

## STATISKE BEREGNINGER FOR MURDAMMER, SAMMENLIGNING

Alle komponenter til gule kommentarer, endres for ulike variabler

Alle komponenter til blå kommentarer, er resultater for glidning og velting

$$h_{mur} := 10 \text{ m}$$

Damhøyde

$$fribord := 1 \text{ m}$$

Fribord

$$h := h_{mur} - fribord = 9 \text{ m}$$

Høyde vann

$$b_{topp} := 1 \text{ m}$$

Kronebredde

$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Tyngdetetthet vann

## HORISONTALE LASTER, faste for alle

### Vannlast

$$R_w := (\gamma_w \cdot h) = 90 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

trekantlast

$$V_h := \frac{(R_w \cdot h)}{2} = 405 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Punktlast vann

$$h_w := \frac{h}{3} = 3 \text{ m}$$

Plassering

### Islast

$$R_{is} := 100 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Islast

$$h_{is} := 0.25 \text{ m}$$

Islast plassering fra vannhøyde og ned

$$h_{ismoment} := h - h_{is} = 8.75 \text{ m}$$

Islast høyden:  
vil få momentarm fra bunn og opp,

## VINKLER FOR GLIDNINGSBEREGNING

$\varphi := 33^\circ$  Friksjonsvinkel

$\alpha := 0^\circ$  Glideplan helningsvinkel

$c := 0$  Kohesjon

$cA := 0$  Areal = 0

Formler

$$S = \frac{F}{\sum H}$$

$$F = \frac{cA}{\cos \alpha (1 - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha)} + (N - U) \operatorname{tg}(\varphi + \alpha) \quad \rightarrow \quad F := \boxed{V_{fuk}} \cdot \tan(\varphi + \alpha) = ? \frac{kN}{m}$$

# Tørrmurt dam med mørtel som tetning

Forhold høyde:bredde  
1.5 : 1

## Vekt stein murdam

$$\gamma_s := 18 \frac{kN}{m^3} \quad \text{Tørrmurt dam med tilpasset stein i ytre og røysfylling indre}$$

## BREDDER på murdam

$$b_1 := h_{mur} = 10 \text{ m}$$

$$b_2 := b_{topp} = 1 \text{ m}$$

$$b_3 := \frac{h_{mur}}{1.5} = 6.667 \text{ m}$$

$$b_{tot} := b_1 + b_2 + b_3 = 17.667 \text{ m} \quad \text{Total bredde}$$

## VERTIKALE LASTER

Egenvekt murdam

plassering fra pkt. A

$$G_1 := \frac{b_1}{2} \cdot h_{mur} \cdot \gamma_s \cdot 1 = 900 \frac{kN}{m}$$

Trekant

$$p_{G1} := \frac{2 \cdot b_1}{3} = 6.667 \text{ m}$$

$$G_2 := b_2 \cdot h_{mur} \cdot \gamma_s \cdot 1 = 180 \frac{kN}{m}$$

Rektangel

$$p_{G2} := b_1 + \frac{b_2}{2} = 10.5 \text{ m}$$

$$G_3 := \frac{b_3}{2} \cdot h_{mur} \cdot \gamma_s \cdot 1 = 600 \frac{kN}{m}$$

Trekant

$$p_{G3} := \frac{b_3}{3} + b_2 + b_1 = 13.222 \text{ m}$$

$$G := G_1 + G_2 + G_3 = (1.68 \cdot 10^3) \frac{kN}{m}$$

**Total vekt for hele egenvekten: TRYKKSONE**

## Forholdstall vegg oppstrømsside

$$n := \frac{1}{1.5} = 0.667$$

## Vertikal vannlast

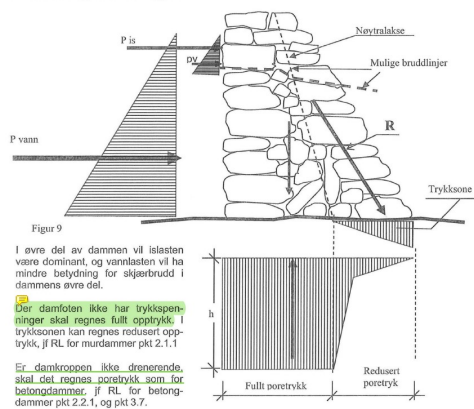
$$V_v := V_h \cdot n = 270 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

