

Oppdragsgiver: RH OPPMÅLING RUNE HEMNES

Oppdragsnr.: 52201808 Dokumentnr.: RIG-N01

Til: Rune Hemnes
Fra: Gunvar Mjølhus
Dato: 2022-03-07

► Fv. 4834 Salvøyvegen - vurdering murer

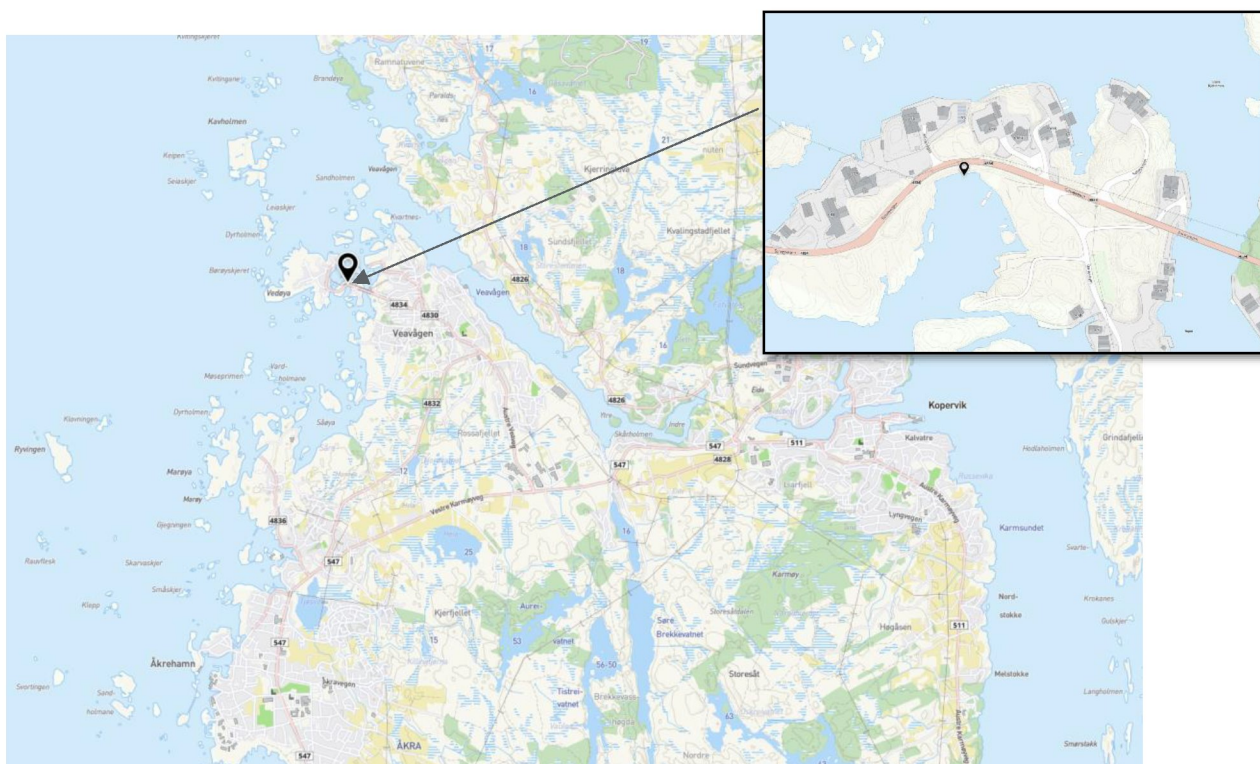
Innledning

Norconsult er engasjer av RH Oppmåling til å vurdere 3 tørrmurer ved Salvøy, Karmøy kommune, lang fv. 4834 Salvøyvegen. RH Oppmåling er engasjert til å utføre prosjektering av utbedring av 4834 Salvøyvegen. Utbedringen er et rekkefølgekrav (reguleringsplan) i forbindelse med etablering et gitt antall naust i samme område. RH Oppmåling er engasjert av utbyggerene for naustene.

Murene som er vurdert av Norconsult er:

- Mur 1 sørside (mot sjø) fra pel 35 til 120, ca. høyde 1,5m.
- Mur 2 nordside fra pel 42 til 61, ca. høyde 3m
- Mur 3 nordside fra pel 180 til 213, ca. høyde 0,8m

Rogaland Fylkeskommune har krevd dokumentasjon på at murene er dimensjonert av fagkyndig. Hensikten med dette notatet er gå gi en fagkyndig (geoteknisk) vurdering av de aktuelle murene.



Figur 1: Det aktuelle området, Salvøy, er merket med svart markør. Kilde: Kommunekart.com.

Prosjekteringsforutsetninger

Grunnlag fra oppdragsgiver

Dok/Tegn. Nr	Dok/Tegn. Navn	Datert
-	Forside Salvøyvegen	-
A001	Tegningsliste_Savøyvegen_rev8	-
C001_V1000	Plan og profil Søavøyvegen_rev_A	2021-03-19
F001	Normalprofil Salvøyvegen_rev_A	2021-03-19
F002	Overbygging Salvøyvegen_rev_0	2021-09-30
J001_V1000	Kantstein og mur. Salvøyvegen_rev_A	2021-03-19
U001_V1000	Tverrprofiler Salvøyvegen_rev_A	2021-03-19

Regelverk

Regelverk som gjelder for geoteknisk prosjektering, er gitt i:

- Håndbok N200 – Veibygging. Statens veivesen 2021
- Håndbok V220 – Geoteknikk i veibygging. Statens veivesen 2018

Håndbøkene oppfyller krav i Eurokodene og følger relevante Eurokoder for geoteknisk prosjektering

- NS-EN 1990-1:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode 0 - Grunnlag for dimensjonering av konstruksjon
- NS-EN 1990:2002/A1:2005+NA:2010, Endringsblad A1. Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
- NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016 Eurokode 7 - Geoteknisk prosjektering – Del 1: Allmenne regler
- NS-EN 1997-2:2007+NA:2008, Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering, Del 2: Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver
- NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2021 Eurokode 8 – Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning. Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger
- NS-EN 1998-5:2004+NA:2014 Eurokode 8 – Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning. Del 5: Fundamenter, støttekonstruksjoner og geotekniske forhold.

Forlag til klassifisering

Regelverk	Henvisning	Klassifisering
NS-EN 1990 (Eurokode 0)	Tabell NA.A1(901)	Konsekvens- og pålitelighetsklasse (CC/RC 1 – mur 1 og 3 CC/RC 2 – mur 2
NS-EN 1990 (Eurokode 0) Hb. N200, Vegbygging	Tabell NA.A1(902) tabell 203.1	Prosjekteringskontrollklasse PKK 1 – mur 1 og 3 PKK 2 – mur 2
NS-EN 1990 (Eurokode 0) Hb. N200, Vegbygging	Tabell NA.A1(903) Tabell 1.5	Utførelseskontrollklasse UKK 1 – mur 1 og 3 UKK 2 – mur 2
NS-EN 1997 (Eurokode 7)	2.1 Krav til prosjekteringen	Geoteknisk kategori 1

Sikkerhetsnivå ved geoteknisk prosjektering

Hb. N200 tabell 205.1 og 205.2 angir partialfaktorer for materiale. Følgende er lagt til grunne for de geotekniske beregningene i denne fagrapporten.

Tabell 0-1: Sikkerhetsnivå, geoteknisk prosjektering

Beregning	Konsekvens-klasse	Brudmekanisme	Partialfaktor for materiale, γ_M	
			totalspenning	effektivspenning
Natursteinsmur	2	Seigt	-	1,3

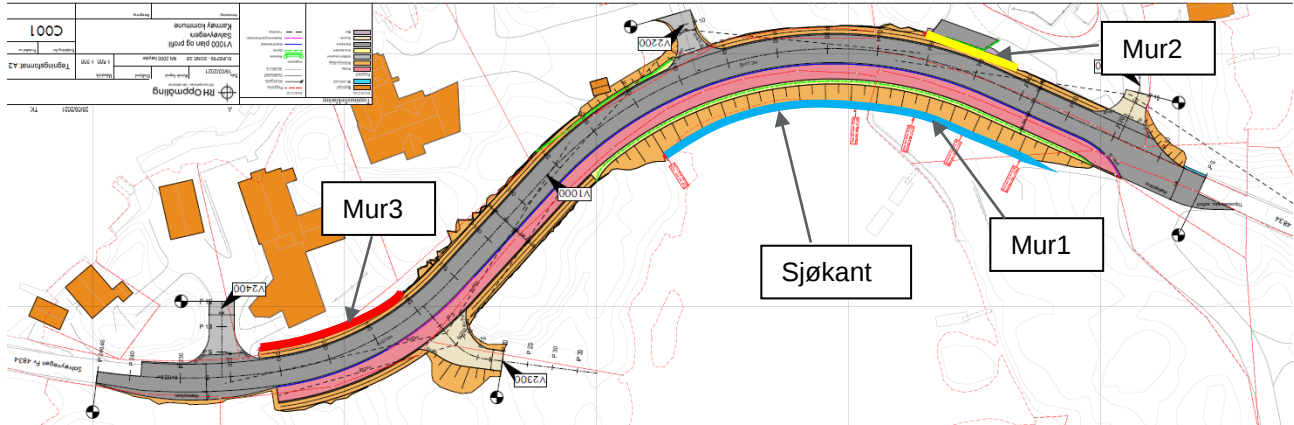
Beskrivelse av tiltak

Det skal etableres nye naust i sjøkanten i det aktuelle området. Se reguleringsplan, figur 2. I den forbindelse skal det etableres ny G/S langs fv. 4834 Salvøyveien. Dette innebærer noe breddeutvidelse på begge sider av dagens veitrase som krever 3 nye murer. Se figur 3 for oversikt og figur 4-6 for normalprofiler.

