BANE NOR

Saksbehandler: Vegard Fossbakken (Konstruksjoner og konstruksjonsmaterialer, BaneNOR)

Dato: 18.12.2024

Høring/sidekontroll: Se punkt 5

Notat; Geotekniske laster og lastkombinering ULS

1. Innledning

I forbindelse med stikkprøvekontroller for Teknisk Godkjenning, TG, av diverse konstruksjoner under et større prosjekt, ble det oppdaget en ukonsekvent og stedvis feil bruk av materialfaktor, γ_M, hviletrykkskoeffisient, K_0, og lastkombineringsfaktorer.

Etter noe korrespondanse innad i gruppen for TG, ble det holdt et møte for å se på saken og komme til enighet om forståelse av regelverket.

Dette notatet er et forsøk på å sammenfatte denne saken og konkludere med bruken av faktorene og koeffisientene.

2. Innhold

1. Innledning 1
2. Innhold 2
3. Hva bestemmes i eksisterende regelverk 3
   3.1 Eksisterende krav i TRV om partialfaktorer, Underbygning/Prosjektering_og_bygging 3
   Avsnitt 2.2 Konsekvensklasser 3
   Avsnitt: 2.4 Partialfaktorer 3
   3.2 Eksisterende krav i TRV om lastfaktorer: 4
   Avsnitt 2.2.1 Lastfaktorer for bruddgrensetilstanden 4
   3.3 Krav i / NS-EN 1990 / angående materialfaktor og lastkombinering 5
      A2.3 Bruddgrensetilstand 5
      A2.3.1 Dimensjonerende verdier for laster i vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner 5
      NA.A2.3.1 Dimensjonerende verdier for laster i vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner 5
      NA.A1.3.1 Dimensjonerende verdier for laster i vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner 5
   3.4 Krav i SVV HB N200, N-V220 og / NS-EN 1997-1 / angående materialfaktor 6
   3.5 Krav i SVV HB N400:2024 og N400(:2025) 7
   3.6 Konklusjon regelverksutdrag 8
4. Videre arbeid 9
   4.1 Spørsmål fra saksbehandler til videre diskusjon 9
   4.2 Ny kravtekst: 9
5. Høring/ sidemannskontroll 10
6. Referanser 10

3. Hva bestemmes i eksisterende regelverk

3.1 Eksisterende krav i TRV om partialfaktorer, Underbygning/Prosjektering og bygging

Avsnitt 2.2 Konsekvensklasser

Merk at konsekvensklasse i første rekke er knyttet til konsekvens av feilsituasjoner, og ikke til geoteknisk kategori.

TRV:08148
Konsekvensklasse for bruer og grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i kompliserte tilfeller: Konsekvensklasse (CC1, CC2, CC3) for bruer og for "grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i kompliserte tilfeller" skal velges iht. tabell NA-A1(901) i NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016. Merk at veg- og jernbanebruer alltid defineres i konsekvensklasse CC3.

Avsnitt: 2.4 Partialfaktorer

Faktorene gjelder både fyllinger, skjæringer og skråninger som blir etablert ved bygging, og stabilitet av konstruksjoner og landkar.

TRV:01975
Valg av partialfaktor ved stabilitets- og bæreevneberegninger: Partialfaktor skal velges under hensyn til hvordan styrken er bestemt, hvordan bruddmekanismen virker og hva som er anerkjent praksis.

- Partialfaktor γ_M er gitt i Tabell: Partialfaktor ved stabilitets- og bæreevneberegninger med ADP-metoden.
- Partialfaktor γ_M er gitt i Tabell: Partialfaktor ved stabilitets- og bæreevneberegninger med effektivspenningsmetoden.

