

Landkar – programbeskrivelse

(Programversjon 25.01)

1. Generelt

Programmet beregner bæreevne/grunntrykk for et landkar fundamentert på løsmasser eller berg. Det er gitt mulighet for å velge mellom to forskjellige landkarutforminger. Enten kan vingemurene være en del av landkarkonstruksjonen, eller de kan være påhengt bruoverbygningen. I sistnevnte tilfelle vil landkaret bestå av kun såle og frontvegg.

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.

Bergartsparemetre (jf. pkt. 2) er basert på Intern rapport nr. 2374, «Forankring av bergbolter ved fundamentering av støttemurer og landkar på berg» og «Fjellbolter» (Håndbok -135 i den gamle håndbokserien). Begge de to sistnevnte håndbøkene er formelt utgått, men i mangel av annet regelverk brukes de videre inntil et oppdatert regelverk foreligger.

Kap. 10.4 i N-V220 omhandler landkar. Framgangsmåte ved geoteknisk prosjektering er i hovedsak som gitt i kap. 10.2 («Støttemurer»), men med enkelte spesifikke bestemmelser for landkar gitt i kap. 10.4.2. For direkte fundamentering er det gitt krav i N400 kap. 7.2.

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. Bergartsparemetere

Tabell 11.6.4.5-1 i N-V220 angir bl.a. trykkfasthet for ulike bergarter. Tabellen er hentet fra den ovenfor nevnte Intern rapport nr. 2374. Denne tabellen angir énaksial trykkfasthet for intakt berg. Denne er lite egnet for vurdering av bergmassens fasthetsegenskaper. I ovennevnte Håndbok -135 (kap. 2.1.3) er det 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. Denne tabellen ligger til grunn for utgangsverdiene som kommer opp når bruker velger bergartstype. Trykkfasthetsverdiene har sitt utgangspunkt i angitte nedre verdier. Verdiene er kun ment å være veiledende, og kan overstyres 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 forutsettes at bruker velger friksjonskoeffisienten basert på ingeniørmessig skjønn.

3. Terreng-geometri

For landkar fundamentert på løsmasser kan terrenget i framkant 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 landkaret.

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).

For landkar fundamentert på berg kan terrenget være horisontalt eller skrått i framkant. Også for landkar fundamentert på berg kan det velges horisontal flate i framkant, men da begrenset til tåbredden (dvs. avstanden fra ytterkant veggflate til framkant såle).

I bakkant antas horisontal terrengoverflate (tilnærmet for veggflate) både for fundamentering på løsmasser og berg.

4. Laster

4.1 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 landkarhøyden. 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 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 programmet er det lagt inn mulighet for å velge mellom 1 eller 2 lastfelt. Alternativt kan en gi inn en vilkårlig verdi for lastbredden, men naturligvis begrenset til avstand mellom innerkant vingemurer. 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. Lastbredden er angitt til 2 m.

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 den jevnt fordelte lasten virke helt fram til bakkant frontvegg. Boggiekvivalentlasten antas uansett å virke fram til bakkant såle.

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).

4.2 Laster i topp frontvegg

Lastvirkningene i topp frontvegg kan bestå av vertikallast, horisontallast langs x- og y-aksen, samt momenter om de samme to aksene.

For brudd- og bruksgrensetilstanden kan det gis inn maksimalt 12 forskjellige lastkombinasjoner i topp frontvegg. Brudd- og bruksgrense-laster kan gis inn separat, dvs. inntil 12 kombinasjoner for hver grensetilstand. I bruksgrense 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. For byggetilstanden (kombinasjoner med komprimeringstrykk) er det lagt inn mulighet for å gi inn maksimalt 8 forskjellige lastkombinasjoner.

Vekt av konstruksjonen og overliggende jord beregnes av programmet. Lastfaktorer for vekt av konstruksjon og overliggende jord kan gis inn separat, likeledes separate lastfaktorer for den jevnt fordelte terrenglasten og boggiekvivalentlasten 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. For lastvirkninger i topp av frontveggen er det forutsatt at lastfaktorer er inkludert i lastverdiene som gis inn.

Det henvises for øvrig til utfyllende informasjon gitt i tilknytning til lastskjema i programmet.

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

Om det er valgt glidelager i topp frontmur, kan en velge å la programmet beregne horisontallasten i x-retning basert på angitt friksjonskoeffisient for lageret. Om ønskelig kan bruker overstyre dette, og gi inn horisontallasten direkte. Når det er valgt glidelager, vil horisontalt jordtrykk mot endetverrbjelken, inkl. ev. bidrag fra trafikklast på fylling, antas overført direkte til bruoverbygningen.