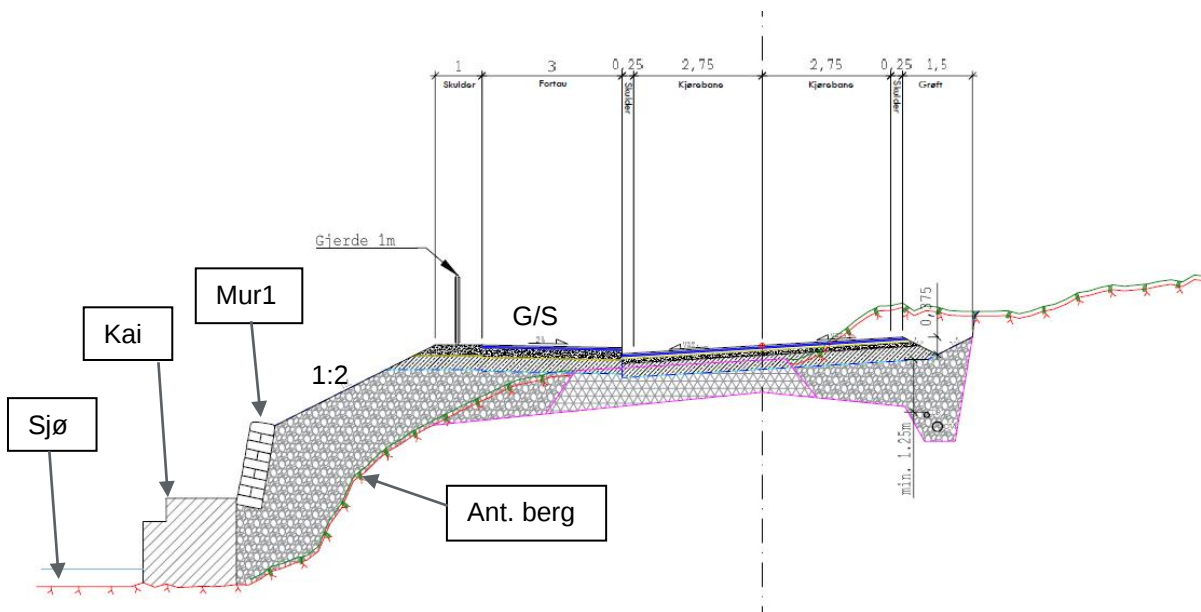
Mur	Pel	Høyde	Beskrivelse
Mur 1	35-120 (syd)	Ca. 1,5	Mur skal etableres på berg/kai i sjø. Det legges til grunn at kai etableres før mur, og kai etableres på berg (evt. sjøbunnsmateriale graves bort før etablering).
Mur 2	42-61 (nord)	Ca. 3,0	Det legges til grunn at mur etableres på berg.
Mur 3	180-213 (nord)	Ca. 0,8	Det legges til grunn at mur etableres på berg/sprengstein



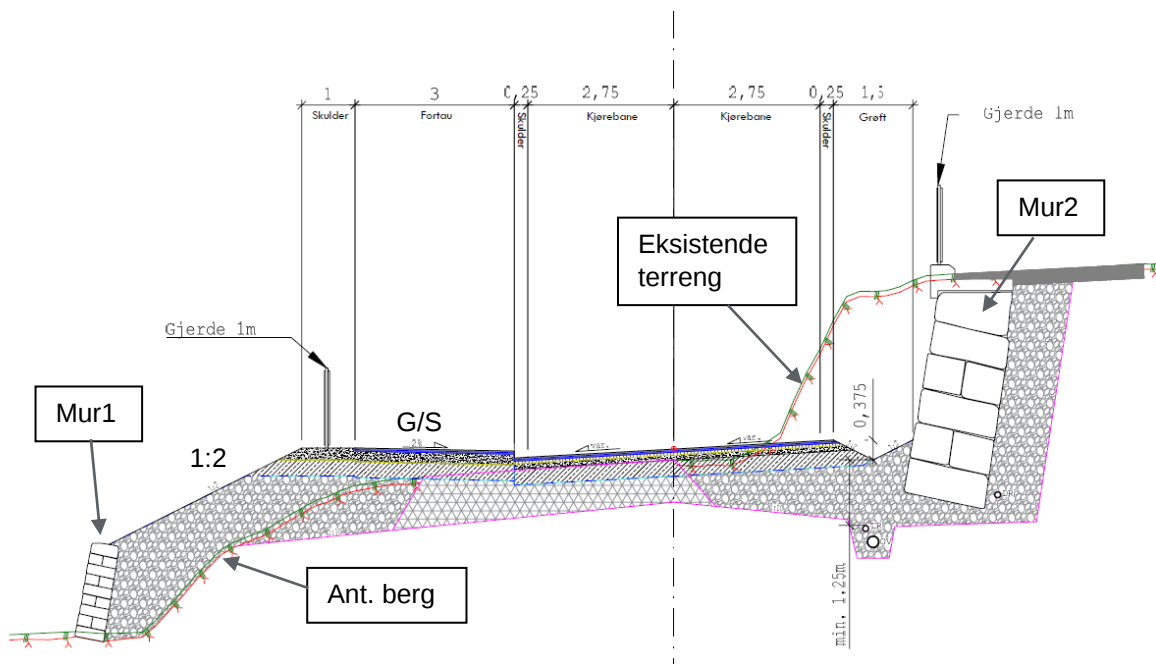
Figur 2: Reguleringsplan for det aktuelle området. Kilde: kommunekart.com



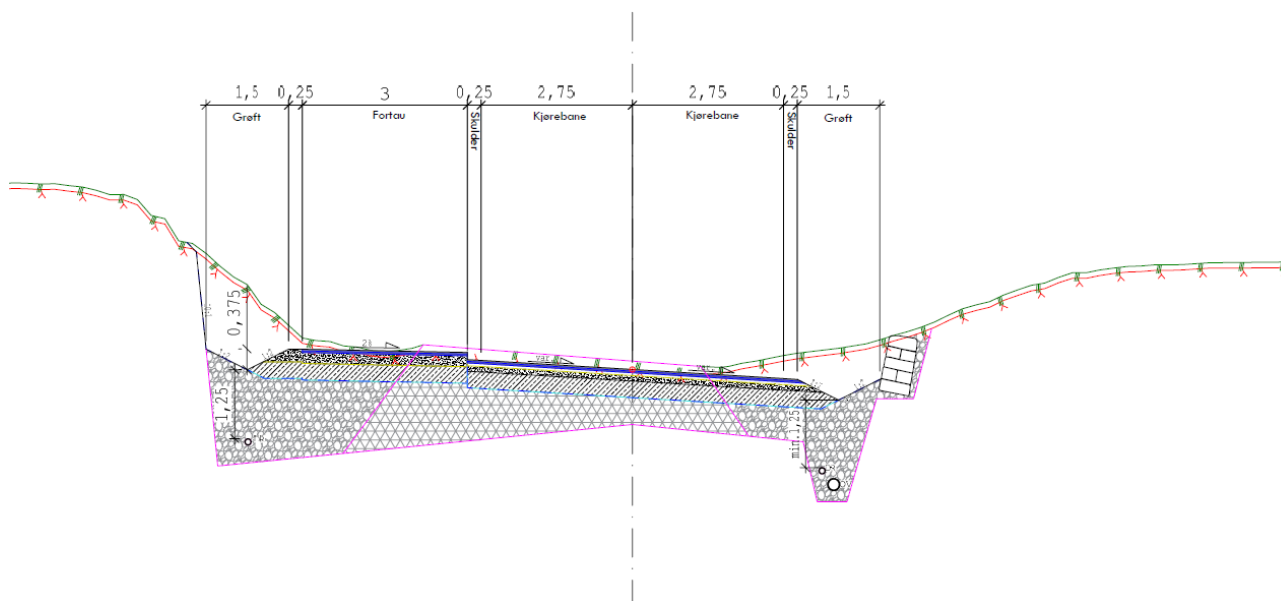
Figur 3: Murene angitt med fargede streker og tekst. Utklipp fra tegning C001, datert 2021-03-19 utarbeidet av RH Oppmåling. (Norconsults fremheving av murene).



Figur 4: Normalprofil for Mur 1 ved sjø. Mur 1 forutsetter etablert på kai. Kai etableres før mur. Det forutsettes at kai etableres på berg (evt. sjøbunnsmateriale graves bort).



Figur 5: Mur 1 tv. og mur 2 t.h. i et normalprofil (på land). Mur 1 og mur 2 ant. fundamentert på berg.



Figur 6: Mur 3 t.h. i normalprofil. Ant. etablert på berg.

Grunnforhold

Generell beskrivelse fra befaring

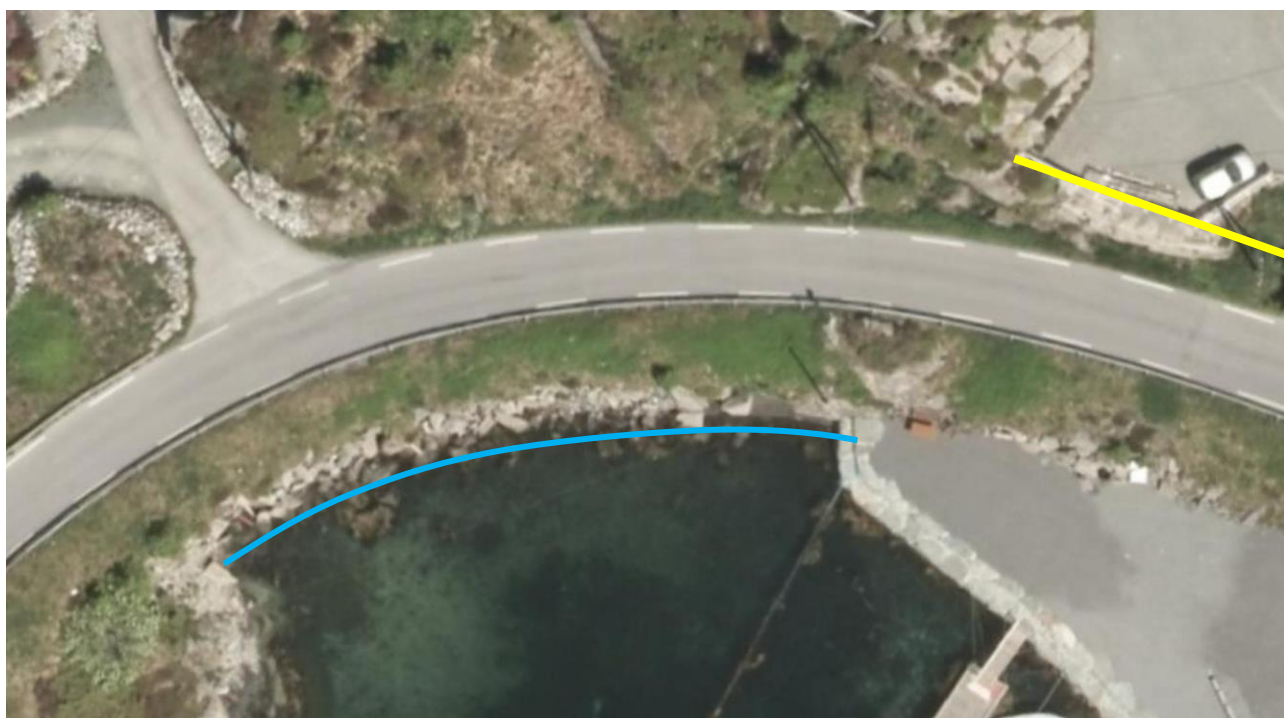
Det er utført befaring med visuell vurdering av grunnforholdene på stedet. Befaringen ble utført av Norconsult v/Gunvar Mjølhøus og RH Oppmåling v/ Rune Hemnes 2022-02-20. Norconsult vurderer visuell befaring som tilstrekkelig grunnlag for prosjektering på grunn av relativt enkle grunnforhold.

Generelt domineres området med et tynt løsmassedekke over berg. Veien er etablert på fyllmasser (ant. grov stein) over antatt berg.

Det er registrert grunn sjødybde og «finsand» på sjøbunnen hvor mur 1 skal etableres. Slike masser har generelt gode mekaniske egenskaper, men kan gi setninger på grunn av ant. høyt organisk innhold. Det forutsettes at sjøbunnen mudres til berg/meget faste masser før det etableres kai (figur 4).

