				Bæreevne mod. ok.
Kontroll mot brudd i tåen Bo/L	:	0,87				Krav: > 0,50
Ruhetsforholdet r	:	0,58				
Bæreevnefaktor Nq	:	6,78				
Bæreevnefaktor N-gamma	:	3,40				
Korrigeringsfaktorer for hellende terreng foran fot:						
Reduksjonsfaktor fsa	:	1,00				
Reduksjonsfaktor fsq	:	1,00				
Bæreevne sigma v (kPa):	:	211,19				
Vertikalt grunntrykk qv (kPa):	:	130,42				
Indre stabilitet:						
Samlet last på alle armeringslag (kN/m):	:	137,87				
Antall armeringslag :	:	6,65				
Lag	h	dh	(g*h+q)	Ph	fd	fd-Ph
1,00	0,65	1,08	38,35	17,97	20,73	2,75
2,00	1,50	0,85	54,50	12,89	20,73	7,84
3,00	2,35	0,85	70,65	16,71	20,73	4,01
4,00	3,20	0,77	86,80	18,48	20,73	2,25
5,00	3,88	0,68	99,72	18,87	20,73	1,86
6,00	4,56	0,68	112,64	21,32	20,73	-0,59
7,00	5,24	0,68	99,56	18,84	20,73	1,89
8,00	5,92	0,42	112,48	13,15	20,73	7,58
9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sum		6,00				
Kontroll nødvendig armeringslengde:						
Bredde av jordkile lag 1 L1 (m):	:	2,90				Minstekrav:
Forankringslengde Lf (m):	:	0,44				Lf >= 1.0 m
Nødvendig bredde L (m):	:	3,90				

#### 4.4 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))

$$\gamma_{s1} = 1.4, \quad \gamma_{s2} = 1.1, \quad \gamma_{s3} = 1.3$$

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

##### 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.

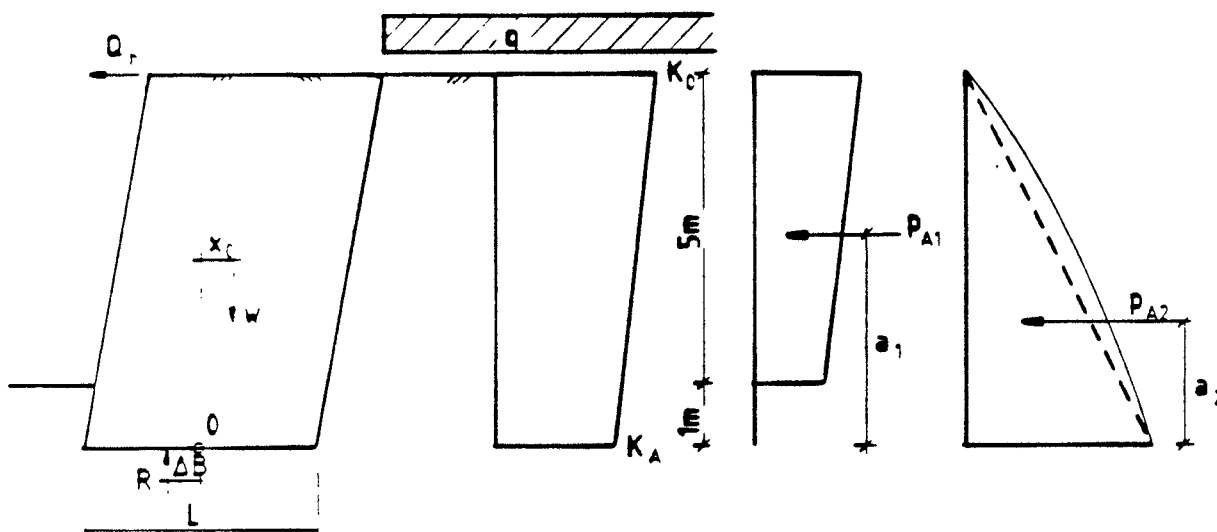


Fig.5.1 Jordtrykksfordeling ved "Coherent Gravity"-metoden

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  $\gamma_r = \gamma_s = 2.0$ ):

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>:

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

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

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

$$= 24.9 \text{ kN}$$

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

Stål-bånd 60 x 5 mm<sup>2</sup>:

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

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

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

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

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  $P_h = K \cdot d_h \cdot (\gamma \cdot h_1 + q) \leq f_d$ . Forslag til fordeling av armering er vist i fig.5.2.