Er det derimot valgt fastlager i topp frontmur, kan en velge om horisontaltrykket mot endetverrbjelken skal legges til opplagerkraften i x-retning. Resultanten av horisontaltrykket mot endetverrbjelken blir i dette tilfellet lagt til opplagerkraften angitt i tabellen.

Om en legger inn et terrengnivå over topp frontvegg, er det lagt inn som begrensning at terrengnivået må være minst 300 mm over topp frontvegg. Dette er da tenkt å representere en minimumshøyde for endetverrbjelken.

5. Beregningsforutsetninger

Vannstand i fram- og bakkant kan varieres i området mellom underkant såle og opp til underkant av tverrbjelkenese. Det kan angis forskjellige verdier for vannstanden i fram- og bakkant.

Vekt av betongdeler og jord under vannstanden regnes neddykket. For baklab (dvs. bakre såledel) og jord over baklab 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.

Romveksleddet 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.

6. Jordtrykk

Aktivt trykk

Ruhet for beregning av jordtrykk r_v (bak landkaret) velges på grunnlag av Tabell 10.2.1-1 i N-V220. I utgangspunktet blir verdien satt til $1/\gamma_M$ for bruddgrensetilstanden (for landkar på løsmasser, i utgangspunktet null for landkar på berg), og mobiliseringsgraden f for bruksgrensetilstanden, men ruhetsverdien kan overstyres av bruker. Ved å velge «Jord» (for landkar på løsmasser, «Jord/berg» for landkar på berg) 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. Jordtrykkskoeffisienten K_A beregnes iht. pkt. 6.2.1 i N-V220.

Hviletrykk

Det er lagt inn mulighet for å velge hviletrykk mot landkaret. Iht. pkt. 10.4.2 i N-V220 antas det å være tilnærmet hviletrykk ved beregning av jordtrykk mot landkar. I samme punkt angis det for bruksgrense-tilstanden at mobiliseringsgraden f for jordtrykksberegning bestemmes for stiv konstruksjon (jf. Tabell 10.2.1-2 i N-V220). Mobiliseringsgraden velges for aktivt trykk.

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 landkaret.

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.

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 landkaret i hviletrykkstilstanden.

7. Beregning av bæreevne

Bæreevneberegningen utføres ved en effektivspenningsanalyse for landkar på løsmasser. 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 landkaret beregnes 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.

Når alle nødvendige inndata er lest inn, kan en ved menyvalget «Resultater» få opp en oversikt i tabellform over resulterende lastvirkninger ved underkant såle og beregningsresultater for hver enkelt lastkombinasjon.

Dimensjonerende lastkombinasjon blir skrevet med uthevet skrift. Ved å klikke på «Beregningsoppsett», og velge en lastkombinasjon, vil en få en mer detaljert oppstilling av beregningsresultatene for denne kombinasjonen.

Resulterende lastvirkninger ved underkant såle skrives ut. Effektiv sålebredde (B_0) og effektiv sålelengde (L_0) tegnes opp.

Beregnet vertikalt effektivt såletrykk (q_v), skrives også ut. For landkar fundamentert på løsmasser, vil videre midlere effektiv vertikal bæreevne (σ_v) og forholdet q_v/σ_v bli skrevet ut. Om dette forholdet er større enn 1, er bæreevnen 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 beregnede lasteksentrisiteter for x- og y-aksen mot begrensningen gitt i pkt. 7.2.3-1 i Håndbok N400.

For landkar fundamentert på berg kontrolleres beregnet grunntrykk i bruddgrensetilstanden q_v mot dimensjonerende trykkstyrke for bergmassen.

Landkaret blir også kontrollert mot glidning, dvs. om horisontallasten er mindre enn vertikallasten multiplisert med angitt friksjonskoeffisient (jf. pkt. 2). Denne kontrollen er iht. pkt. 7.2.2-3 i N400.

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

8. Betongdimensjonering

For bruddgrensetilstanden og bruksgrensetilstanden som danner grunnlag for beregning av rissvidder, kan bruker gå videre for å få beregnet lastvirkninger i såle og vegg, ved å klikke på menyfeltet «Beregn lastvirkninger» (for eksentrisitetskontroll er ikke dette aktuelt, slik at menyfeltet da vil være deaktivert). Lastvirkningene beregnet for landkaret blir da gjort om til belastning pr. meter, slik at disse kan leses inn i et av støttemursprogrammene, enten «Mur på løsmasser» eller «Mur på berg», avhengig av hvilken type fundamenteringsløsning som gjelder. Beregning av lastvirkninger i såle/frontmur forutsetter altså at en har aktuelt støttemursprogram installert. Ved hjelp av dette kan en videre få utført dimensjonering av betongtverrsnittene ved å lese inn lastvirkningene i valgte snitt til betongdimensjoneringsprogrammet «Betongtverrsnitt». Det henvises til beskrivelser gitt i støttemursprogrammene, samt programmet «Betongtverrsnitt».