## plassering

$$b_v := b_{tot} - \frac{n \cdot h}{3} = 15.667 \text{ m}$$

## OPPDRIFT VANN/PORETRYKK

### 2.4 Laster og lastvirkninger



### 2.1.1 Poretrykk ved bruddgrensekontroll

#### 2.1.1.1 Fundamentering på fjell

Hvis oppstrøms tetning er effektiv og nedstrøms damkropp er drenerende, kan det regnes med redusert oppdrift som vist i figur 2.1. Det forutsettes da at dammen er drenert i en avstand tilsvarende  $\frac{1}{4}$  av oppstrøms vannstand,  $h$ , fra dammens vannside. Poretrykket i drenasjeplanet kan da forutsettes å være:

$$p_{dren} = k \cdot h \cdot \gamma_{vann} \quad (2.1)$$

Hvor:

- $p_{dren}$  er redusert poretrykk i en avstand  $\frac{1}{4} h$  fra dammens vannside
- $k$  er en faktor satt til  $\frac{1}{3}$  dersom forsøk, målinger eller annen dokumentasjon ikke gir grunnlag for å fastsette en annen verdi
- $h$  er oppstrøms vannstand [m]
- $\gamma_{vann}$  er tyngdetetthet til vann ( $10 \text{ kN/m}^3$ )

## FAKTORER FOR BEREGNING

$$k := \frac{1}{3} \quad h = 9 \text{ m} \quad \gamma_w = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad b_{tot} = 17.667 \text{ m}$$

- Hvis det dokumenteres at damkroppen er godt drenerende, kan poretrykket reduseres ytterligere ( $k < 0,33$ ) i forhold til figur 2.1.



## BEREGNING AV PORETRYKK

$$h_{op} := h \cdot \gamma_w = 90 \frac{kN}{m^2}$$

Fullt poretrykk

$$p_{dren} := k \cdot h \cdot \gamma_w = 30 \frac{kN}{m^2}$$

Redusert poretrykk, knekk

$$b_{pdren} := \frac{1}{4} \cdot h = 2.25 \text{ m}$$

Plassering redusert poretrykk

$$b_{resterende} := b_{tot} - b_{pdren} = 15.417 \text{ m}$$

Resterende bredde

$$diff := h_{op} - p_{dren} = 60 \frac{kN}{m^2}$$

Differanse mellom for å finne resterende poretrykk

*Punktlaster poretrykk, per meter*

*plassering fra pkt. A*

*form*

$$w_1 := p_{dren} \cdot b_{pdren} = 67.5 \frac{kN}{m}$$

$$p_1 := \frac{b_{pdren}}{2} + b_{resterende} = 16.542 \text{ m} \quad \text{Firkant}$$

$$w_2 := \frac{(diff \cdot b_{pdren})}{2} = 67.5 \frac{kN}{m}$$

$$p_2 := \frac{2 \cdot b_{pdren}}{3} + b_{resterende} = 16.917 \text{ m} \quad \text{Trekant}$$

$$w_3 := \frac{(p_{dren} \cdot b_{resterende})}{2} = 231.25 \frac{kN}{m}$$

$$p_3 := \frac{2 \cdot b_{resterende}}{3} = 10.278 \text{ m} \quad \text{Trekant}$$

$$w_{tot} := w_1 + w_2 + w_3 = 366.25 \frac{kN}{m}$$

Total poretrykk

## VERTIKALE LIKEVEKT

$$V_{fuk} := -G_1 - G_2 - G_3 - V_v + w_1 + w_2 + w_3 = -1.584 \cdot 10^3 \frac{kN}{m}$$

$$V_{fuk} := -V_{fuk} = (1.584 \cdot 10^3) \frac{kN}{m}$$

## HORISONTAL LIKEVEKT

$$\Sigma F_x := 0 \quad \text{Positiv retning } \rightarrow$$

$$H_{fuk} := V_h + R_{is} = 505 \frac{kN}{m}$$

## Sjekker for glidning

$$F := V_{fuk} \cdot \tan(\varphi + \alpha) = (1.028 \cdot 10^3) \frac{kN}{m}$$

$$S := \frac{F}{H_{fuk}} = 2.037$$

Resultat

$$S > 1.5 = 1$$

Glidningstabilitet OK hvis = 1

## MOMENTLIKEVEKT - beregning for velting

momentlikevekt om punktet A, nedstrømsstå, for å finne avstanden(x) til resultanten, R