Ved mur 2 er det allerede i dag en etablert tørrmur som støtter opp et parkeringsareal. Det er registrert berg i begge ender av muren. Ny mur skal etableres et stykke inn på parkeringsareal. Det er antatt at mur etableres på berg. Trolig vil det være behov for å ta ut berg for å oppnå ønske veibredde.

Ved mur 3 er det i dag etablert en skråning dekket med pukk/maskinkult. Skråningen støttet opp tilkomstvei for Salvøyvegen 81. Det er berg i dagen på begge sider av skråningen, og det er antatt at skråningen består av fyllmasser over berg. Skråningen er blitt dekket med pukk etter 2010. Foran mur skal det etableres en VA-grøft. Det antas at mur etableres på berg og at VA-grøft etableres i nedsprenget grøft.



Figur 7: Mur 1 (blå) i sjøkant og mur 2 (gul) omtrentlig tegnet inn i plan for orientering.

Notat

Oppdragsgiver: RH OPPMÅLING RUNE HEMNES

Oppdragsnr.: 52201808 Dokumentnr.: RIG-N01



Figur 8: Mur 1 t.v. (blå) og mur 2 (gul) t.h. omtrentlig tegnet inn for orientering.



Figur 9: Mur 3 omtrentlig tegnet inn med rød strek. Mur 3 skal etableres i en skråning dekket av pukk. Det er antatt skråningen består av fyllmasser etablert for tilkomstvei for Salvøyvegen 81.

Geotekniske material parameter

Natursteinsmurer fundamenteres direkte på berg, og med sprengstein bak natursteinsmur.

For tilførte, komprimerte masser, tas det utgangspunkt i håndbok V220 kapittel 2, figur 2.39 ved fastsettelse av styrkeparametere og egenvekt.

Tabell 2: Geotekniske materialparametre for beregninger

Jordart	Romvekt, γ (kN/m ³)	Friksjonsvinkel, ϕ (kPa)	Attraksjon (kPa)
Sprengstein, bak mur	19	40	5
Sprengstein, under mur	19	40	5

Selve natursteinsmuren er beregnet som en monolittisk konstruksjon med tyngdetetthet lik 22 kN/m³. Ytre geometri er fastsatt etter dimensjonene som er gitt av RH Oppmåling, og kontrollert av Norconsult.

Laster

Bak natursteinsmur brukes en generell terrenglast på 5 kPa med last koeffisient 1,3.

For mur 1 og 2 benyttes trafikklast for g/s på 10 kPa med last koeffisient 1,3. Denne adderes til øvrig «generell terrenglast» på 5*1,3 kPa.

For mur 3 benyttes en trafikklast for boogiekvivalentlast på 25 kPa med lastkoeffisient på 1,35. Denne adderes til øvrig «generell terrenglast» på 5*1,3 kPa.

Geotekniske beregning

Dimensjonering av natursteinsmurer ved portalene er utført med beregningsprogrammet Profinova – Tørrmurer programversjon 19.01 og 22.01. Programmet beregner stabilitet/bæreevne for en tørrmur fundamentert på løsmasser eller berg, og er basert på beregningsmetodikk gitt i Statens vegvesen Hb. V220 Geoteknikk i vegbygging.

For beregningsunderlag henvises det til vedlegg A-D.

Samtlige murer vist i tabell 4 har tilfredsstillende bæreevne og stabilitet. For kapasitetsutnyttelse henvises det til vedleggene.

Tabell 3: Beregnet dimensjoner for natursteinsmurer

Mur	Vedlegg	Pel	Grunnforhold	Helning	Maks høyde mur, H (m)**	Oppfylling i front, D (m)	Bunnbredde, Bb (m)	Toppbredde, Bt (m)
Mur 1, land	A	35-70 (syd)	Ant. berg	5:1	1,5	0	0,5	0,5
Mur 1, sjøkant	B	70-120 (syd)	Sprengstein*	5:1	1,5	0	0,5	0,5
Mur 2	C	42-61 (nord)	Ant. berg	5:1	3,5	0,5	1,0	1,0
Mur 3	D	180-213 (nord)	Ant. berg	5:1	0,8	0	0,5	0,5

*For mur1 etablert på kai i sjøkant antas det at kai etableres først, og at det er minimum 1 m fra kaifront til mur1. Videre forutsettes det at kaien etableres på berg og at det fylles opp med sprengstein i bakkant av kai.

** Høyde av mur gjelder fra overkant til underkant mur, ikke høyde av visflaten.

Kontroll av utførelse

Prosjekterende har følgende forslag til kontrollpunkter som bør innlemmes i kontroll av arbeidene:

Kontrollpunkt	Beskrivelse	Ansvarlig
Nedgravingsdybde	Det er forutsatt en viss nedgravingsdybde/oppfylling i front av mur 2. Det må følges kontroll av at denne nedgravingsdybden overholdes	Grunntreprenrør/byggeleder
Helning av mur	Det må foreligge kontroll av at mur-helningen er slik som angitt på arbeidstegninger	Grunntreprenrør/byggeleder
Murblokker	Det må kontrolleres at murblokkene som benyttes er iht. spesifikasjoner på arbeidstegninger. Dersom det ikke er øvrige spesifikasjoner på arbeidstegninger bør det som minimum kontrolleres at blokkene har relativt plane flater og at man oppnår god kontakt mellom ulike skift. Det skal ikke være store forskjeller i	Grunntreprenrør/byggeleder

	blokkstørrelse innad i muren. Runde eller av-runne blokker må ikke benyttes i muren.	
Forband	Det må kontrolleres at det er oppnådd godt forband i muren. Det skal ikke være kontinuerlige vertikale skift i muren. Overlapp mellom ulike skift bør ikke være mindre enn ca. 1/3 av murblokkenes bredde.	Grunntrepreneur/byggeleder
Underlag/avretting	Før plassering av nederste murskift må det føres visuell kontroll av at underlaget er slik som angitt på arbeidstegninger.	Grunntrepreneur/byggeleder

For mur 1 er det kontrollert er bæreevne og stabilitet vurdert. Muren er imidlertid ikke kontrollert for eventuelle laster fra bølger. Mur 1 kan med fordel ha større stein enn 0,5m i det nederste skiftet for å ta høyde for eventuelle bølger som slår opp på den fremtidige kaien.

Liste over vedlegg

Vedlegg A – Tørrmursberegning, Mur 1 fundamentert på berg

Vedlegg B – Tørrmursberegning, Mur 1 fundamentert på sprengstein

Vedlegg C – Tørrmursberegning, Mur 2

Vedlegg D – Tørrmursberegning, Mur 3

J01	2022-03-07	For bruk	Gunvar Mjøthus	Joakim Birkeland	Gunvar Mjøthus
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

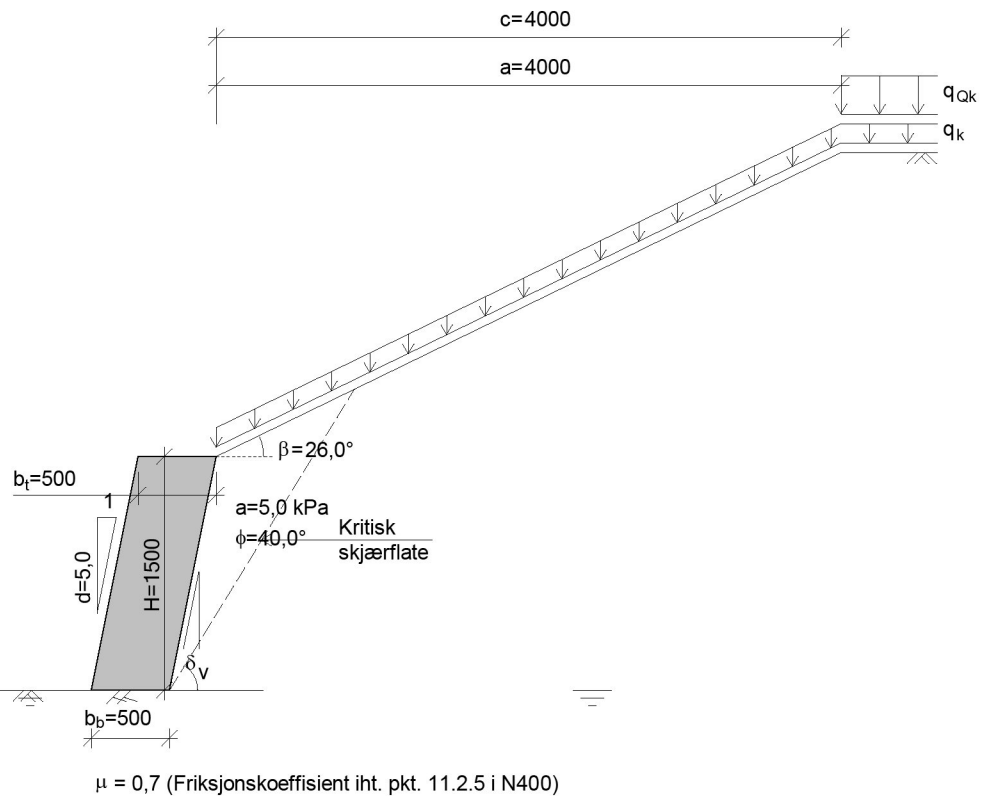
Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Vedlegg A - Tørrmur 1

Beregnet 2022-03-05 Kl.17:37:54
(Programversjon 22.01)

Inndata
(mål i mm)

Tyngdetetthet for masser
foran mur: $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$



Tyngdetetthet for mur: $\gamma_{mur} = 22,0 \text{ kN/m}^3$

Tyngdetetthet for masser bak mur: $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$

Konsekvensklasse: CC1 Mindre alvorlig

Bruddmekanisme: Nøytralt brudd

$\Rightarrow \gamma_m = 1,3$ (iht. Fig. 0.3 i Håndbok V220)

