

## **Tørrmur – programbeskrivelse**

(Programversjon 24.03)

### **1. Generelt**

Programmet beregner stabilitet/bæreevne for en tørrmur fundamentert på løsmasser eller berg. Beregningene utføres på grunnlag av Håndbok N-V220 «Geoteknikk i vegbygging» og Håndbok N400 «Bruprosjektering». Sikkerhetsnivået blir bestemt ut fra Håndbok N200 - «Vegbygging». Alle de nevnte håndbøkene er tilgjengelig i digital form på hjemmesiden til Statens vegvesen.

Det er lagt vekt på at programmet skal være enkelt å bruke, og mest mulig selvforklarende, med utstrakt bruk av grafisk presentasjon.

Mellomresultater blir skrevet ut, slik at utskriften i seg selv skal kunne gi tilstrekkelig dokumentasjon på beregningsresultatene, og slik at det skal være mulig å kontrollere riktigheten av resultatene. Ved utskrift er det lagt inn mulighet for å kunne velge hva en vil ta med av sluttokumentasjon for beregningen.

### **2. Bergartsparametere**

Tabell 11.6.4.5-1 i N-V220 angir bl.a. trykkfasthet for ulike bergarter. Tabellen er hentet fra Intern rapport nr. 2374, "Forankring av bergbolter ved fundamentering av støttemurer og landkar på berg". Denne tabellen angir énaksial trykkfasthet for intakt berg. Denne er lite egnet for vurdering av bergmassens fasthetsegenskaper. I «Fjellbolter» (Håndbok -135 i den gamle håndbokserien) er det i kap. 2.1.3 gitt en tilsvarende tabell med representative verdier for selve bergmassen med sprekker og hulrom. Verdiene er gitt med et forholdsvis stort variasjonsområde, og med en merknad om at de fleste norske bergarter ligger i øvre del av tallområdet. Selv om begge disse nevnte publikasjonene nå er formelt utgått, kan de danne et utgangspunkt for valg av trykkstyrke for berget, som gis inn av bruker.

Friksjonskoeffisient for glidning bestemmes på grunnlag av pkt. 7.2.1-3 i N400. Bruker kan gi inn en egenbestemt verdi. Om ikke friksjonskoeffisienten for glidning bestemmes, er det iht. pkt. 7.2.1-3 angitt to tilfeller med anbefalte verdier: støp direkte på utsprengt byggegrop og bruk av avrettingsstøp på utsprengt byggegrop. Friksjonskoeffisienten er angitt til hhv. 1,0 og 0,7 for disse to tilfellene. Det første tilfellet, dvs. støp direkte på utsprengt byggegrop, er naturlig nok uaktuelt for en tørrmur. En tørrmur settes normalt på et avrettet lag av løsmasser, slik at friksjonskoeffisienten kan bestemmes avhengig av løsmasstype i avrettet lag. Det forutsettes at bruker velger friksjonskoeffisienten basert på ingeniørmessig skjønn.

### **3. Terreng-geometri**

Terreng kan være horisontalt, skrått eller bestå av en horisontal flate (tilnærmet for vegflate) som går over i skråning.

Dette gjelder for både fram- og bakkant. Når horisontal flate i framkant går over i skråning, beregnes en ekvivalent skråningsvinkel som grunnlag for beregning av reduksjonsfaktorene som inngår i bæreevneformelen for skrått terreng. Ekvivalent skråningsvinkel bestemmes ut fra gitt avstand til skråningsflaten. Denne gis inn av bruker, og bør forutsetningsvis velges med basis i utstrekningen av influenssonen under/foran muren.

Til støtte for dette valget kan en ta utgangspunkt i uttegnert skjærflate for å se hvor denne treffer terrenget i framkant. Om denne treffer i den horisontale delen, kan bæreevnen heller beregnes for horisontalt terreng (som gir større bæreevne).