Tabell: Partialfaktor γ_M ved stabilitets- og bæreevneberegninger med ADP-metoden

Analysetype	Konsekvensklasse	Bruddmekanisme		
		Seigt	Nøytralt	Sprøtt
Totalspenningsanalyse, ADP-metoden	CC1 Mindre alvorlig	1,40	1,40	1,40
	CC2 Alvorlig	1,40	1,40	1,50
	CC3 Meget alvorlig	1,40	1,50	1,60

Tabell: Partialfaktor γ_M ved stabilitets- og bæreevneberegninger med effektivspenningsmetoden

Analysetype	Konsekvensklasse	Bruddmekanisme		
		Seigt	Nøytralt	Sprøtt
Effektivspenningsanalyse, aφ-metoden	CC1 Mindre alvorlig	1,25	1,30	1,40
	CC2 Alvorlig	1,30	1,40	1,50
	CC3 Meget alvorlig	1,40	1,50	1,60

3.2 Eksisterende krav i TRV om lastfaktorer:

Avsnitt 2.2.1 Lastfaktorer for bruddgrensetilstanden

TRV:04907
For dimensjonering i bruddgrensetilstanden skal lastene multipliseres med koeffisienter

som angitt i NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016, tabell NA.A2.4(A), NA.A2.4(B) og NA.A2.4(C).

TRV:04908
Lastkombinasjoner som skal undersøkes er gitt i NS-EN 1990:2002+A1:2005 + NA:2016.

1. **Utførelse:** Det skal regnes med de lastfaktorer for egenlast og deformasjonslast som gir ugunstigst virkning.

TRV:04909
Kombinasjonsfaktorer (ψ-verdier) som skal anvendes er gitt i NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016, tabell NA.A2.3.

3.3 Krav i / NS-EN 1990 / angående materialfaktor og lastkombinering

A2.3 Bruddgrensetilstand

A2.3.1 Dimensjonerende verdier for laster i vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner

…

(5) Prosjektering av konstruksjonsdeler (fundamenter, peler, pilarer, sidemurer, vingemurer, side- og frontmurer på landkar, støttevegger for ballast osv.) (STR) hvor geotekniske laster og grunnens bæreevne inngår (GEO, se 6.4.1), bør gjennomføres ved bruk av bare én av følgende tre metoder og supplert med NS-EN 1997 for geotekniske laster og bæreevne:

- Metode 1: I separate beregninger brukes dimensjonerende verdier for laster fra tabell A2.4(C) og tabell A2.4(B) både for de geotekniske lastene og lastene på/fra konstruksjonen;
- Metode 2: Bruke dimensjonerende verdier for laster fra tabell A2.4(B) både for de geotekniske lastene og lastene på/fra konstruksjonen;
- Metode 3: Bruke dimensjonerende verdier for laster fra tabell A2.4(C) for de geotekniske lastene og samtidig bruke dimensjonerende verdier for laster fra tabell A2.4(B) for lastene på/fra konstruksjonen.

MERKNAD Valg av metode 1, 2 eller 3 angis i det nasjonale tillegget.

…

NA.A2.3.1 Dimensjonerende verdier for laster i vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner

…

NA.A2.3.1(5) Bestemmelsene i NS-EN 1990:2002/NA:2008, punkt NA.A1.3.1(5) gjelder, men lastfaktorer benyttes i henhold til tabell NA.A2.4(C) respektive NA.A2.4(B).

…

NA.A1.3.1 Dimensjonerende verdier for laster i vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner

…

NA.A1.3.1(5) Ved geoteknisk prosjektering brukes metode 3, unntatt ved prosjektering av peler der metode 2 brukes.

For begge metoder beregnes bygningslaster med lastfaktorer etter tabell NA.A1.2(B). For metode 3 beregnes i utgangspunktet geotekniske laster med faktorer etter tabell NA.1.2(C) og med materialfaktorer i henhold til NS-EN 1997-1. Der det er mer ugunstig (f. eks. meget bløt leire) skal geotekniske laster (trykk mot konstruksjonen) bestemmes på grunnlag av karakteristiske verdier for materialparametere og multipliseres med lastfaktorer i henhold til tabell NA.A1.2(B).

Ved en realistisk simulering av samvirket mellom grunn og konstruksjon bør man bruke karakteristiske parametere og multiplisere de beregnede geotekniske laster, eventuelt lastvirkninger i konstruksjonen, med lastfaktorer etter tabell NA.A1.2(B).