Ruhet for bakkant mur: $r_v = 0$

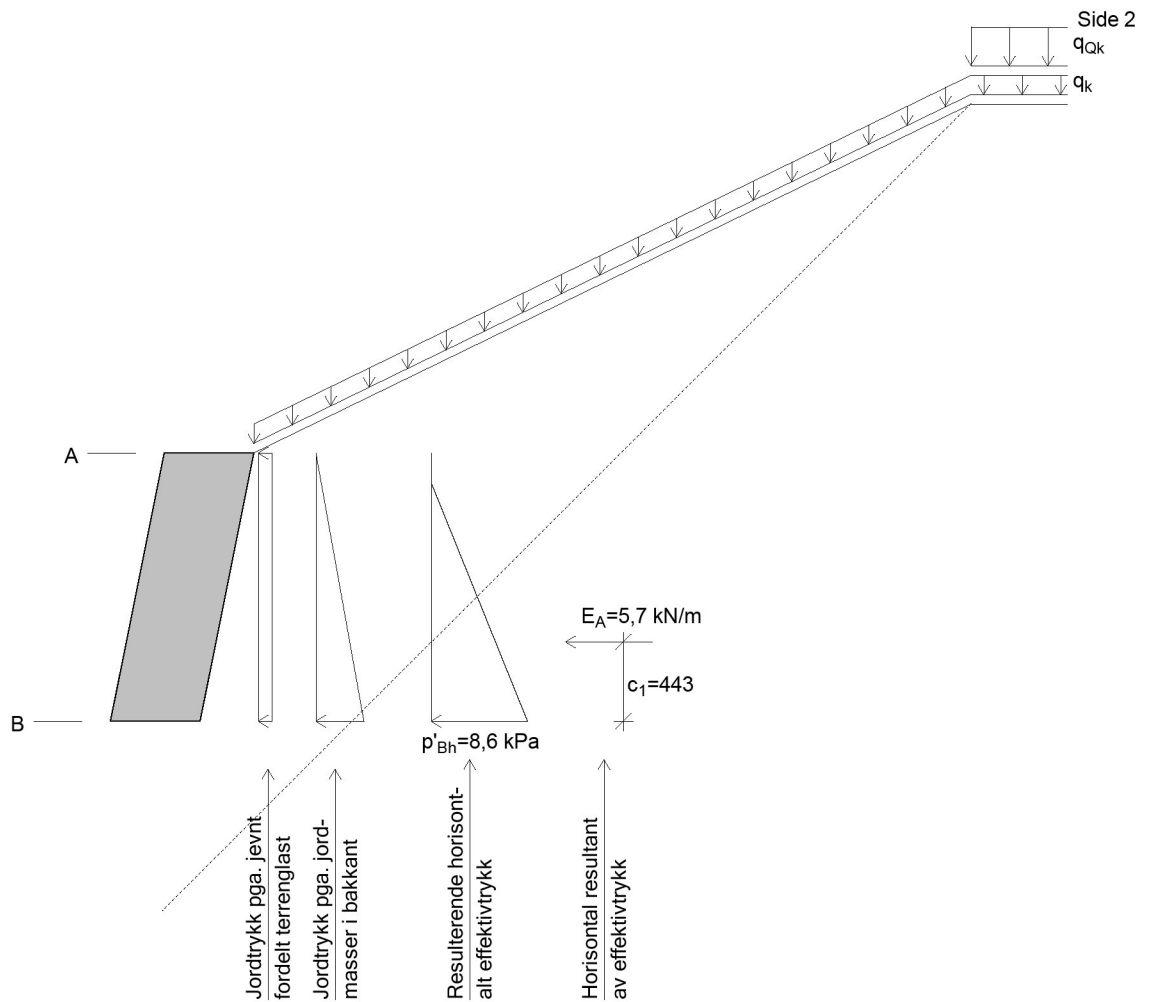
Helning av kritisk skjærflate settes lik:

$$v = 45 + \frac{\phi}{2} - \frac{\beta}{4} = 45 + \frac{40,0}{2} - \frac{26,0}{4} = 58,5^\circ$$

Bæreevne/grunntrykk beregnes for mur fundamentert direkte på berg.

Laster i bakkant	Lastfaktor (Bruddgrense)
$q_k = 5,0 \text{ kPa}$	1,30
$q_{Qk} = 25,0 \text{ kPa}$	1,35

Boggiequivallentlasten q_{Qk} blir tatt med i beregningene.



Lastspredning 1:1 for boggiekvivalentlasten mot bakkant mur er vist med skrå stiplede linje fra start lastutbredelse. Dette er iht. pkt. 3.3.3 (fig. 3.10) i NA-rundskriv 07/2015 (forskrift for trafikkklaster). Jordtrykket pga. boggiekvivalentlasten har sin maksimale verdi i topp, og går mot null ved dybde 5 m.

I dette tilfellet treffer lastspredningslinjen under uk mur, slik at boggiekvivalentlasten ikke belaster muren.

Boggiekvivalentlasten blir derfor ikke tatt med i beregningene. $r_v = 0$ (ruhet for beregning av jordtrykk)

$$\tan\phi_d = \tan\phi/\gamma_m = 0,84/1,3 = 0,65, \quad \phi_d = \arctan(0,65) = 32,8^\circ$$

Ved hellende terreng er jordtrykket for aktiv tilstand gitt ved:

$$p_A' + a = K_{\beta A} \cdot (p_v' + a) \quad (1)$$

$$s = \tan\beta/\tan\phi_d = 0,76, \quad t = (1+r_v) \cdot (1-s) = 0,24$$

$$\Rightarrow K_{\beta A} = 0,439 \text{ (iht. figur 5.5 i V220)}$$

$$\text{Murhelning bakkant: } d_b = \frac{H}{\frac{H}{d} + b_t - b_b} = \frac{1,500}{\frac{1,500}{5,0} + 0,500 - 0,500} = 5,0$$

$$\tan\delta = 1/d_b \Rightarrow \delta = \arctan(1/d_b) = 11,3^\circ$$

$$K_\delta = \frac{\cos^2(\delta + \phi_d)}{\cos^3\delta \cdot \cos^2\phi_d} = \frac{\cos^2(11,3^\circ + 32,8^\circ)}{\cos^3(11,3^\circ) \cdot \cos^2(32,8^\circ)} = 0,774$$

$$\text{Korrigert jordtrykksfaktor: } K_{A, \text{korr}} = K_\delta \cdot K_{\beta A} = 0,774 \cdot 0,439 = 0,340$$

Resulterende effektivt trykk i bakkant beregnes iht. ligning (1) ovenfor. Ved beregningsmessig negativt trykk (dvs. strekk), neglisjeres dette, og trykket settes lik 0.

Nivå A (topp mur)

$$\text{Vertikaltrykk: } p'_{Av} = q_k \cdot \gamma_{q1}$$

$$p'_{Av} = 5,0 \cdot 1,30 = 6,5 \text{ kPa}$$

$$K_{A, \text{korr}} \cdot (p'_{Av} + a) - a = 0,340 \cdot (6,5 + 5,0) - 5,0 = -1,1 \text{ kPa, dvs. } < 0$$

$$\text{Horisontaltrykk: Neglisjerer negativt jordtrykk, dvs. } p'_{Ah} = 0$$

Nivå B (bunn mur)

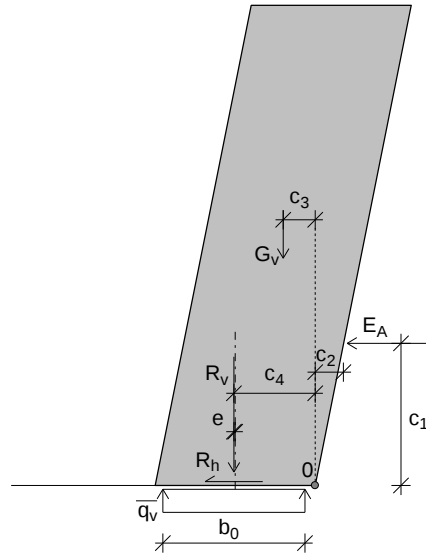
$$\text{Vertikaltrykk: } p'_{Bv} = 1,500 \cdot \gamma + q_k \cdot \gamma_{q1}$$

$$p'_{Bv} = 1,500 \cdot 19,0 + 5,0 \cdot 1,30 = 35,0 \text{ kPa}$$

$$\text{Horisontaltrykk: } p'_{Bh} = K_{A, \text{korr}} \cdot (p'_{Bv} + a) - a$$

$$p'_{Bh} = 0,340 \cdot (35,0 + 5,0) - 5,0 = 8,6 \text{ kPa}$$

Resultater - Bæreevne (målt i mm)



$$R_h = E_A = 5,7 \text{ kN/m}$$

$$G_v = 0,5 \cdot (b_b + b_t) \cdot H \cdot \gamma_{\text{mur}} = 0,5 \cdot (0,500 + 0,500) \cdot 1,500 \cdot 22,0 = 17 \text{ kN/m}$$

$$c_3 = \frac{1}{G_v} \cdot \left[\frac{H}{6} \cdot (b_b - b_t) \cdot \gamma_{\text{mur}} \cdot (b_b - b_t \cdot \frac{H}{d_b}) + H \cdot b_t \cdot \gamma_{\text{mur}} \cdot (b_b - \frac{1}{2} \cdot b_t \cdot \frac{H}{d}) \right]$$

$$\Rightarrow c_3 = \frac{1}{17} \cdot \left[\frac{1,500}{6} \cdot (0,500 - 0,500) \cdot 22,0 \cdot (0,500 - 0,500 \cdot \frac{1,500}{5,0}) + 1,500 \cdot 0,500 \cdot 22,0 \cdot (0,500 - \frac{1}{2} \cdot 0,500 \cdot \frac{1,500}{5,0}) \right] = 0,100 \text{ m}$$

$$T_A = 0 \text{ (Dvs. ingen skjærkraft i bakkant mur)}$$

$$c_2 = \frac{c_1}{d_b} = \frac{0,443}{5,0} = 0,089 \text{ m}$$

$$R_v = G_v + T_A = 17 \text{ kN/m}$$

Moment om pkt. 0:

$$M_0 = E_A \cdot c_1 + G_v \cdot c_3$$

$$M_0 = 5,7 \cdot 0,443 + 17 \cdot 0,100 = 4,2 \text{ kNm/m}$$

$$c_4 = M_0 / R_v = 4,2 / 17 = 0,253 \text{ m}$$

$$e = c_4 - 0,5 \cdot b_b = 0,253 - 0,5 \cdot 0,500 = 0,003 \text{ m}$$

$$e < b_b / 6 = 0,500 / 6 = 0,083 \text{ m (anbefalt maksimalverdi)}$$

\Rightarrow Beregnet eksentrisitet e er mindre enn anbefalt maksimalverdi

iht. Håndbok V220 pkt. 9.3.2 i), dvs. OK

$$b_0 = 0,9 \cdot b_b - 2 \cdot e = 0,9 \cdot 0,500 - 2 \cdot 0,003 = 0,444 \text{ m}$$

$$\bar{q}_v = R_v / b_0 = 17 / 0,444 = 37 \text{ kN/m}^2$$

Kontroll mot glidning :

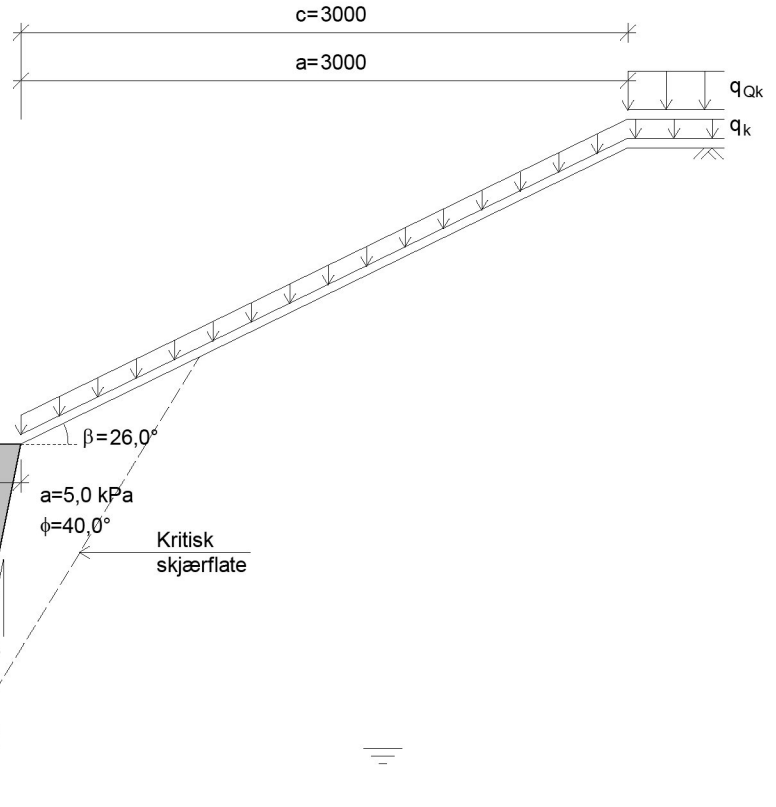
Iht. håndbok N400 (pkt. 11.2.5) skal følgende betingelse være oppfylt (for én-aksial tilstand):

$$R_h \leq \mu \cdot R_v$$

$$\mu \cdot R_v = 0,7 \cdot 17 = 12 \text{ kN/m} > 5,7 \text{ kN/m} \Rightarrow \text{OK !}$$