Bruker alle komponentene som er i hfuk og vfuk for å beregne avstanden til resultanten av disse

Med avstand til punkt A

$$x := \frac{(G_1 \cdot p_{G1} + G_2 \cdot p_{G2} + G_3 \cdot p_{G3} + V_v \cdot b_v) - (w_1 \cdot p_1 + w_2 \cdot p_2 + w_3 \cdot p_3) - (R_{is} \cdot h_{ismoment} + V_h \cdot h_w)}{V_{fuk}} = 8.416 \text{ m}$$

$$x = 8.416 \text{ m}$$

Resultat

x = avstanden til resultanten (ikke Vfuk)

$$x \geq \frac{b_{tot}}{3} = 1$$

hvis = 1, veltestabilitet OK

$$\frac{b_{tot}}{3} = 5.889 \text{ m}$$

Krav

## MURDAM MED BETONGPLATE FRONT

Vann- og islast er lik som i tidligere oppgave  
da de skal ha samme størrelse

$$\gamma_s := 21 \frac{kN}{m^3} \quad \text{Tyngdetetthet stein}$$

### G4 dimensjoner

$$h_{G4} := h_{mur} = 10 \text{ m} \quad \text{høyde}$$

$$b_4 := b_{topp} = 1 \text{ m} \quad \text{bredde}$$

$$H_{GV} := 2 \text{ m} \quad \text{høyde på toppdel av betongplate, konstant 2 meter}$$

### G5 dimensjoner

$$h_{G5} := h_{G4} - H_{GV} = 8 \text{ m} \quad \text{høyde}$$

$$forhold := 1.7391 \quad \text{forholdstall}$$

$$b_5 := \frac{h_{G5}}{forhold} = 4.6 \text{ m} \quad \text{bredde}$$

$$b_{tot} := b_4 + b_5 = 5.6 \text{ m} \quad \text{total bredde}$$

### HORISONTALE LASTER

$$V_h = 405 \frac{kN}{m} \quad \text{Resultant vann, regnet tidligere i oppgaven}$$

$$h_w = 3 \text{ m} \quad \text{Plassering } R_w$$

$$R_{is} = 100 \frac{kN}{m} \quad \text{Istrykket resultat}$$

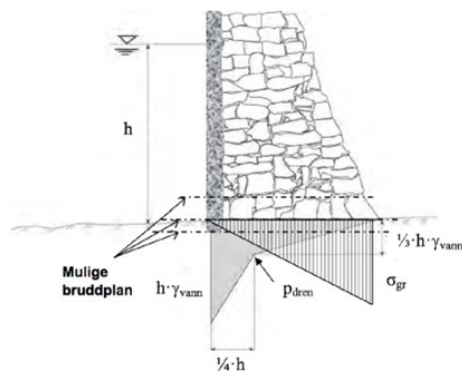
$$h_{ismoment} = 8.75 \text{ m} \quad \text{Plassering}$$

## VERTIKALE LASTER

Egenvekt	Plassering fra pkt.A	form
$G_4 := b_4 \cdot h_{mur} \cdot \gamma_s \cdot 1 = 210 \frac{kN}{m}$	$p_{G4} := \frac{b_4}{2} + b_5 = 5.1 \text{ m}$	Rektangel
$G_5 := (b_5 \cdot h_{G5} \cdot \gamma_s) \frac{1}{2} \cdot 1 = 386.407 \frac{kN}{m}$	$p_{G5} := \frac{2 \cdot b_5}{3} = 3.067 \text{ m}$	Trekant
$G_{tot} := G_4 + G_5 = 596.407 \frac{kN}{m}$		Sum egenvekt

## PORETRYKK

$h_{op} := h \cdot \gamma_w = 90 \frac{kN}{m^2}$	Fullt poretrykk
$b_{pdren} = 2.25 \text{ m}$	Redusert poretrykk, knekk
$p_{dren} = 30 \frac{kN}{m^2}$	Plassering redusert poretrykk
$b_{resterende2} := b_{tot} - b_{pdren} = 3.35 \text{ m}$	Resterende bredde
$diff = (6 \cdot 10^4) \text{ Pa}$	Differanse mellom for å finne resterende poretrykk



Figur 2.11: Poretrykk under tørrmurt dam med oppstrøms tetning på fjell med trykkspenninger i hele fundamentvversnittet [17].