MERKNAD Dersom beregnet lastvirkning inneholder en andel forårsaket av variable laster (f. eks. terrenglaster) multipliseres disse med lastfaktor for variabel last, mens lastandelen fra permanent last (f. eks. egenvekt jord) multipliseres med faktor for permanent last.

…

3.4 Krav i SVV HB N200, N-V220 og / NS-EN 1997-1 / angående materialfaktor

/N200/, Tabell 1.4.2—1 og Tabell 1.4.2—2. fastsetter Partialfaktoren, γ_M. For de fleste brukonstruksjoner har praksis vert at en skal benytte Konsekvensklasse Meget Alvorlig og en skal ofte benytte Bruddmekanisme Seigt brudd, noe som gir $\gamma_M = 1{,}4$ i begge tabellene.

/N-V220/, 9.2.5 Jordtrykk, åpner opp for bruk av $K_0 = 0{,}30$, i hvert fall tolkes dette punktet slik av enkelte prosjekterende. Erfaringer fra prosjekter og kontrollprosesser er at enkelte prosjekterende argumenterer for beregning av K_0 kun med $\gamma_M = 1{,}0$ for ULS og brukonstruksjoner, med bakgrunn i /N-V220/, 9.2.5.

/NS-EN 1997-1/ nyanserer og spisser verdien av γ_M mot (STR) og (GEO) i større grad enn TRV og /N400/:

A.3.2 Partialfaktorer for jordparametere (γ_M)

(1)P For påvisning av tilstrekkelig motstand i grensetilstander for konstruksjoner (STR) og geotekniske grensetilstander (GEO) skal sett *M1* eller sett *M2* brukes med følgende partialfaktorer for jordparametere (γ_M):

- $\gamma_{\varphi'}$ for tangens til friksjonsvinkelen;
- $\gamma_{c'}$ for effektiv kohesjon;
- γ_{cu} for udrenert skjærfasthet;
- γ_{qu} for enaksial fasthet;
- γ_{γ} for tyngdetetthet.

MERKNAD Verdiene som skal brukes for $\gamma_{\varphi'}$, $\gamma_{c'}$, γ_{cu}, γ_{qu} og γ_{γ} i et land, kan finnes i det nasjonale tillegget til denne standarden. Anbefalte verdier for de to settene *M1* og *M2* er gitt i tabell A.4.

Tabell NA.A.4 – Partialfaktorer for jordparametere, for tangens til friksjonsvinkel:

- $\gamma_M = 1{,}0$
  ved Sett M1 (Metode 2 i EC0 og Dimensjoneringsmetode 2 i EC7 pkt 2.4.7.3.4.3)

- $\gamma_M = 1{,}25$
  ved Sett M2 (Metode 3 i EC0 og Dimensjoneringsmetode 3 i EC7 pkt 2.4.7.3.4.4)

3.5 Krav i SVV HB N400:2024 og N400(:2025)

/N400:2024/, Krav 6.2.5—1 fastsetter i hovedsak at metode 3 skal benytter og underbygger / NS-EN 1990 /

/ N400 / Krav 6.2.5—1
Følgende gjelder for valg av metode (metode 2 eller 3, se NS-EN 1990 og NS-EN 1997-1) ved kapasitetskontroller (STR) av betongkonstruksjoner som landkar, støttemurer, kulverter og hvelv med geotekniske laster:

- I beregninger der grunnens bæreevne inngår, skal dimensjonerende snittkrefter i konstruksjonen bestemmes med den ugunstigste av metode 2 og 3.
- I beregninger der grunnens bæreevne ikke inngår, skal valg av metode ved beregning av dimensjonerende snittkrefter i konstruksjonen vurderes for det enkelte tilfellet.

Med «grunnens bæreevne» menes tillatt grunntrykk og/eller glidemotstand (friksjon). Ved såle på berg og tilbakefylling med knuste steinmaterialer vil kapasitetskontroller som regel kunne baseres på metode 2.