Beregnet 2022-03-05 Kl.17:50:09
(Programversjon 22.01)

Inndata
(mål i mm)



Tyngdetetthet for masser
foran mur: $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$

$$\begin{aligned} \gamma &= 19,0 \text{ kN/m}^3 & \tan\phi &= 0,84 \\ a &= 5,0 \text{ kPa} & \gamma_m &= 1,3 & r_{b\max} &= 0,80 \text{ (Maks. tillatt ruhet)} \end{aligned}$$

Tyngdetetthet for mur: $\gamma_{\text{mur}} = 22,0 \text{ kN/m}^3$

Tyngdetetthet for masser bak mur: $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$

Konsekvensklasse: CC1 Mindre alvorlig

Bruddmekanisme: Nøytralt brudd

$\Rightarrow \gamma_m = 1,3$ (iht. Fig. 0.3 i Håndbok V220)

Ruhet for bakkant mur: $r_v = 0,01$

Helning av kritisk skjærflate settes lik:

$$v = 45 + \frac{\phi}{2} - \frac{\beta}{4} = 45 + \frac{40,0}{2} - \frac{26,0}{4} = 58,5^\circ$$

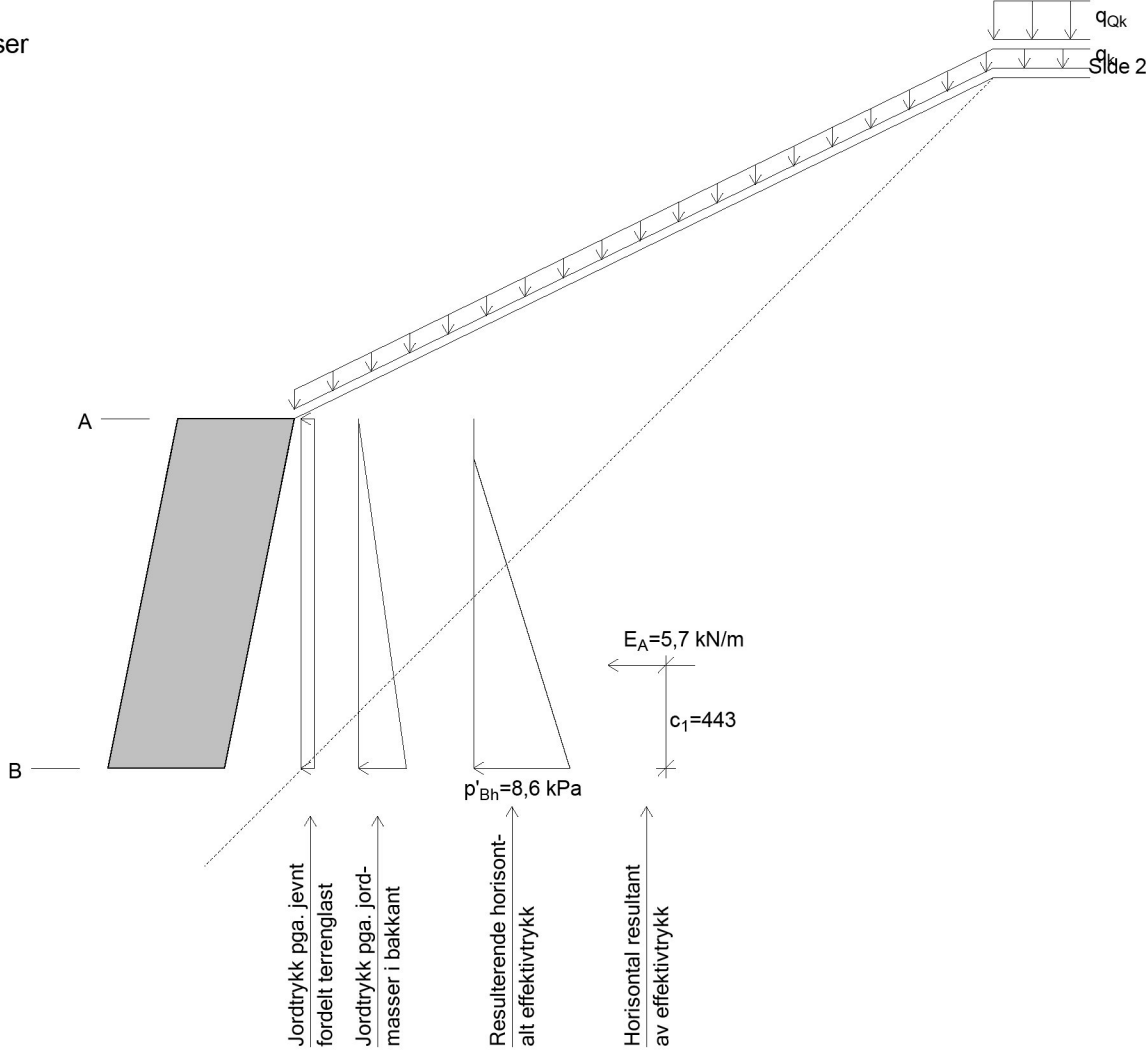
Bæreevnen beregnes for antatt homogen undergrunn.

Bæreevnen regnes dykket, dvs. kritisk skjærflate antas å gå gjennom masser som ligger under grunnvannsstanden.

Laster i bakkant	Lastfaktor (Bruddgrense)
$q_k = 5,0 \text{ kPa}$	1,30
$q_{Qk} = 10,0 \text{ kPa}$	1,30

Boggiequivallentlasten q_{Qk} blir tatt med i beregningene.

Jordtrykk
(mål i mm)



Lastspredning 1:1 for boggiekvivalentlasten mot bakkant mur er vist med skrå stiplede linje fra start lastutbredelse. Dette er iht. pkt. 3.3.3 (fig. 3.10) i NA-rundskriv 07/2015 (forskrift for trafikklaster). Jordtrykket pga. boggiekvivalentlasten har sin maksimale verdi i topp, og går mot null ved dybde 5 m. I dette tilfellet treffer lastspredningslinjen under uk mur, slik at boggiekvivalentlasten ikke belaster muren. Boggiekvivalentlasten blir derfor ikke tatt med i beregningene. $r_v = 0,01$ (ruhet for beregning av jordtrykk)

$$\tan\phi_d = \tan\phi/\gamma_m = 0,84/1,3 = 0,65, \quad \phi_d = \arctan(0,65) = 32,8^\circ$$

Ved hellende terreng er jordtrykket for aktiv tilstand gitt ved:

$$p_A' + a = K_{\beta A} \cdot (p_v' + a) \quad (1)$$

$$s = \tan\beta/\tan\phi_d = 0,76, \quad t = (1+r_v) \cdot (1-s) = 0,25$$

$$\Rightarrow K_{\beta A} = 0,438 \text{ (iht. figur 5.5 i V220)}$$

$$\text{Murhelling bakkant: } d_b = \frac{H}{\frac{H}{d} + b_t - b_b} = \frac{1,500}{\frac{1,500}{5,0} + 0,500 - 0,500} = 5,0$$

$$\tan\delta = 1/d_b \Rightarrow \delta = \arctan(1/d_b) = 11,3^\circ$$

$$K_\delta = \frac{\cos^2(\delta + \phi_d)}{\cos^3\delta \cdot \cos^2\phi_d} = \frac{\cos^2(11,3^\circ + 32,8^\circ)}{\cos^3(11,3^\circ) \cdot \cos^2(32,8^\circ)} = 0,774$$

$$\text{Korrigert jordtrykksfaktor: } K_{A, \text{kor}} = K_\delta \cdot K_{\beta A} = 0,774 \cdot 0,438 = 0,339$$

Resulterende effektivt trykk i bakkant beregnes iht. ligning (1) ovenfor. Ved beregningsmessig negativt trykk (dvs. strekk), neglisjeres dette, og trykket settes lik 0.

Nivå A (topp mur)

$$\text{Vertikaltrykk: } p'_{Av} = q_k \cdot \gamma_{q1}$$

$$p'_{Av} = 5,0 \cdot 1,30 = 6,5 \text{ kPa}$$

$$K_{A, \text{kor}} \cdot (p'_{Av} + a) - a = 0,339 \cdot (6,5 + 5,0) - 5,0 = -1,1 \text{ kPa, dvs. } < 0$$

$$\text{Horisontaltrykk: Neglisjerer negativt jordtrykk, dvs. } p'_{Ah} = 0$$

Nivå B (bunn mur)

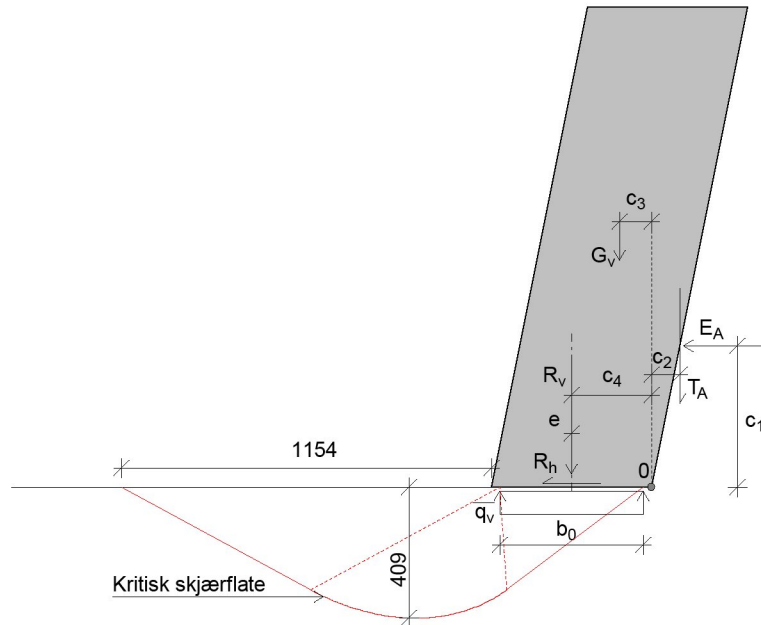
$$\text{Vertikaltrykk: } p'_{Bv} = 1,500 \cdot \gamma + q_k \cdot \gamma_{q1}$$