### **4. Skiftinndeling av mur**

Under inndata kan det legges inn en skiftinndeling av muren. Antall skift velges, og deretter høyde for hvert enkelt skift. Det kan antas konstant skifthyde eller en kan legge inn høyde for hvert enkelt skift separat. Vanligvis vil skifthyden være størst nederst i muren og avta oppover mot toppen.

## 5. Laster

### 5.1 Terrenglaster

Forskriften «Trafikklastforskrift for bruer m.m.» gir utfyllende bestemmelser til trafikklastene gitt i NS-EN 1991-2.

Trafikklasten som kan påføres terrenget i bakkant, er delt opp i to deler: en jevnt fordelt last, og en såkalt boggiekvivalentlast. Den jevnt fordelte lasten har intensitet 5 kPa og virker over hele terrengflaten i bakkant og over hele murhøyden. Denne inngår både for full trafikklast (kjøreveg) og GS-trafikk (jf. nedenfor).

Boggiekvivalentlasten som er definert i §4 i ovennevnte «Trafikklastforskrift» er trekantfordelt med maksimalverdi 25 kPa i topp og avtakende til null ved 5 m dybde.

For en mer utførlig omtale av lastene, henvises til «Trafikklastforskriften» og Håndbok N-V220.

For kjørevegbruer er, iht. «Forskrift for trafikklast», lastbredde for boggiekvivalentlasten gitt avhengig av antall lastfelt à 3 m. I N400 pkt. 4.6-3 er det gitt en bestemmelse om at boggiekvivalentlasten kan reduseres med 30 % for veger med bare ett kjørefelt. Dette kan velges i programmet. I veiledningen til samme punkt i N400 (pkt. 4.6-3) er det gitt regler for jordtrykk fra gang- og sykkeltrafikk (GS-trafikk). I tillegg til den jevnt fordelte lasten nevnt ovenfor, skal det regnes med en vertikallast fra tjenestekjøretøy representert med en jevnt fordelt last på 15 kPa på terreng avtakende til null ved 4 m dybde. Denne lasten kan velges i programmet, om det er aktuelt.

Når boggiekvivalentlasten virker i en gitt avstand fra bakkant mur, antas lastspredning 1:1 nedover i fyllingen mot bakkant mur. Iht. punkt i N400 (pkt. 4.6-3) gjelder kravet til boggiekvivalentlaster der vegbanen ligger  $\leq 1$  meter fra støttekonstruksjonen (horisontal avstand, normalt på støttekonstruksjonen). Der vegbanen ligger lenger unna, tillates reduserte jordtrykklaster bestemt.

Det er i programmet lagt inn mulighet for å kunne angi en horisontal seismisk last i jordmassene i bakkant. Lastplasseringen i høyden angis med avstand fra bunn av mur. Laststørrelse og plassering blir ikke beregnet av programmet, men må bestemmes separat.

### 5.2 Laster i topp mur

Lastvirkningene i topp av mur kan bestå av vertikal- og horisontalkraft, samt moment.

Hver enkelt av disse lastvirkningene er delt i to deler, som kan gis inn separat. Det kan for det første gis inn verdier som virker konstant pr. meter langs muren. Dette kan typisk være egenlast av rekkverk og ev. kantdrager/betongplate.

For det andre kan det gis inn punktlaster og moment som kan antas med lastspredning nedover i muren. Helning av lastspredningen angis av bruker, samt ev. begrensning i utbredelse mot ender. Ved kontroll av muren, for bæreevne eller for et gitt skift-nivå, beregnes totale lastvirkninger som en sum av disse andelene for den aktuelle dybden under topp mur.

## 6. Beregningsforutsetninger

Vannstand i fram- og bakkant kan varieres i området mellom underkant mur og topp mur.

Det kan angis forskjellige verdier for vannstanden i fram- og bakkant.

Når vannstanden i framkant og/eller bakkant er over underkant mur, regnes vekt av mur under vannstand neddykket.