<i>Punktlaster poretrykk, per meter</i>	<i>plassering</i>	<i>form</i>
$w_1 := p_{dren} \cdot b_{pdren} = 67.5 \frac{kN}{m}$	$p_{w1} := b_{tot} - \frac{b_{pdren}}{2} = 4.475 \text{ m}$	Firkant
$w_2 := \frac{(diff \cdot b_{pdren})}{2} = 67.5 \frac{kN}{m}$	$p_{w2} := b_{tot} - \frac{b_{pdren}}{3} = 4.85 \text{ m}$	trekant
$w_4 := \frac{(p_{dren} \cdot b_{resterende2})}{2} = 50.251 \frac{kN}{m}$	$p_{w4} := \frac{2 \cdot b_{resterende2}}{3} = 2.233 \text{ m}$	trekant
$w_{tot} := w_1 + w_2 + w_4 = 185.251 \frac{kN}{m}$		

Ettersom høyden på vannet alltid vil være likt ved sammenligning vil første del av poretrykket alltid bli likt, mens det gule vil variere basert på bredden til konstruksjonen. Beholder derfor w1 og w2 som samme og vil måtte beregne den gule trekanten på nytt ved hver ny konstruksjon

Vv = 0 fordi ingen vinkel på murdam

### **VERTIKALE LIKEVEKT**

$$V_{fuk} := G_5 + G_4 - w_1 - w_2 - w_4 = 411.156 \frac{kN}{m}$$

### **HORISONTAL LIKEVEKT**

$$\Sigma F_x := 0 \quad \text{Positiv retning ->}$$

$$H_{fuk} := V_h + R_{is} = 505 \frac{kN}{m}$$

## GLIDNING

$$F := V_{fuk} \cdot \tan(\varphi + \alpha) = 267.008 \frac{kN}{m}$$

$$S := \frac{F}{H_{fuk}} = 0.529$$

Resultat

$$S > 1.5 = 0 \quad \text{Glidningstabilitet OK hvis} = 1$$

## MOMENTLIKEVEKT - BEREGNING FOR VELTING

momentlikevekt om punktet A, nedstrømsstå, for å finne avstanden(x) til resultanten, R

$$x := \frac{(G_4 \cdot p_{G4} + G_5 \cdot p_{G5}) - (w_1 \cdot p_{w1} + w_2 \cdot p_{w2} + w_4 \cdot p_{w4}) - (R_{is} \cdot h_{ismoment} + V_h \cdot h_w)}{V_{fuk}} = -1.4 \text{ m}$$

$$x = -1.4 \text{ m}$$

Resultat

$$x \geq \frac{b_{tot}}{3} = 0$$

hvis = 1, veltestabilitet OK

$$\frac{b_{tot}}{3} = 1.867 \text{ m}$$

Krav

## Murdam med torvtetting

Grunnet konstruksjonens oppbygning vil ikke nedstrømsmuren oppta iskrefter.

$$\gamma_s = 21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{Tyngdetetthet stein}$$

$$\gamma_w = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{Tyngdetetthet vann}$$

$$\gamma_{\text{torv}} := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{Tyngdetetthet jord inklusivt vann}$$

$$\gamma'_{\text{torv}} := \gamma_{\text{torv}} - \gamma_w = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Faktorer for beregning

$$n := \frac{1}{5}$$

$$h = 9 \text{ m}$$

$$d := h_{\text{mur}} = 10 \text{ m}$$

$$k_0 := 0.5$$

## VERTIKALE LASTER

Egenvekt  $G$  av dam

$$b_6 := b_{\text{topp}} = 1 \text{ m}$$

$$b_7 := \frac{h_{\text{mur}}}{5} = 2 \text{ m}$$

$$b_{\text{tot}} := b_6 + b_7 = 3 \text{ m}$$

Total bredde

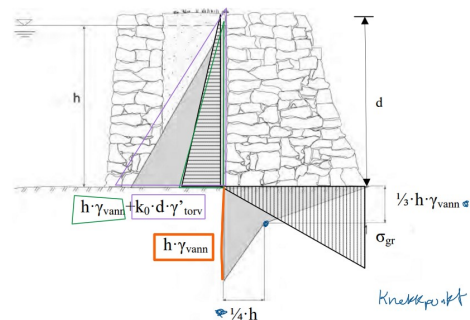
Kraft

$$G_6 := b_6 \cdot h_{\text{mur}} \cdot \gamma_s \cdot 1 = 210 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_7 := (b_7 \cdot h_{\text{mur}} \cdot \gamma_s) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 = 210 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_{\text{tot}} := G_6 + G_7 = 420 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Total egenvekt}$$

