

Støttemur på løsmasser – programbeskrivelse

(Programversjon 25.01)

1. Generelt

Programmet beregner bæreevne for en vinkelstøttemur i betong fundamentert på løsmasser. Beregningene utføres på grunnlag av Håndbok N-V220 «Geoteknikk i vegbygging», Håndbok N400 «Bruprosjektering» og Håndbok N200 «Vegbygging». Disse tre 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. Mur- og terrenggeometri

Sålen kan ha horisontal eller skrå overside.

Veggen kan ha konstant eller lineært varierende tykkelse. Jordside av vegg antas vertikal.

Terrenget i framkant kan være horisontalt, skrått eller ha en horisontal flate som går over i skråning. Horisontal flate må minimum være lik tåbredden (dvs. avstanden fra ytterkant veggflate til framkant såle). Når horisontal flate i framkant er større enn tåbredden, og 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 avstanden 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 uttegnet skjærflate, og se hvor denne omtrentlig treffer terrenget. Om denne treffer i den horisontale delen i framkant, kan bæreevnen beregnes for horisontalt terreng (som gir større bæreevne).

Terrenget i bakkant kan være horisontalt eller skrått.

Når det er valgt horisontalt terreng i bakkant, kan terrengnivået være over topp mur. I et slikt tilfelle blir det vist en stiplet linje for å indikere en endetverrbjelke i bruoverbygningen for å holde på oppfylte masser. Om en legger inn et terrengnivå over topp mur, er det lagt inn som begrensning at terrengnivået må være minst 300 mm over topp mur. Dette er da tenkt å representere en minimumshøyde for endetverrbjelken. Jordtrykket mot øvre del (endetverrbjelken) antas å bli overført til bruoverbygningen. Jordtrykksfordelingen over høyden vises på resultatutskriften. Muligheten for å gi inn terrengnivå over murtopp, er tiltenkt kontroll/dimensjonering av landkar. Det henvises for øvrig til programmet «Landkar».

3. Laster

3.1 Terrenglaster

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

Trafikklasteren 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 trafikklaster (kjøreveg) og GS-trafikk (jf. nedenfor).

Boggiekvivalentlasten som er definert i §4 i ovennevnte «Trafikklasterforskrift» 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 «Trafikklasterforskriften» og pkt. 10.2.1 i 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.

Utbredelsen av terrenglasten på fylling i retning langs veglinjen er i utgangspunktet gitt fram til bakkant såle, men det er lagt inn mulighet for å la lasten virke helt fram til bakkant frontvegg.

Den jevnt fordelte lasten går enten helt fram til veggen eller til bakkant såle.

For boggiekvivalentlasten er det lagt inn mulighet for å gi inn en egenbestemt startverdi i intervallet mellom bakkant vegg og bakkant såle. Dette for at en skal kunne la boggiekvivalentlasten gå delvis inn over baklabben. Ved økning av sålebredden, vil ikke avstanden til startpunktet for boggiekvivalentlasten endres. Om boggiekvivalentlasten skal starte ved bakkant såle, må en derfor endre avstanden manuelt (settes til lengde av baklabben). Den jevnt fordelte lasten flytter seg automatisk. Ved avkorting av sålen flytter avstanden seg automatisk for begge lastene (utbredelsen må minst gå fram til bakkant såle). Iht. N400 (pkt. 4.6-3) gjelder kravet til boggiekvivalentlaster der vegbanen ligger ≤ 1 meter fra støttestruksjonen (horisontal avstand, normalt på støttestruksjonen). Der vegbanen ligger lenger unna, tillates reduserte jordtrykklaster bestemt.

Muligheten for å kunne velge å la boggiekvivalentlasten gå inn over baklabben, gjelder bare for beregning av trykk mot selve veggen, for dimensjonering av denne. For beregning av bæreevne og lastvirkninger i sålen, antas boggiekvivalentlasten med utstrekning til bakkant såle. Dette er iht. beregningsgrunnlaget gitt i pkt. 10.2.1 i N-V220.

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 underkant såle. Laststørrelse og plassering blir ikke beregnet av programmet, men må bestemmes separat.