Neddykket nivå regnes opp til det laveste av vannstands nivået gitt i fram-/bakkant.

Trykket  $p'$  som inngår i bæreevneformelen, beregnes basert på vannstands nivået i framkant.

Romveksleddet  $\gamma'$  som inngår i bæreevneformelen, kan regnes dykket eller drenert.

Ved fundamentering på løsmasser antas grunnen å være homogen i dybden.

Vanligvis vil partialfaktoren  $\gamma_M$  for bruddgrensetilstanden bestemmes ut fra Tabell 1.4.2-1 i N200 (kommer opp når en klikker på inndata-feltet for  $\gamma_M$ ).

Iht. denne tabellen bestemmes partialfaktoren basert på valgt konsekvensklasse og bruddmekanisme. I programmet er det lagt inn mulighet for at bruker kan velge en annen verdi.

Om en velger «Ulykkesgrense», blir  $\gamma_M$  satt lik 1,0.

Ved å velge «Egenbestemt verdi», kan bruker legge inn en verdi basert på egne vurderinger, naturligvis med utgangspunkt i et kvalifisert ingeniørmessig grunnlag.

## 7. Jordtrykk

For masser i bakkant er det lagt inn tre mulige valg:

1) «Graveskråning»: Det kan spesifiseres to ulike parametersett for massene, ett for opprinnelige masser og ett for oppfylte masser. Ekvivalent friksjonsvinkel og attraksjon for bakfyllmassene beregnes da som en middelvei for kritisk skjærflate gjennom oppfylte masser og opprinnelige masser. Dette er iht. «Eggestad» i Intern rapport nr. 2242 fra Statens vegvesen.

2) «Oppfylling»: Det antas homogene forhold for massene i bakkant, dvs. én verdi for friksjonsvinkelen, og én verdi for attraksjonen.

3) «Mot bergflate»: Jordtrykket antas iht. pkt. 6.4.1 i N-V220.

Ifølge dette punktet beregnes det et såkalt «silotrykk» mot muren, som kan brukes når avstanden mellom muren og bergflaten bak er liten i forhold til murhøyden. For dette tilfellet kan ruhetsverdiene gis inn separat for flaten mot bakkant mur og bergflaten.

Horisontaltrykket mot muren kan, iht. pkt. 6.4.1, enten antas jevnt fordelt i hele murhøyden, eller det kan benyttes lineær trykkfordeling i topp mur basert på beregning av ordinært aktivt trykk ned til det nivået hvor dette trykket er like stort som beregnet «silotrykk». Videre nedover benyttes jevnt fordelt «silotrykk» mot muren.

Ruhet for beregning av jordtrykk  $r_v$  (bak muren) velges på grunnlag av Tabell 10.3.2-1 i N-V220.

I utgangspunktet blir verdien satt lik 0,3, som er angitt som anbefalt anslag i tabellen.

Standardverdier for  $r_v$  velges ved å klikke på en av «knappene» til venstre for tabellen. Anbefalt verdi kan overstyres ved å velge «Annen verdi» for ruhet bak mur.

For horisontalt terreng i bakkant beregnes jordtrykkskoeffisienten iht. pkt. 6.2.1, og for skrått terreng i bakkant iht. pkt. 6.2.2 i N-V220.

## 8. Beregning av bæreevne

For mur fundamentert på løsmasser utføres bæreevneberegningen ved en effektivspenningsanalyse. Midlere vertikal bæreevne beregnes iht. formel 7.2.1-5 (pkt. 7.2.1 i N-V220) for horisontalt terreng i framkant og iht. formel 7.2.2-3 (pkt. 7.2.2 i N-V220) for skrått terreng.

Dersom  $\tan\phi$  for massene under sålen angis å være 0,90 eller bedre, og terrengoverflaten i framkant minst har helning 1:2 (26,6°), kan en velge å beregne bæreevnen ut fra formelen for sprengsteinsfylling, gitt i kap. 7.4 i N-V220 (formel 7.4-1). Bæreevnen vil kunne være betydelig større enn om en beregner etter «klassisk» teori for skrått terreng.