Der tetningen er beskyttet med en oppstrøms mur, må denne beregningsmessig være stabil ved nedtapping av magasinet. Ved kontrollen regnes tetningsmassen å være vannmettet til nivå med HRV. Sidetrykkskoeffisient  $k_0 = 0.5$  skal anvendes. Poretrykket i oppstrøms mur skal følge vannstandsenkningen i magasinet (muren regnes fullt drenerende). Oppstrøms mur, regnes å være stabil når resultatant av alle krefter faller innenfor murens oppstrøms tå, og når sikkerheten mot glidning,  $S_g$  er høyere enn 1,1.



Figur 2.2 Poretrykk under tørrmurte dammer på fjell med torvtetting eller annen løsmassetetting. Mot nedstrøms mur vil det i tillegg til vanntrykk også virke et jordtrykk fra tetningen.

Tyngdetetthet jord eksklusivt vann

### Oppdrift vann

$$h_{op} = 90 \frac{kN}{m^2}$$

Fullt poretrykk

$$p_{dren} = 30 \frac{kN}{m^2}$$

Redusert poretrykk, knekk

$$b_{pdren} = 2.25 \text{ m}$$

Plasseirng redusert poretrykk

$$b_{resterende3} := b_{tot} - b_{pdren} = 0.75 \text{ m}$$

Resterende bredde

$$diff := h_{op} - p_{dren} = 60 \frac{kN}{m^2}$$

Differanse mellom for å finne resterende poretrykk

### Kraft

*plassering fra pkt A*

$$w_1 = 67.5 \frac{kN}{m}$$

$$p_{w1} := \frac{b_{pdren}}{2} + b_{resterende3} = 1.875 \text{ m}$$

$$w_2 = 67.5 \frac{kN}{m}$$

$$p_{w2} := \frac{2 \cdot b_{pdren}}{3} + b_{resterende3} = 2.25 \text{ m}$$

$$w_5 := \frac{p_{dren} \cdot b_{resterende3}}{2} = 11.25 \frac{kN}{m}$$

$$p_5 := \frac{2 \cdot b_{resterende3}}{3} = 0.5 \text{ m}$$

$$w_{tot} := w_1 + w_2 + w_5 = 146.25 \frac{kN}{m}$$

### Horisontale laster

*Plassering*

$$torv := k_0 \cdot \gamma'_{torv} \cdot d = 50 \frac{kN}{m^2}$$

$$d = 10 \text{ m}$$

$$R_{torv} := \frac{(torv \cdot d)}{2} = 250 \frac{kN}{m}$$

$$h_t := \frac{d}{3} = 3.333 \text{ m}$$

$$V_h = 405 \frac{kN}{m}$$

$$h_w = 3 \text{ m}$$



## HORISONTAL LIKEVEKT

$$\Sigma F_x := 0 \quad \text{Positiv retning } \rightarrow$$

$$H_{fuk3} := V_h + R_{torv} + R_{is} = 755 \frac{kN}{m}$$

## VERTIKAL LIKEVEKT

$$V_{fuk} := G_6 + G_7 - w_1 - w_2 - w_5 = 273.75 \frac{kN}{m}$$

## Sjekker for glidning

$$F := V_{fuk} \cdot \tan(\varphi + \alpha) = (1.778 \cdot 10^5) \frac{kg}{s^2}$$

$$S := \frac{F}{H_{fuk3}} = 0.235$$

Resultat

$$S > 1.5 = 0$$

Glidningstabilitet OK hvis = 1

## MOMENTLIKEVEKT - BEREGNING FOR VELTING

momentlikevekt om punktet A, nedstrømsstå, for å finne avstanden(x) til resultanten, R

$$x := \frac{(G_6 \cdot p_{G6} + G_7 \cdot p_{G7}) - (w_1 \cdot p_{w1} + w_2 \cdot p_{w2} + w_5 \cdot p_5 + V_h \cdot h_w + R_{torv} \cdot h_t + R_{is} \cdot h_{ismoment})}{V_{fuk}} = -8.776 \text{ m}$$

x = avstanden til resultanten

$$x = -8.776 \text{ m}$$

Resultat

$$x \geq \frac{b_{tot}}{3} = 0$$

hvis = 1, veltestabilitet OK

$$\frac{b_{tot}}{3} = 1 \text{ m}$$

Krav