Lastene fra landkarberegningen, utenom trafikklaster på fylling, divideres med angitt fordelingslengde for å finne laster pr. meter. For trafikklaster på fylling brukes intensiteten av flatelasten direkte.

Menyfeltet «Beregn lastvirkninger» har to undermenyer: «Fordelingslengde for laster» og «Beregning av ekvivalente laster». Om en velger «Fordelingslengde for laster», vil lastene bli dividert med angitt fordelingslengde for å finne laster pr. meter. Programmet foreslår L_0 som fordelingslengde, men dette kan overstyres av bruker.

Hvis trafikklaster på fylling inngår i den aktuelle lastkombinasjonen, har en også mulighet for å velge hvordan denne lasten skal fordeles. I utgangspunktet foreslår programmet at totallasten divideres med fordelingslengden for å finne ekvivalent trafikklaster som inndata til aktuelt støttemursprogram. For den jevnt fordelte lasten vil totallasten pr. meter være flatelasten (5 kPa iht. regelverket) multiplisert med bredden mellom innerkant vingemurer.

For kjøreveggbuer vil totallasten for boggiekvivalentlasten være 25 kPa multiplisert med lastbredden, som er avhengig av antall kjørefelt. Dette gjelder naturligvis om bredden mellom vingemurene er større enn maksimal lastbredde, ellers er totallasten 25 kPa multiplisert med bredden mellom vingemurene.

En kan også velge å regne med lastintensitetene for trafikklaster direkte, dvs. uten at disse blir dividert med fordelingslengden.

Når en velger «Beregning av ekvivalente laster», beregner programmet ekvivalente fordelte laster i topp vegg som gir samme q_v og B_0 ved beregning med det aktuelle støttemursprogrammet.

Dette vil danne grunnlag for beregning av lastvirkninger i sålen, men ikke uten videre for lastvirkninger i veggen.

Ved beregning med støttemursprogrammet vil det for dette tilfellet bare være mulig å regne lastvirkninger i såle (menyfeltet for vegg vil da være deaktivert). Når inndata hentes inn i aktuelt støttemursprogram fra «Landkar», er de fleste menyfeltene gjort inaktive i støttemursprogrammet. Om en ønsker å oppheve disse restriksjonene, kan det gjøres i det aktuelle støttemursprogrammet. Det henvises til beskrivelser gitt i støttemursprogrammene.

9. Begrensninger

Muligheten for å beregne lastvirkninger i konstruksjonen er ment å være av overslagsmessig karakter. For et landkar uten vingemurer, vil det gi ganske representative resultater, likeledes for midtpartiet av et forholdsvis bredt kasse-landkar. I soner nærmere vingemurene i et kasse-landkar vil kraftforløpet kunne avvike betydelig. Horisontallasten F_{Hx} antas å virke langs x-aksen.

For tilfellet med fastlager, vil denne horisontallasten normalt virke eksentrisk om x-aksen, siden det vanligvis bare er ett fastlager i landkaraksen.

Lasteksentrisiteten vil egentlig gi et vridningsmoment om vertikalaksen på landkaret. Med glidelager vil effekten være mye mindre, siden det bare er forskjellen i friksjonskraft og evt. usymmetrisk lagerplassering (om senter landkar), som gir opphav til vridningsmomentet. Tilsvarende antas horisontallasten F_{Hy} å virke langs senter av frontvegg. Avhengig av hvor eksentrisk frontveggen er plassert i forhold til midtlinjen i sålen, vil denne horisontallasten også gi et vridningsmoment om vertikalaksen på landkaret. Videre er boggiekvivalentlasten på fylling antatt å virke symmetrisk om x-aksen. En usymmetrisk plassering av denne, ville også gi et vridningsmoment på landkaret.

Det antas at disse omtalte vridningseffektene for normale tilfeller vil bli tatt opp av oppfylte masser rundt landkaret (som friksjon mot massene og hviletrykk).

I tillegg til forholdene nevnt ovenfor som gir opphav til vridningseffekter, vil det kunne være andre forhold som også virker inn på kraftforløpet, bl.a. akse-skjevhet. Det påhviler bruker å avgjøre, basert på ingeniørmessig skjønn, hvor representative beregningsresultatene er for en gitt landkargeometri og lastplassering.