Det er imidlertid viktig å være klar over begrensninger i det empiriske grunnlaget som gjelder, bl.a. de geometriske forutsetningene. Det forutsettes at bruker gir inn data som tilfredsstillende kravene til utforming gitt i det ovennevnte empiriske grunnlaget.

Resulterende lastvirkninger ved underkant mur skrives ut, og effektiv bunnbredde ( $b_0$ ) tegnes opp. Dersom eksentrisiteten  $e$  om senter bunnbredde er beregnet til å ha negativ verdi, dvs. at vertikal lastresultant har plassering innenfor senter av bunnbredden, gir programmet melding om det.

Dette indikerer at muren har en tendens til å lene seg mot bakenforliggende masser (jf. pkt. 10.3.2 9) i V220). Valgt vertikal ruhet bør da vurderes på ny, og beregningene eventuelt gjentas med en lavere verdi for ruheten  $r_v$  i bakkant mur.

Alternativt kan en endre på andre inndata-verdier, f.eks. legge inn en steilere murfront.

Når eksentrisiteten er beregnet til å ha negativ verdi, er det lagt inn mulighet for å velge om programmet skal regne ut ruheten i bakkant mur som gir eksentrisitet lik null, dvs. at resulterende vertikallast virker sentrisk i bunn mur. For dette tilfellet påhviler det bruker å vurdere om den

beregnete ruheten i bakkant er realistisk og oppnåelig for aktuelle jordmasser (iht. Tabell 10.3.2-1 i N-V220 bør ruhetsverdien ligge i området  $-0,5 - 0,5$ ).

Ved endring av murgeometri eller andre inndata bør en tilbake stille ruhetsverdien til normal verdi før ny beregning foretas. En påminnelse om dette blir skrevet bak ruhetsverdien under inndata.

Når det er valgt «Mot bergflate» for massene bak muren, er det imidlertid ikke lagt inn mulighet for å la programmet beregne justerte ruhetsverdier. Bruker må da endre inndata manuelt for å komme videre med beregningene.

Beregnet vertikalt effektivt trykk ved underkant mur ( $q_v$ ) skrives ut. For mur fundamentert på løsmasser, vil videre midlere effektiv vertikal bæreevne ( $\sigma_v$ ) og forholdet  $q_v/\sigma_v$  skrives ut. Om dette forholdet er større enn 1, er bæreevnen overskredet, og inndata må endres. Likeledes, om fundamentruheten ( $r_b$ ) overskrider maksimalt tillatt ruhet ( $r_{bmax}$ ), gitt i tabell 7.2.1-1 i Håndbok N400, må inndata endres.

For mur fundamentert på berg kontrolleres  $q_v$  mot dimensjonerende trykkstyrke for bergmassen. Vanligvis settes en tørrmur på et avrettet lag av løsmasser, slik at det kan antas en viss lastspredning ned til bergflaten. Effektivt såletrykk mot bergflaten vil derfor bli noe redusert i forhold til beregnet verdi for  $q_v$ . Programmet kontrollerer mot  $q_v$  direkte, noe som innebærer at det i praksis vil være en ekstra sikkerhet i beregningsresultatene mtp. bergtrykk. Iht. regelverket (pkt. 10.3.2 9) i N-V220) brukes en minste verdi for effektiv fundamentbredde, slik at beregnet bergtrykk normalt blir vesentlig mindre enn den dimensjonerende trykkstyrken for bergmassen.

Mur fundamentert på berg kontrolleres også mot glidning, dvs. om horisontallasten er mindre enn vertikallasten multiplisert med angitt friksjonskoeffisient (jf. pkt. 2).

Bæreevnen for tørrmuren beregnes under forutsetning av at utformingen er slik at muren kan antas å virke som ett samlet legeme (jf. pkt. 9 for skiftvis beregning).