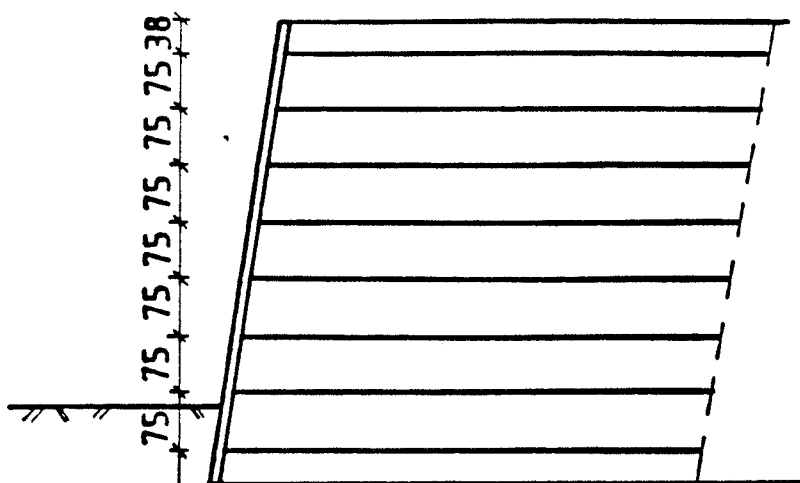


Fig.5.2 Fordeling av armering.

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.

## STÅL.XLS

ARMOD								
OPPDRAG :	ARMERT JORD STØTTEMUR						DATE :	
PROFIL NR. :						SIGN. :		
KOMMENTAR :	EKS. I PKT.16.9 I (1)							
	MED STÅLBÅND SOM ARMERING							
INNGANGSDATA:								
Materialparametre jord:								
Materialkoeffisient se fig. 16.38 :						1,40		
Mobiliseringsgrad se pkt. 0.3.6 :						0,70		
Fyllmasse:	Tyngdetetthet (kN/m <sup>3</sup> ):					19,00		
(armert)	Attraksjon (kPa):					0,00		
	Friksjonsvinkel :					38,00		
Bakfyllmasse:	Tyngdetetthet (kN/m <sup>3</sup> ):					19,00		
(uarmert)	Attraksjon (kPa):					0,00		
	Friksjonsvinkel :					38,00		
Undergrunn:	Tyngdetetthet (kN/m <sup>3</sup> ):					19,00		
	Attraksjon (kPa):					5,00		
	Friksjonsvinkel :					35,00		
Materialparametre armering geotekstiler eller stål:								
Materialkoeffisienter:	Generelt sikkerhetsnivå:					1,40		
	Holdbarhet :					1,10		
	Skader i anleggstiden :					1,30		
Karakteristisk langtidsstyrke fk (kN/m)					0,00	Stål :	49,80	
Reduksjonsfaktor alfa armering/jord						1,20		
Korngraderingstallet Cu = d60/d10						10,00		
Horisontal senteravstand Sh (m):	0,75	Bredde stålbånd (m) :	0,06					
Ytre påkjenning:								
Horisontallast Qh (kN/m):	5,00	Høyde	6,00					
Vertikal nyttelast q (kPa):	20,00							
Vindlast Pvind (kN/m):	0,00	Høyde	0,00					
Lastkoeffisienter bruddgrensetilstand:								
Vekt av jord	:	1,00						
Nyttelast	:	1,30						
Vind	:	1,60						
Geometri:								
Helning foran fot alfa	:	0,00						
Helning bak topp beta	:	0,00	Avstand (m) :	0,00				
Helning vegg delta	:	10,00						
Såledybde D (m):	1,00							
Totalhøyde H (m):	6,00							
BEREGNEDE DATA:								
Materialkoeffisient jordtrykk:	1,43							
Materialkoeffisient bæreevne :	1,40							
Materialkoeffisient armering :	2,00							
Materialparametre jord:								
Fyllmasse	tan ro	0,55	Jordtrykk	0,56	Bæreevne			
Bakfyllmasse	tan ro	0,55		0,56				
Undergrunn	tan ro	0,49		0,50				
Jordtrykk:								