Håndbok N200, pkt. 1.13.8.1 omhandler oppbygging av fylling inntil konstruksjoner, inkludert regler for komprimering. For beregning av komprimeringstrykk er det her vist videre til pkt. 9.5.3 i N-V220. Tabell 9.5.3-1 i N-V220 angir maksimalt horisontalt jordtrykk ved komprimering mot vertikal vegg, avhengig av forskjellige typer komprimeringsutstyr. Det er også en rubrikk for såkalt «kritisk dybde». Maksimalt komprimeringstrykk og «kritisk» dybde angis av bruker. Når et av inndata-feltene for disse verdiene er aktivt, kommer ovennevnte tabell opp som hjelp for valg av verdier basert på komprimeringsutstyr.

Muligheten for å kunne velge komprimeringslast er kun aktuelt når det er valgt å beregne jordtrykket for hviletrykkstilstanden. Siden komprimeringslasten er definert som en last i byggetilstanden, er det antatt at komprimeringslasten ikke virker samtidig med noen av de andre trafikklastene. Videre antas også at grunnvannstanden ikke kan overstige uk såle for lastkombinasjonen som inkluderer komprimeringslasten (selv om vannstanden skulle være satt høyere under øvrige inndata).

3.2 Laster i topp

Lastvirkningene i topp av mur kan bestå av vertikal- og horisontalkraft, samt moment, og disse kan gis inn separat for brudd- og bruksgrensetilstanden, samt byggetilstanden. I bruksgrensetilstanden kan det gis inn to sett med verdier, ett for kontroll av eksentrisitet iht. pkt. 7.2.3-1 i N400, og ett som danner grunnlag for beregning av rissvidder i konstruksjonen. Komprimeringstrykket antas å inngå i en bruksgrensetilstand. For lastvirkninger i topp av muren er det forutsatt at lastfaktorer er inkludert i lastverdiene som gis inn.

Vekt av konstruksjonen og overliggende jord beregnes av programmet.

Laster og lastvirkninger antas konstante i lengderetningen av muren, og laster og lastvirkninger er således gitt pr. meter mur.

3.3 Lastkombinasjoner

Lastfaktorer for vekt av konstruksjon og overliggende jord kan gis inn separat, likeledes separate lastfaktorer for den jevnt fordelte terrenglasten og boggiekivalentlasten på fylling i bakkant. I utgangspunktet gjelder lastfaktoren for jordmasser kun for vertikallaster, dvs. når jordmassene virker som vekt. Horisontalt jordtrykk beregnes da i utgangspunktet uten lastfaktor. Det er imidlertid lagt inn mulighet for å velge samme lastfaktor også for jordtrykket, om det er ønskelig.

Lastfaktor for vanntrykk kan gis inn separat for fram- og bakkant.

Lastfaktorene for trafikklast gjelder kun for trafikklasten i bakkant.

Pkt. 9.2.1 b) i V220 omhandler lastfaktorer og kombinasjoner. Det er der vist videre til Eurokode 0 (NS-EN 1990) og Håndbok N400. Iht. pkt. 6.2.5 i N400 skal metode 3 brukes. For geotekniske laster benyttes verdier fra tabell NA.A2.4 (C). For øvrige laster på/fra konstruksjonen brukes verdier fra tabell NA.A2.4 (B). For jordtrykk fra trafikklast på fylling benyttes lastfaktor 1,15 der trafikklasten er bestemt iht. pkt. 4.6-3 i N400, og lastvirkningen er ugunstig.

For eksentrisitetskontroll i bruksgrense brukes lastfaktor 0,8 iht. «sjeldent forekommende» laster (jf. pkt. 7.2.3 i N400 og tabell NA.A2.1 i Eurokode 0).

For rissviddekontroll brukes lastfaktor 0,7 eller 0,5 for hhv. «ofte forekommende» eller «tilnærmet permanente» laster (jf. tabell NA.A2.1 i Eurokode 0), avhengig av aktuell eksponeringsklasse.

For hver lastkombinasjon er det lagt inn mulighet for å velge om trafikklast på fylling skal inngå i beregningene eller ikke, basert på bestemmelser i gjeldende regelverk.

4. Beregningsforutsetninger

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

Vannstanden kan gis inn med forskjellig verdi for de to sidene.