$$p'_{Bv} = 1,500 \cdot 19,0 + 5,0 \cdot 1,30 = 35,0 \text{ kPa}$$

$$\text{Horisontaltrykk: } p'_{Bh} = K_{A, \text{kor}} \cdot (p'_{Bv} + a) - a$$

$$p'_{Bh} = 0,339 \cdot (35,0 + 5,0) - 5,0 = 8,6 \text{ kPa}$$

Resultater - Bæreevne (mål i mm)



$$R_h = E_A = 5,7 \text{ kN/m}$$

$$G_v = 0,5 \cdot (b_b + b_t) \cdot H \cdot \gamma_{\text{mur}} = 0,5 \cdot (0,500 + 0,500) \cdot 1,500 \cdot 22,0 = 17 \text{ kN/m}$$

$$c_3 = \frac{1}{G_v} \cdot \left[\frac{H}{6} \cdot (b_b - b_t) \cdot \gamma_{\text{mur}} \cdot (b_b - b_t) \cdot \frac{H}{d_b} + H \cdot b_t \cdot \gamma_{\text{mur}} \cdot \left(b_b - \frac{1}{2} \cdot b_t - \frac{1}{2} \cdot \frac{H}{d} \right) \right]$$

$$\Rightarrow c_3 = \frac{1}{17} \cdot \left[\frac{1,500}{6} \cdot (0,500 - 0,500) \cdot 22,0 \cdot \left(0,500 - 0,500 - \frac{1,500}{5,0} \right) + 1,500 \cdot 0,500 \cdot 22,0 \cdot \left(0,500 - \frac{1}{2} \cdot 0,500 - \frac{1}{2} \cdot \frac{1,500}{5,0} \right) \right] = 0,100 \text{ m}$$

$$T_A = r_v \cdot \tan \phi_d \cdot \left(\frac{E_A}{H} + a \right) \cdot H = 0,01 \cdot 0,65 \cdot \left(\frac{5,7}{1,500} + 5,0 \right) \cdot 1,500 = 0,1 \text{ kN/m}$$

$$c_2 = \frac{c_1}{d_b} = \frac{0,443}{5,0} = 0,089 \text{ m}$$

$$R_v = G_v + T_A = 17 + 0,1 = 17 \text{ kN/m}$$

Moment om pkt. 0:

$$M_0 = E_A \cdot c_1 - T_A \cdot c_2 + G_v \cdot c_3$$

$$M_0 = 5,7 \cdot 0,443 - 0,1 \cdot 0,089 + 17 \cdot 0,100 = 4,2 \text{ kNm/m}$$

$$c_4 = M_0 / R_v = 4,2 / 17 = 0,251 \text{ m}$$

$$e = c_4 - 0,5 \cdot b_b = 0,251 - 0,5 \cdot 0,500 = 0,001 \text{ m}$$

$$e < b_b / 6 = 0,500 / 6 = 0,083 \text{ m (anbefalt maksimalverdi)}$$

\Rightarrow Beregnet eksentrisitet e er mindre enn anbefalt maksimalverdi

iht. Håndbok V220 pkt. 9.3.2 i), dvs. OK

$$b_0 = 0,9 \cdot b_b - 2 \cdot e = 0,9 \cdot 0,500 - 2 \cdot 0,001 = 0,448 \text{ m}$$

$$\bar{q}_v = R_v / b_0 = 17 / 0,448 = 37 \text{ kN/m}^2$$

Beregning av bæreevne (effektivspenningsanalyse):

$$\text{Krav 1: } r_b \leq r_{b\text{max}} = 0,80, \quad r_b = \frac{R_h}{b_0 \cdot (q_v + a) \cdot \tan \phi_d}, \quad a = 5 \text{ kPa}$$

$$\tan \phi_d = \tan \phi / \gamma_m = 0,84 / 1,3 = 0,65 \Rightarrow r_b = \frac{5,7}{0,448 \cdot (37 + 5) \cdot 0,65}$$

$$r_b = 0,47 < r_{b\text{max}} \Rightarrow \text{krav 1 er OK!}$$

$$\text{Krav 2: } \bar{\sigma}_v \leq \bar{\sigma}_v = N_q \cdot (p' + a) + \frac{1}{2} N_\gamma \cdot \gamma' \cdot b_0 - a$$

$$p' = 19,0 - 0,00 = 9,0 - 0,00 = 0,0 \text{ kN/m}^2$$

$$N_q = 13,0, \quad N_\gamma = 10,0, \quad \gamma' = 19,0 - 10 = 9,0 \text{ kN/m}^3 \text{ (dykket)}$$

$$\bar{\sigma}_v = 80 \text{ kN/m}^2 > \bar{q}_v \Rightarrow \text{krav 2 er OK!}$$

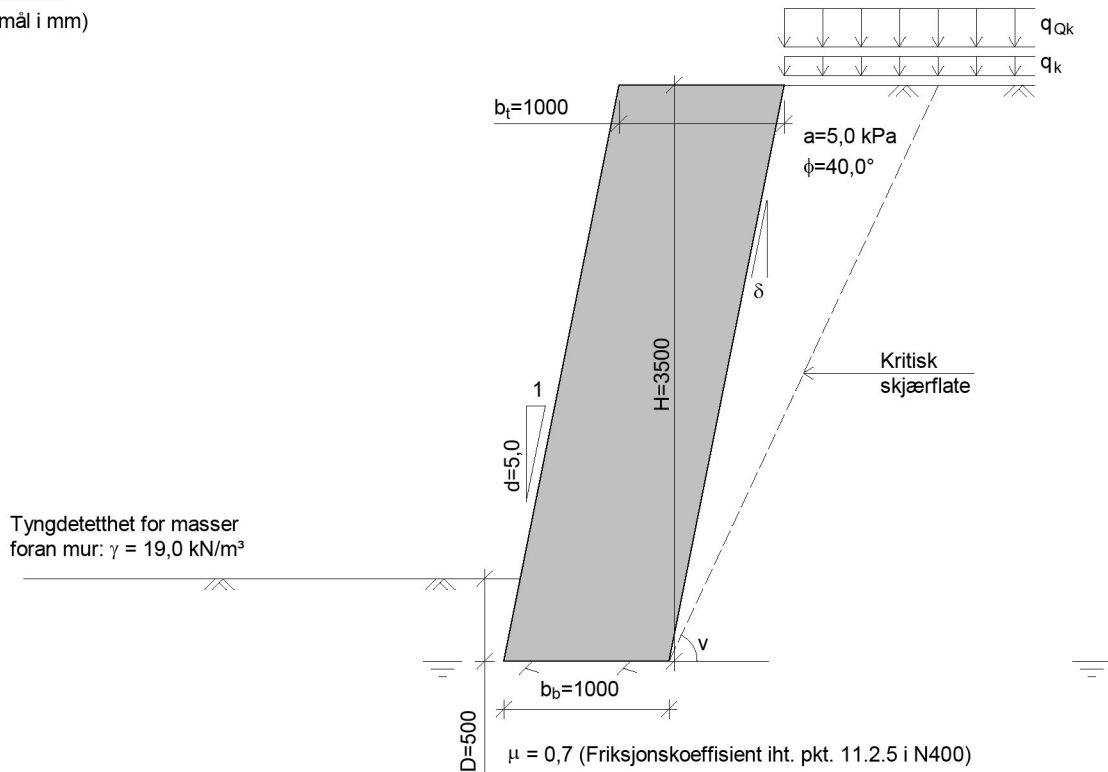
$$\bar{q}_v / \bar{\sigma}_v = 0,46$$

Vedlegg C - Mur 2

Beregnet 2022-03-05 Kl.18:04:21
(Programversjon 22.01)

Inndata

(mål i mm)



Tyngdetetthet for mur: $\gamma_{\text{mur}} = 22,0 \text{ kN/m}^3$

Tyngdetetthet for masser bak mur: $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$

Konsekvensklasse: CC1 Mindre alvorlig

Bruddmekanisme: Nøytralt brudd

$\Rightarrow \gamma_m = 1,3$ (iht. Fig. 0.3 i Håndbok V220)

Ruhet for bakkant mur: $r_v = 0$

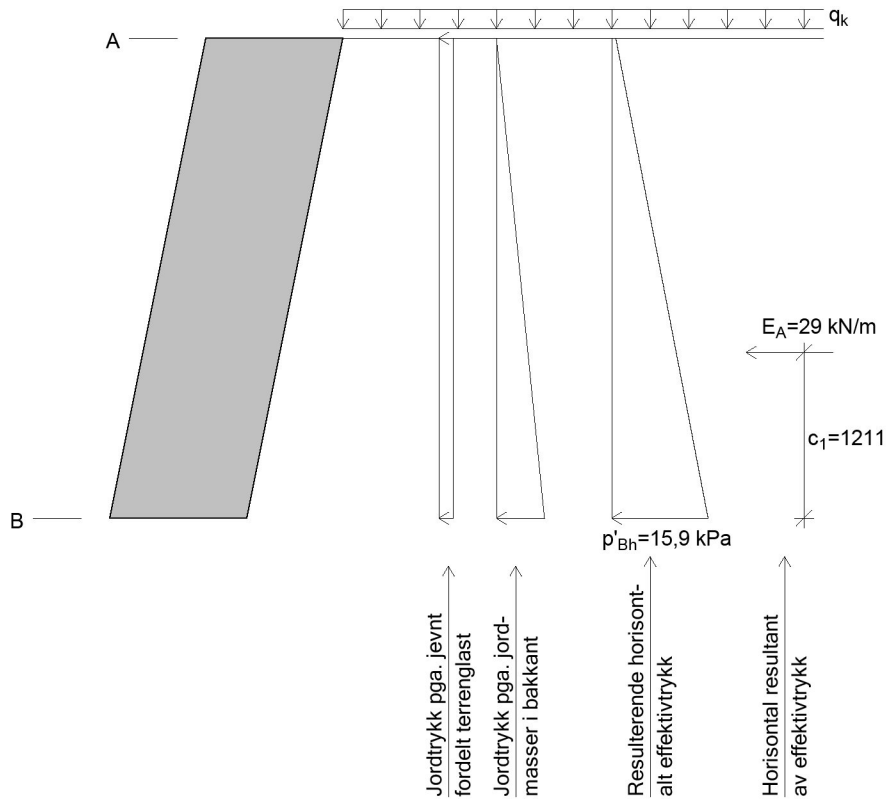
Helning av kritisk skjærflate settes lik:

$$v = 45 + \frac{\phi}{2} - \frac{\beta}{4} = 45 + \frac{40,0}{2} - \frac{0,0}{4} = 65,0^\circ$$

Bæreevne/grunntrykk beregnes for mur fundamentert direkte på berg.

Laster i bakkant	Lastfaktor (Brudgrense)
$q_k = 15,0 \text{ kPa}$	1,30
$q_{Qk} = 25,0 \text{ kPa}$	1,30

Boggiequivallentlasten q_{Qk} blir ikke tatt med i beregningene.