Hviletrykkskoeffisient Ko	:	0,47				
Jordtrykkskoeffisient Ka	:	0,35				
Korreksjonsfaktor hellende vegg Kd	:	0,79				
Korrigert hviletrykkskoeffisient Kokorr:		0,37				
Korrigert jordtrykkskoeffisient Kakorr:		0,28				
Jordtrykk nyttelast Pa1 (kN/m):		42,10				
Jordtrykk fra tyngde av jord Pa2 (kN/m):		104,91				
Ytre stabilitet:						Eget valg !
Vinkel alfa fig.16.15	:	25,66				
Nødvendig bredde armert legeme L (m):		4,20				4,00
Glidning nedre armeringslag rb	:	0,27				
Glidning mot naturlig grunn rb	:	0,64				
Nyttig bredde Bo (m):		3,32				Bæreevne mod. ok.
Kontroll mot brudd i tåen Bo/L	:	0,83				Krav: > 0,50
Ruhetsforholdet r	:	0,65				
Bæreevnefaktor Nq	:	6,16				
Bæreevnefaktor N-gamma	:	2,96				
Korrigeringsfaktorer for hellende terreng foran fot:						
Reduksjonsfaktor fsa	:	1,00				
Reduksjonsfaktor fsq	:	1,00				
Bæreevne sigma v (kPa):		187,12				
Vertikalt grunntrykk qv (kPa):		137,33				
Indre stabilitet:						
Samlet last på alle armeringslag (kN/m):		153,51				
Antall armeringslag :		4,63				
Lag	h	dh	(g*h+q)	Ph	fd	fd-Ph
1,00	0,38	0,76	33,22	15,62	33,17	17,55
2,00	1,13	0,75	47,47	12,94	33,17	20,22
3,00	1,88	0,75	61,72	16,30	33,17	16,86
4,00	2,63	0,75	75,97	19,42	33,17	13,75
5,00	3,38	0,75	90,22	22,29	33,17	10,88
6,00	4,13	0,75	104,47	24,92	33,17	8,25
7,00	4,88	0,75	118,72	27,31	33,17	5,86
8,00	5,63	0,75	106,97	23,53	33,17	9,63
9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sum		6,00				
Kontroll nødvendig armeringslengde:						
Bredde av jordkile lag 1 L1 (m):		1,80				Minstekrav:
Forankringslengde Lf (m):		1,88				Lf >= 1.0 m
Nødvendig bredde L (m):		3,68				

## LITTERATURLISTE

1. Veglaboratoriet                      Håndbok 016  
Geoteknikk i vegbygging  
1990
2. Døssland, T.                            Forankring av støttekonstruksjoner  
med horisontale friksjonselement.  
Dr. Ing oppgave  
Inst. for geoteknikk, NIH  
1980
3. Aabø, R.  
Bruun, H.  
Granli, T.                                Setningsberegningsprogrammet  
SETNING-MAL  
Intern rapport nr.1447  
Veglaboratoriet 1990
4. Bruun, H.  
Vaslestad, J.                            ARMOD - Program for beregning  
av armert jord. Støttekonstruksjoner.  
Støttekonstruksjoner.
5. Microsoft                                Microsoft Excel  
User's Guide  
1990
6. Kirkebø, S.                             Revurdering av bæreevnefaktorene  
 $N_q$ ,  $N_\phi$  og  $N_c$  ved hjelp av  
spenningsfeltteori.  
Hovedoppgave  
Inst. for geoteknikk  
NIH 1986
7. Utvalg for  
armert jord                                Produktoversikt  
Rapport nr. 4  
Veglaboratoriet  
2. utg. 1990
8. Bruun, T.  
Vaslestad, J.                            Indre stabilitet i støtte-  
konstruksjoner av armert jord.  
Intern rapport nr. 1475  
Veglaboratoriet 1991
9. Janbu, N.  
Grande, L.  
Hjeldnes, E.I.                            Geotekniske beregningsmetoder  
Kompendium i fag 33525  
Geoteknikk 2 gk  
Inst. for geoteknikk  
NIH 1988
10. Nordal, S.                             Forelesningsnotater i fag  
33562 Teoretisk Geoteknikk vk  
Inst. for geoteknikk  
NIH 1989