Vekt av betongdeler og jord under vannstanden regnes neddykket. For baklabbe (dvs. bakre såledel) og jord over baklabbe regnes neddykket nivå på grunnlag av vannstanden i bakkant. For tå og jord over tå regnes neddykket nivå tilsvarende på grunnlag av vannstanden i framkant. For vegg og såledel under vegg regnes neddykket nivå som den laveste av vannstandene gitt i fram-/bakkant. Trykket p' som inngår i bæreevneformelen, beregnes basert på aktuelt vannstands nivå.

Romvektsledet γ' som inngår i bæreevneformelen, kan regnes dykket eller drenert.

Grunnen antas å være homogen i dybden.

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

Iht. denne figuren 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 γ_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.

5. Jordtrykk

Aktivt trykk

Ruhet for beregning av jordtrykk r_v (bak muren) velges på grunnlag av Tabell 10.2.1-1 i N-V220.

I utgangspunktet blir verdien satt til $1/\gamma_M$ for bruddgrensetilstanden, og mobiliseringsgraden f for bruksgrensetilstanden, men ruhetsverdien kan overstyres av bruker. Ved å velge «Jord» fra hovedmenyen og klikke på inndatafeltet for ruhet i bakkant, kommer den ovennevnte Tabell 10.2.1-1 fram. Standardverdier for r_v kan da velges ved å klikke på en av «knappene» til venstre for tabellen. Iht. beregningsgrunnlaget beregnes jordtrykket i bakkant i utgangspunktet for aktiv tilstand.

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

Hviletrykk

Det er lagt inn mulighet for å velge hviletrykk mot muren.

Hviletrykkskoeffisienten K_0 beregnes basert på formelen gitt i pkt. 6.4.3 i N-V220, men uten leddet som angir overkonsolideringsgraden (OCR-leddet), dvs. $K_0 = 1 - \sin\phi'$

I utgangspunktet inngår $\sin\phi$ i formelen direkte, dvs. karakteristisk verdi for friksjonsvinkelen for masser bak muren.

Alternativt kan det velges en dimensjonerende verdi ϕ_d , hvor $\tan\phi_d = \tan\phi/\gamma_0$.

γ_0 er materialfaktoren i hviletrykkstilstanden. γ_0 kan angis med forskjellig verdi for hver enkelt grensetilstand under menyen «Laster i topp». γ_0 velges uavhengig av γ_M , som gjelder for aktiv tilstand.

Pkt. 6.4.3 i N-V220 angir en formel for korrigert hviletrykksfaktor for skrånende terreng med helningsvinkel $\beta \leq \phi'$ i forhold til horisontalen, der horisontal-komponenten av jordtrykket beregnes ut fra følgende formel: $K_{0;\beta} = K_0 \cdot (1 + \sin\beta)$

Retningen av jordtrykksresultanten antas å være parallell med terrengoverflaten.

For horisontalt terreng i bakkant antas det på denne bakgrunn at det ikke virker noen skjærkraft i bakkant av muren i hviletrykkstilstanden.

For skrånende terreng antas en vertikalkomponent (skjærkraft) i bakkant lik horisontal jordtrykkskomponent multiplisert med $\tan\beta$.

6. Beregning av bæreevne

Bæreevneberegningen utføres 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 sprengsteins-fylling, 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.

Bæreevnen for muren beregnes vanligvis med et antatt snitt i bakkant av såle (jf. Figur 10.2.1-2 i N-V220).

Om effektiv sålebredde (B_0) blir beregnet å være mindre enn $B/5$, gir programmet melding om det. Bruker kan overstyre dette, og velge å la programmet gå videre med beregningen.

Resulterende lastvirkninger ved underkant såle skrives ut, og effektiv sålebredde (B_0) tegnes opp. Beregnet vertikalt effektivt såletrykk (q_v), samt midlere effektiv vertikal bæreevne (σ_v) og forholdet q_v/σ_v skrives ut. Om dette forholdet er større enn 1, betyr det at bæreevnen er overskredet, og inndata må endres.

Likeledes, om ruheten under såle (r_b) overskrider maksimalt tillatt ruhet (r_{bmax}), må inndata endres.

I bruksgrensetilstanden, for kombinasjon «sjeldent forekommende», kontrolleres beregnet lasteksentrisitet e mot begrensningen gitt i pkt. 7.2.3-1 i Håndbok N400 ($e < B/3$).