Jordtrykk
 (mål i mm)


$r_v = 0$ (ruhet for beregning av jordtrykk)

$$\tan\phi_d = \tan\phi/\gamma_m = 0,84/1,3 = 0,65, \quad \phi_d = \arctan(0,65) = 32,8^\circ$$

Ved horisontalt terreng er jordtrykket for aktiv tilstand gitt ved:

$$p_A' + a = K_A \cdot (p_v' + a) \quad (1)$$

$$K_A = 0,297 \text{ (iht. figur 5.4 i V220)}$$

$$\text{Murhelling bakkant: } d_b = \frac{H}{\frac{H}{d} + b_t - b_b} = \frac{3,500}{\frac{3,500}{5,0} + 1,000 - 1,000} = 5,0$$

$$\tan\delta = 1/d_b \Rightarrow \delta = \arctan(1/d_b) = 11,3^\circ$$

$$K_\delta = \frac{\cos^2(\delta + \phi_d)}{\cos^3\delta \cdot \cos^2\phi_d} = \frac{\cos^2(11,3^\circ + 32,8^\circ)}{\cos^3(11,3^\circ) \cdot \cos^2(32,8^\circ)} = 0,774$$

$$\text{Korrigert jordtrykksfaktor: } K_{A,\text{korr}} = K_\delta \cdot K_A = 0,774 \cdot 0,297 = 0,230$$

Resulterende effektivt trykk i bakkant beregnes iht. ligning (1) ovenfor. Ved beregningsmessig negativt trykk (dvs. strekk), neglisjeres dette, og trykket settes lik 0.

Nivå A (topp mur)

$$\text{Vertikaltrykk: } p'_{Av} = q_k \cdot \gamma_{q1}$$

$$p'_{Av} = 15,0 \cdot 1,30 = 19,5 \text{ kPa}$$

$$K_{A,\text{korr}} \cdot (p'_{Av} + a) - a = 0,230 \cdot (19,5 + 5,0) - 5,0 = 0,6 \text{ kPa, dvs. } > 0$$

$$\text{Horisontaltrykk: } p'_{Ah} = 0,6 \text{ kPa}$$

Nivå B (bunn mur)

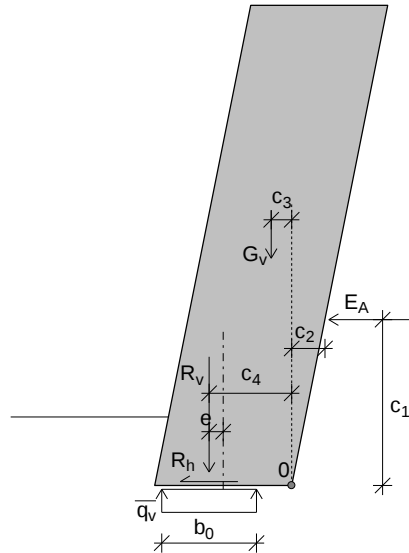
$$\text{Vertikaltrykk: } p'_{Bv} = 3,500 \cdot \gamma + q_k \cdot \gamma_{q1}$$

$$p'_{Bv} = 3,500 \cdot 19,0 + 15,0 \cdot 1,30 = 86,0 \text{ kPa}$$

$$\text{Horisontaltrykk: } p'_{Bh} = K_{A,\text{korr}} \cdot (p'_{Bv} + a) - a$$

$$p'_{Bh} = 0,230 \cdot (86,0 + 5,0) - 5,0 = 15,9 \text{ kPa}$$

Resultater - Bæreevne (målt i mm)



$$R_h = E_A = 29 \text{ kN/m}$$

$$G_v = 0,5 \cdot (b_b + b_t) \cdot H \cdot \gamma_{\text{mur}} = 0,5 \cdot (1,000 + 1,000) \cdot 3,500 \cdot 22,0 = 77 \text{ kN/m}$$

$$c_3 = \frac{1}{G_v} \cdot \left[\frac{H}{6} \cdot (b_b - b_t) \cdot \gamma_{\text{mur}} \cdot (b_b - b_t - \frac{H}{d_b}) + H \cdot b_t \cdot \gamma_{\text{mur}} \cdot (b_b - \frac{1}{2} \cdot b_t - \frac{1}{2} \cdot \frac{H}{d}) \right]$$

$$\Rightarrow c_3 = \frac{1}{77} \cdot \left[\frac{3,500}{6} \cdot (1,000 - 1,000) \cdot 22,0 \cdot (1,000 - 1,000 - \frac{3,500}{5,0}) + 3,500 \cdot 1,000 \cdot 22,0 \cdot (1,000 - \frac{1}{2} \cdot 1,000 - \frac{1}{2} \cdot \frac{3,500}{5,0}) \right] = 0,150 \text{ m}$$

$$T_A = 0 \text{ (Dvs. ingen skjærkraft i bakkant mur)}$$

$$c_2 = \frac{c_1}{d_b} = \frac{1,211}{5,0} = 0,242 \text{ m}$$

$$R_v = G_v + T_A = 77 \text{ kN/m}$$

Moment om pkt. 0:

$$M_0 = E_A \cdot c_1 + G_v \cdot c_3$$

$$M_0 = 29 \cdot 1,211 + 77 \cdot 0,150 = 47 \text{ kNm/m}$$

$$c_4 = M_0 / R_v = 47 / 77 = 0,604 \text{ m}$$

$$e = c_4 - 0,5 \cdot b_b = 0,604 - 0,5 \cdot 1,000 = 0,104 \text{ m}$$

$$e < b_b / 6 = 1,000 / 6 = 0,167 \text{ m (anbefalt maksimalverdi)}$$

\Rightarrow Beregnets eksentrisitet e er mindre enn anbefalt maksimalverdi

iht. Håndbok V220 pkt. 9.3.2 i), dvs. OK

$$b_0 = 0,9 \cdot b_b - 2 \cdot e = 0,9 \cdot 1,000 - 2 \cdot 0,104 = 0,692 \text{ m}$$

$$\bar{q}_v = R_v / b_0 = 77 / 0,692 = \mathbf{111 \text{ kN/m}^2}$$

Kontroll mot glidning :

Iht. håndbok N400 (pkt. 11.2.5) skal følgende betingelse være oppfylt (for én-aksial tilstand):

$$R_h \leq \mu \cdot R_v$$

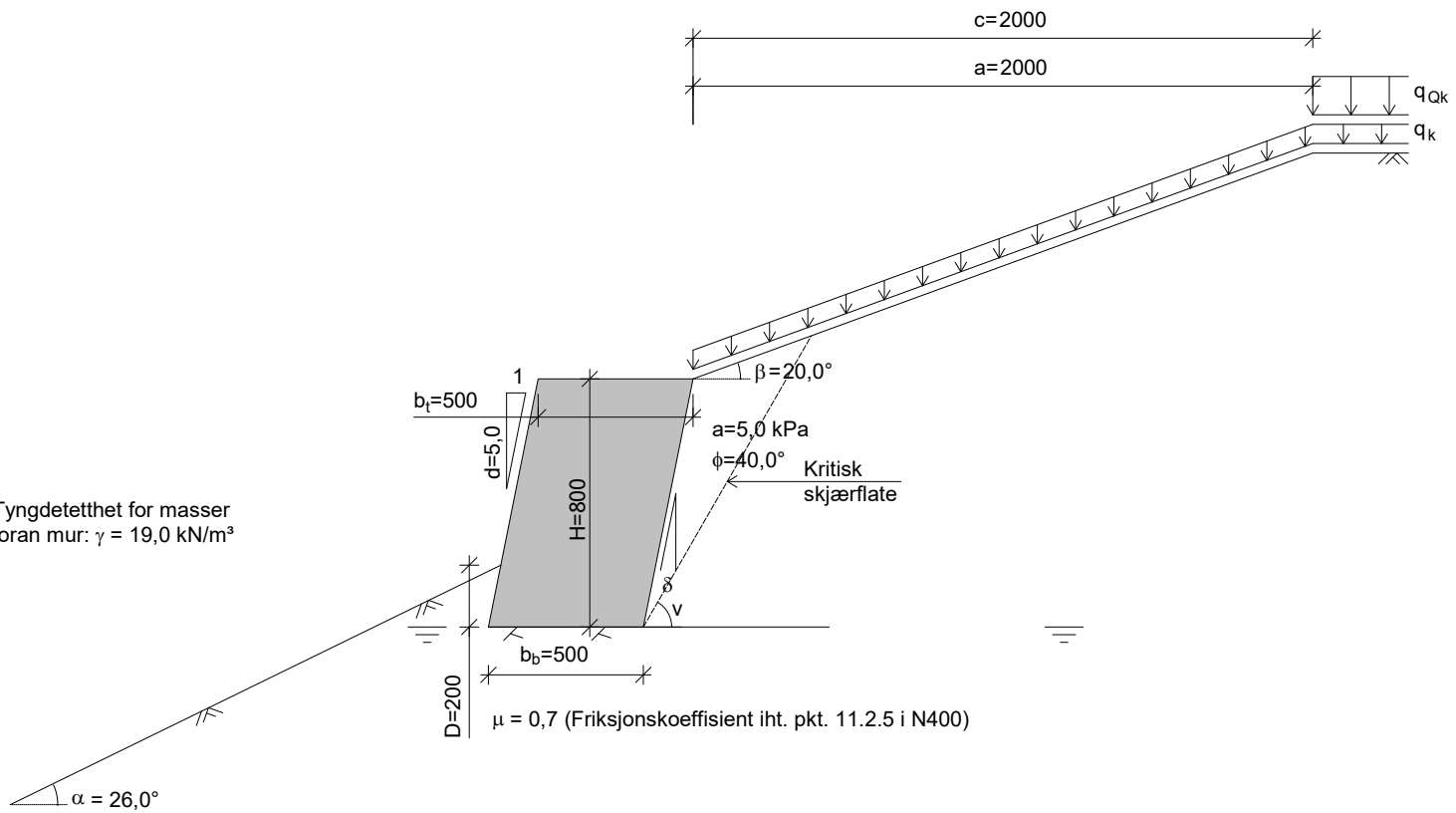
$$\mu \cdot R_v = 0,7 \cdot 77 = 54 \text{ kN/m} > 29 \text{ kN/m} \Rightarrow \text{OK !}$$

Vedlegg D - Mur 3

Beregnet 2022-03-05 Kl.18:28:05
(Programversjon 22.01)

Inndata
(mål i mm)

Tyngdetetthet for masser
foran mur: $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$



Tyngdetetthet for mur: $\gamma_{mur} = 22,0 \text{ kN/m}^3$

Tyngdetetthet for masser bak mur: $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$

Konsekvensklasse: CC1 Mindre alvorlig

Bruddmekanisme : Nøytralt brudd

$\Rightarrow \gamma_m = 1,3$ (iht. Fig. 0.3 i Håndbok V220)