ARMOD								
OPPDRAG :	VEDLEGG A					DATO :		
PROFIL NR. :						SIGN. :		
KOMMENTAR :	Nullstilt arbeidsark							
INNGANGSDATA:								
Materialparametre jord:								
Materialkoeffisient	se fig. 16.38	:	0,00					
Mobiliseringsgrad	se pkt. 0.3.6	:	0,00					
Fyllmasse:	Tyngdetetthet (kN/m <sup>3</sup> ):		0,00					
(armert)	Attraksjon (kPa):		0,00					
	Friksjonsvinkel :		0,00					
Bakfyllmasse:	Tyngdetetthet (kN/m <sup>3</sup> ):		0,00					
(uarmert)	Attraksjon (kPa):		0,00					
	Friksjonsvinkel :		0,00					
Undergrunn:	Tyngdetetthet (kN/m <sup>3</sup> ):		0,00					
	Attraksjon (kPa):		0,00					
	Friksjonsvinkel :		0,00					
Materialparametre armering geotekstiler eller stål:								
Materialkoeffisienter:	Generelt sikkerhetsnivå:		0,00					
	Holdbarhet :		0,00					
	Skader i anleggstiden :		0,00					
Karakteristisk langtidsstyrke fk (kN/m)			0,00	Stål :		0,00		
Reduksjonsfaktor alfa armering/jord		:	0,00					
Korngraderingstallet Cu = d60/d10		:	0,00					
Horisontal senteravstand Sh (m):	0,00			Bredde stålbånd (m) :		0,00		
Ytre påkjenning:								
Horisontallast Qh (kN/m):	0,00			Høyde		0,00		
Vertikal nyttelast q (kPa):	0,00							
Vindlast Pvind (kN/m):	0,00			Høyde		0,00		
Lastkoeffisienter bruddgrensetilstand:								
Vekt av jord	:		0,00					
Nyttelast	:		0,00					
Vind	:		0,00					
Geometri:								
Helning foran fot alfa	:		0,00					
Helning bak topp beta	:		0,00	Avstand (m) :		0,00		
Helning vegg delta	:		0,00					
Såledybde D (m):			0,00					
Totalhøyde H (m):			0,00					
BEREGNEDE DATA:								
Materialkoeffisient jordtrykk:			0,00					
Materialkoeffisient bæreevne :			0,00					
Materialkoeffisient armering :			0,00					
Materialparametre jord:								
Fyllmasse	tan ro		0,00	Jordtrykk		Bæreevne		
Bakfyllmasse	tan ro		0,00			0,00		
Undergrunn	tan ro		0,00			0,00		
Jordtrykk:								

Hviletrykkskoeffisient Ko	:	1,00				
Jordtrykkskoeffisient Ka	:	1,00				
Korreksjonsfaktor hellende vegg Kd	:	1,00				
Korrigert hviletrykkskoeffisient Kokorr:		1,00				
Korrigert jordtrykkskoeffisient Kakorr:		1,00				
Jordtrykk nyttelast Pa1 (kN/m):		0,00				
Jordtrykk fra tyngde av jord Pa2 (kN/m):		0,00				
<b>Ytre stabilitet:</b>						<b>Eget valg !</b>
Vinkel alfa fig.16.15	:	0,00				
Nødvendig bredde armert legeme L (m):		1,00			0,00	
Glidning nedre armeringslag rb	:	0,00				
Glidning mot naturlig grunn rb	:	0,00				
Nyttig bredde Bo (m):		1,00			Bæreevne mod. ok.	
Kontroll mot brudd i tåen Bo/L	:	1,00			Krav: > 0,50	
Ruhetsforholdet r	:	0,00				
Bæreevnefaktor Nq	:	1,00				
Bæreevnefaktor N-gamma	:	0,00				
Korrigeringsfaktorer for hellende terreng foran fot:						
Reduksjonsfaktor fsa	:	1,00				
Reduksjonsfaktor fsq	:	1,00				
Bæreevne sigma v (kPa):		0,00				
Vertikalt grunntrykk qv (kPa):		0,00				
<b>Indre stabilitet:</b>						
Samlet last på alle armeringslag (kN/m):		0,00				
Antall armeringslag :		0,00				
Lag	h	dh	(g*h+q)	Ph	fd	fd-Ph
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sum		0,00				
<b>Kontroll nødvendig armeringslengde:</b>						
Bredde av jordkile lag 1 L1 (m):		0,00				Minstekrav:
Forankringslengde Lf (m):		0,00				Lf >= 1.0 m
Nødvendig bredde L (m):		0,00				

## 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 ( $K_\lambda$ ). Tilnærmet kan settes:

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

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

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:

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

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

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

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

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





Stabilitetskriteriet fikk da følgende form.

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

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

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

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  $\tan \rho$ .

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

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

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

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

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

## VEDLEGG F

### REDUKSJONSFAKTORER VED BÆREEVNE.

Bæreevneformelen ved horisontalt terreng er:

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

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:

$$\sigma_v' = f_{s,q} (N_q \cdot p' + \frac{1}{2} N_\gamma \cdot \gamma' \cdot B_0) + (N_q \cdot f_{s,a} - 1)a \quad (\text{F-2})$$

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).