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

7. Betongdimensjonering

Når bæreevnen er beregnet og funnet i orden, kan bruker gå videre for å få beregnet lastvirkninger i såle og vegg.

Ved dimensjonering av selve veggen i en støttemur, blir det antatt en lastspredning 1:1 nedover i fyllingen for boggiekvivalentlasten når denne virker i en gitt avstand fra veggen.

I såle vil lastvirkninger i snitt ved fram- og bakkant vegg bli beregnet automatisk, i tillegg til ev. ekstremalverdier for moment og/eller skjærkraft dersom disse opptrer ved andre snitt.

Bruker kan i tillegg få beregnet lastvirkninger i inntil 2 snitt med vilkårlig plassering, i tå og baklabb. Tilsvarende gjelder for lastvirkninger i vegg, der en også kan få beregnet for 2 ekstra snitt.

Lastvirkningene i valgte snitt kan lagres til fil, som igjen kan tas inn i betongdimensjoneringsprogrammet «Betongtverrsnitt». Det henvises til beskrivelsen for dette programmet.

Ved lagring til fil med tanke på dimensjonering med «Betongtverrsnitt», blir det antatt en del startverdier. Faktoren k_2 for tilslagstype ved skjærkontroll blir satt til 0,18. Normalt vil kriteriene for å velge verdien 0,18 være oppfylt. Om så ikke er tilfelle, kan dette endres ved kontroll med «Betongtverrsnitt» (ved å gå til «Materialer» i hovedmenyen). I «Betongtverrsnitt» kan overdekningskrav/rissviddebegrensning velges enten iht. Eurokode 2 eller iht. Håndbok N400 «Bruprosjektering» fra Statens vegvesen.

Ved lagring til fil blir benyttet regelverk satt til Eurokode 2. Når støttemuren skal kontrolleres iht. Håndbok N400, som vanligvis er tilfelle, endres dette ved kontroll med «Betongtverrsnitt».

Armeringsmengden blir ved lagring satt til $\phi 16$ s150, som en startverdi. Dette kan naturligvis endres etter behov ved beregning med «Betongtverrsnitt». Det påhviler bruker å vurdere om inngangsverdiene til «Betongtverrsnitt» er representative for det aktuelle lasttilfellet, og om nødvendig endre beregningsgrunnlaget i «Betongtverrsnitt».

Det er viktig å være klar over at ved ny lagring til fil (fra støttemursprogrammet), blir startverdier, som nevnt ovenfor, antatt og ev. endringer fra tidligere beregninger blir derfor overskrevet. Om en ønsker å beholde lagrede verdier fra tidligere beregninger med «Betongtverrsnitt», kan en gi inn snittkreftene separat.

Når inndata er hentet fra programmet «Landkar» (jf. beskrivelsen for dette programmet), er de fleste menyfeltene gjort inaktive. Endringer må derfor gjøres i «Landkar», og så overføres til støttemursprogrammet. I og med at det i «Landkar»-programmet bare er mulig å gi inn konstant tykkelse for såle og vegg, er det imidlertid lagt inn mulighet for å kunne variere såle- og veggtykkelsene også når inndata er hentet fra «Landkar»-beregninger (via menyfeltet «Dimensjoner»). Dette for at tverrsnittshøyden skal bli riktig ved dimensjonering med programmet «Betongtverrsnitt». Det er lagt inn mulighet for å oppheve restriksjonene som i utgangspunktet er satt når inndata hentes fra «Landkar»-beregninger. Dette gjøres ved å velge menyfeltet «Restriksjoner» som ligger under hovedmenyen «Fil». Om en velger å oppheve restriksjonene, kan ikke dette reverseres.

8. Begrensninger

I programmet er det lagt inn at boggiekvivalentlasten kun kan velges når terrenget i bakkant er horisontalt. Dette vil tilnærmet være tilfelle ved beregning av landkar og ved trafikkert vei inn mot en støttemur. Når terrenget er skrått i bakkant, er det i programmet kun aktuelt å gi inn den jevnt fordelte lasten som terrenglast.

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).

Som nevnt under pkt. 6, beregnes bæreevnen for muren med et antatt snitt i bakkant av såle. Det antas at boggiekvivalentlasten har utbredelse fram til dette snittet, slik at lastspredningen nevnt under pkt. 7 mot bakkant mur ikke vil gjelde for beregning av bæreevnen.