Ruhet for bakkant mur: $r_v = -0,44$

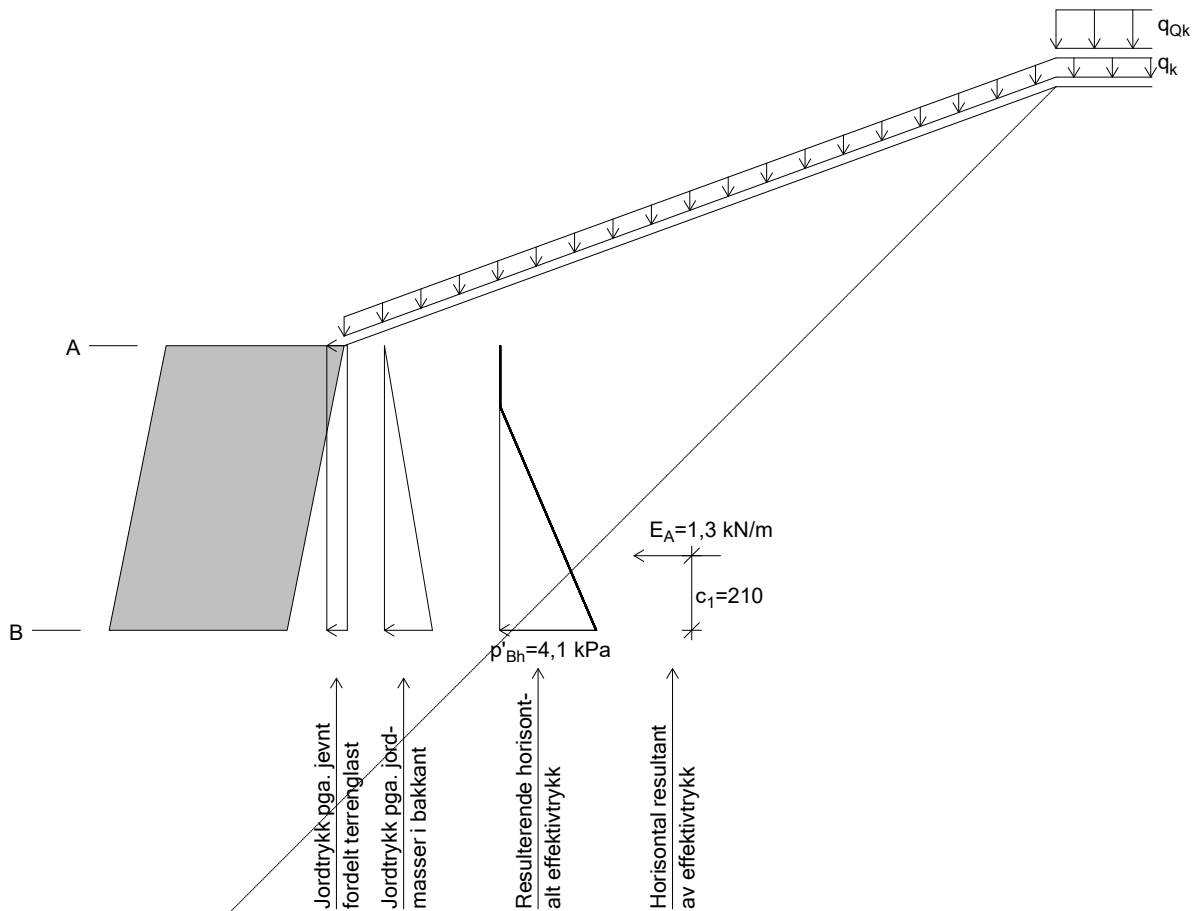
Helning av kritisk skjærflate settes lik:

$$v = 45 + \frac{\phi}{2} - \frac{\beta}{4} = 45 + \frac{40,0}{2} - \frac{20,0}{4} = 60,0^\circ$$

Bæreevne/grunntrykk beregnes for mur fundamentert direkte på berg.

Laster i bakkant	Lastfaktor (Bruddgrense)
$q_k = 5,0 \text{ kPa}$	1,30
$q_{Qk} = 25,0 \text{ kPa}$	1,35

Boggiekvivalentlasten q_{Qk} blir tatt med i beregningene.

Jordtrykk
 (mål i mm)


Lastspredning 1:1 for boggiekvivalentlasten mot bakkant mur er vist med skrå stiplede linje fra start lastutbredelse. Dette er iht. pkt. 3.3.3 (fig. 3.10) i NA-rundskriv 07/2015 (forskrift for trafikklaster). Jordtrykket pga. boggiekvivalentlasten har sin maksimale verdi i topp, og går mot null ved dybde 5 m.

I dette tilfellet treffer lastspredningslinjen under uk mur, slik at boggiekvivalentlasten ikke belaster muren.

Boggiekvivalentlasten blir derfor ikke tatt med i beregningene. $r_v = -0,44$ (ruhet for beregning av jordtrykk)

$$\tan\phi_d = \tan\phi/\gamma_m = 0,84/1,3 = 0,65, \quad \phi_d = \arctan(0,65) = 32,8^\circ$$

Ved hellende terreng er jordtrykket for aktiv tilstand gitt ved:

$$p_A' + a = K_{\beta A} \cdot (p_v' + a) \quad (1)$$

$$s = \tan\beta/\tan\phi_d = 0,56, \quad t = (1+r_v) \cdot (1-s) = 0,25$$

$$\Rightarrow K_{\beta A} = 0,438 \text{ (iht. figur 5.5 i V220)}$$

$$\text{Murhelning bakkant: } d_b = \frac{H}{\frac{H}{d} + b_t - b_b} = \frac{0,800}{\frac{0,800}{5,0} + 0,500 - 0,500} = 5,0$$

$$\tan\delta = 1/d_b \Rightarrow \delta = \arctan(1/d_b) = 11,3^\circ$$

$$K_\delta = \frac{\cos^2(\delta + \phi_d)}{\cos^3\delta \cdot \cos^2\phi_d} = \frac{\cos^2(11,3^\circ + 32,8^\circ)}{\cos^3(11,3^\circ) \cdot \cos^2(32,8^\circ)} = 0,774$$

$$\text{Korrigert jordtrykksfaktor: } K_{A, \text{kor}} = K_\delta \cdot K_{\beta A} = 0,774 \cdot 0,438 = 0,339$$

Resulterende effektivt trykk i bakkant beregnes iht. ligning (1) ovenfor. Ved beregningsmessig negativt trykk (dvs. strekk), neglisjeres dette, og trykket settes lik 0.

Nivå A (topp mur)

$$\text{Vertikaltrykk: } p'_{Av} = q_k \cdot \gamma_{q1}$$

$$p'_{Av} = 5,0 \cdot 1,30 = 6,5 \text{ kPa}$$

$$K_{A, \text{kor}} \cdot (p'_{Av} + a) = 0,339 \cdot (6,5 + 5,0) - 5,0 = -1,1 \text{ kPa, dvs. } < 0$$

Horisontaltrykk: Neglisjerer negativt jordtrykk, dvs. $p'_{Ah} = 0$

Nivå B (bunn mur)

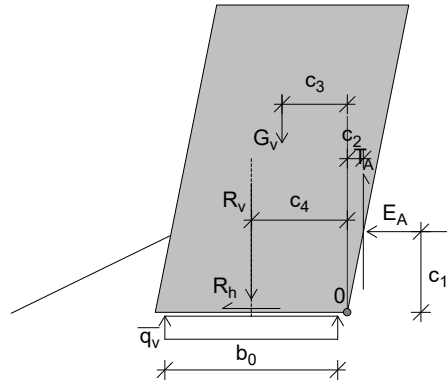
$$\text{Vertikaltrykk: } p'_{Bv} = 0,800 \cdot \gamma + q_k \cdot \gamma_{q1}$$

$$p'_{Bv} = 0,800 \cdot 19,0 + 5,0 \cdot 1,30 = 21,7 \text{ kPa}$$

$$\text{Horisontaltrykk: } p'_{Bh} = K_{A, \text{kor}} \cdot (p'_{Bv} + a) - a$$

$$p'_{Bh} = 0,339 \cdot (21,7 + 5,0) - 5,0 = 4,1 \text{ kPa}$$

Resultater - Bæreevne (mål i mm)



$$R_h = E_A = 1,3 \text{ kN/m}$$

$$G_v = 0,5 \cdot (b_b + b_t) \cdot H \cdot \gamma_{\text{mur}} = 0,5 \cdot (0,500 + 0,500) \cdot 2,200 \cdot 22,0 = 8,8 \text{ kN/m}$$

$$c_3 = \frac{1}{G_v} \cdot \left[\frac{H}{6} \cdot (b_b - b_t) \cdot \gamma_{\text{mur}} \cdot (b_b - b_t \cdot \frac{H}{d_b}) + H \cdot b_t \cdot \gamma_{\text{mur}} \cdot (b_b - \frac{1}{2} \cdot b_t \cdot \frac{H}{d}) \right]$$

$$\Rightarrow c_3 = \frac{1}{8,8} \cdot \left[\frac{0,800}{6} \cdot (0,500 - 0,500) \cdot 22,0 \cdot (0,500 - 0,500 \cdot \frac{0,800}{5,0}) + 0,800 \cdot 0,500 \cdot 22,0 \cdot (0,500 - \frac{1}{2} \cdot 0,500 \cdot \frac{1}{5,0}) \right] = 0,170 \text{ m}$$

$$T_A = |r_v| \cdot \tan \phi_d \cdot \left(\frac{E_A}{H} + a \right) \cdot H = |-0,44| \cdot 0,65 \cdot \left(\frac{1,3}{0,800} + 5,0 \right) \cdot 0,800 = 1,5 \text{ kN/m}$$

$$c_2 = \frac{c_1}{d_b} = \frac{0,210}{5,0} = 0,042 \text{ m}$$

$$R_v = G_v + T_A = 8,8 + 1,5 = 10,3 \text{ kN/m}$$

Moment om pkt. 0:

$$M_0 = E_A \cdot c_1 + T_A \cdot c_2 + G_v \cdot c_3$$

$$M_0 = 1,3 \cdot 0,210 + 1,5 \cdot 0,042 + 8,8 \cdot 0,170 = 1,8 \text{ kNm/m}$$

$$c_4 = M_0 / R_v = 1,8 / 10,3 = 0,175 \text{ m}$$

$$e = c_4 - 0,5 \cdot b_b = 0,175 - 0,5 \cdot 0,500 = -0,075 \text{ m}$$

Antatt ruhet i bakkant mur basert på standardverdier iht. V220, resulterte i beregningsmessig negativ eksentrisitet, dvs. at muren hadde en tendens til å lene seg mot fyllmassene i bakkant. På denne bakgrunn ble det valgt å la programmet beregne en ruhet i bakkant som gir eksentrisitet e lik null.

Beregnet ruhet for bakkant mur: $r_v = -0,44$. Det må vurderes på et faglig grunnlag om beregnet ruhetsverdi er realistisk for aktuelle masser i bakkant.

$$b_0 = 0,9 \cdot b_b - 2 \cdot e = 0,9 \cdot 0,500 - 2 \cdot (-0,075) = 0,450 \text{ m}$$

$$\bar{q}_v = R_v / b_0 = 10,3 / 0,450 = 22,9 \text{ kN/m}^2$$

Kontroll mot glidning:

Iht. håndbok N400 (pkt. 11.2.5) skal følgende betingelse være oppfylt (for én-aksial tilstand):

$$R_h \leq \mu \cdot R_v$$

$$\mu \cdot R_v = 0,7 \cdot 10,3 = 7,21 \text{ kN/m} > 1,3 \text{ kN/m} \Rightarrow \text{OK !}$$