For mur fundamentert på løsmasser blir kritisk skjærflate i grunnen tegnet opp. Dette kan tjene som et hjelpemiddel for å vurdere influenssonen under og foran muren. Skjærflategeometrien kan også danne grunnlag for å vurdere ev. gjennomsnittsverdier for jordparameterne i grunnen.

Pkt. 10.3.2 9) i N-V220 anbefaler at effektiv bunnbredde  $b_0$  er større enn  $b_b/3$  ( $b_b$  = bunn-bredde). Dette gjelder selv om bæreevnen er tilfredsstillende med beregnet  $b_0$ . Dette blir kontrollert av programmet og tatt med i beregningsoppsettet.

## 9. Skiftvis beregning

Normal beregningsprosedyre for en tørrmur vil være å først bestemme hoveddimensjonene for muren, dvs. beregningsmessig teoretisk omriss. Først når bæreevnen for muromrisset er funnet i orden, vil det være naturlig å gå videre med en kontroll av glidning/velting for hvert enkelt skift (jf. pkt. 10.3.2 10) i N-V220).

Med tanke på fare for glidning mellom skift, må forholdet mellom horisontal- og vertikal resultant i overkant av skift vurderes opp mot friksjonskoeffisienten som kan antas ved glidning mellom steinblokkene.

Om dette forholdet er større enn 0,6, blir det markert med rød skrift i programmet. Det er dermed ikke gitt at en verdi mindre enn 0,6 gir tilstrekkelig kapasitet mot glidning, og heller ikke at en verdi større enn dette uten videre gir for liten kapasitet. Dette må altså vurderes på et faglig grunnlag for den aktuelle steintypen som er tenkt brukt i muren.

Forholdet mellom eksentrisitet og skiftbredde må være mindre enn 0,5 for å unngå velting.

I programmet blir det markert med rød skrift når dette forholdet er større enn 0,5.

Dette betyr at vertikal kraftresultant har beregningsmessig plassering på utsiden av steinen i skiftet. Murdel som ligger over kontrollert skift vil dermed kunne velte utover.

Når muren er lagt inn med skiftvis fordeling i høyden, blir resultatene gitt i tabellform. Om ønskelig, kan en også velge et detaljert beregningsoppsett for ett enkelt skift.

## 10. Begrensninger

I programmet er det lagt inn at boggiekvivalentlasten kun kan velges når terrenget i bakkant er horisontalt, eller består av en skrå del over en begrenset lengde med overgang til horisontal flate. Dette vil tilnærmet være tilfelle f.eks. ved beregning av en mur som går langs en trafikkert vei. Boggiekvivalentlasten er antatt å bare kunne virke på horisontal del av terrenget i bakkant. Den jevnt fordelte lasten kan som nevnt, virke over hele flaten i bakkant, dvs. både på skrå- og horisontal del.

Når terrenget er jevnt skrått i bakkant, dvs. uten horisontal del, er det i programmet kun aktuelt å gi inn den jevnt fordelte lasten som terrenglast.

Pkt. 6.4.1 i N-V220 angir en overslagsmetode for beregning av «silotrykk» mot muren. Det er gitt en del forutsetninger og begrensninger i formelgrunnlaget som det forutsettes at bruker kjenner til og tar hensyn til. For tilfellet mur mot bergflate antas det horisontalt terreng i bakkant mur, samt at det ikke kan angis terrenglast (siden dette ikke er med i formelgrunnlaget i det ovennevnte pkt. 6.4.1.) Parameteren  $t$  inngår i beregningsgrunnlaget for jordtrykkskoeffisient ved skrått terreng. Denne må være i området mellom 0 og 4. Om  $t$  beregnes til å ligge utenfor dette området, gir programmet melding om det. Inndata må da endres for at beregningene skal kunne utføres (jf. pkt. 6.2.2 i N-V220 for hvilke parametere som inngår i uttrykket for  $t$ ).