3.6 Konklusjon regelverksutdrag

Dimensjonerende geotekniske laster mot betongkonstruksjoner som f.eks. landkar, støttemurer, kulverter og hvelv for å bestemme dimensjonerende snittkrefter i konstruksjonen (STR) bestemmes som den mest ugunstige av metode 2 og 3, hvor:

- Metode 2: lastfaktorer fra tabell NA.A2.4(B) i / NS-EN 1990 /, partialfaktor for materialparametere på jord, $\gamma_M = 1{,}00$ fra sett M1 i tabell NA.A.4 i / NS-EN 1997-1 /

- Metode 3: lastfaktorer fra tabell NA.A2.4(C) i / NS-EN 1990 /, partialfaktor for materialparametere på jord, $\gamma_M = 1{,}25$ fra sett M2 i tabell NA.A.4 i / NS-EN 1997-1 /

  Merknad: Det kan diskuteres om dette første punktet kalles «metode 2» eller «en del av metode 3», men selve metoden er entydig beskrevet og skal medtas i dimensjoneringsgrunnlaget.

Når kontroll av grunnens kapasitet (GEO) inngår eller utføres benyttes metode 3 med partialfaktor etter TRV:01975, unntatt for peler hvor metode 2 skal brukes.

I eksempel under kan en typisk få følgende sammensetning av faktorer ved $\phi = 42$:

STR/GEO Metode 2 / Sett B:

$\phi_d = \text{atan}(\tan\phi/\gamma_M) = \text{atan}(\tan 42/1{,}0) = 42^o$ (lign. iht. V220 [8] pkt. 5.2.1)
$K_0 = 1 - \sin\phi_d = 1 - \sin 42^o = 0{,}33$ (lign. iht. V220 [8] pkt. 5.4.3)

- $K_0 \cdot \gamma_F = 0{,}33 \cdot 1{,}35 = 0{,}45$ eller $K_0 \cdot \gamma_F = 0{,}33 \cdot 1{,}0 = 0{,}33$ (permanent)
- $K_0 \cdot \gamma_F = 0{,}33 \cdot 1{,}35 = 0{,}45$ (trafikk, ikke jernbanetrafikk)
- $K_0 \cdot \gamma_F = 0{,}33 \cdot 1{,}5 = 0{,}50$ (jernbanetrafikk og øvrig variabel)

STR/GEO Metode 3 / Sett C (og Sett B):

$\phi_d = \text{atan}(\tan\phi/\gamma_M) = \text{atan}(\tan 42/1{,}25) = 35{,}8^o$
$K_0 = 1 - \sin\phi_d = 1 - \sin 35{,}8^o = 0{,}416$

- $K_0 \cdot \gamma_F = 0{,}416 \cdot 1{,}0 = 0{,}416$ (permanent) $0{,}33 < 0{,}416 < 0{,}45$
- $K_0 \cdot \gamma_F = 0{,}416 \cdot 1{,}15 = 0{,}478$ (trafikk, ikke jernbanetrafikk) $> 0{,}45$
- $K_0 \cdot \gamma_F = 0{,}416 \cdot 1{,}3 = 0{,}541$ (jernbanetrafikk og øvrig variabel) $> 0{,}50$

---

4. Videre arbeid

4.1 Spørsmål fra saksbehandler til videre diskusjon

Hva mener N400 om dette?

Kan Vegdirektoratet gå med på konklusjonen i avsnitt 3.5 Konklusjon regelverksutdrag?

Det kan opprettes nytt krav eller endre eksisterende krav under: wiki/Bruer_og_konstruksjoner/Prosjektering_og_bygging/Fundamentering#Sikkerhetsprinsipper

4.2 Ny kravtekst:

TRV:XXXXX Tidligere forslag

Dimensjonerende geotekniske laster mot betongkonstruksjoner som f.eks. landkar, støttemurer, kulverter og hvelv for å bestemme dimensjonerende snittkrefter i konstruksjonen (STR) bestemmes i hviletrykk tilstand (K_0) og som den mest ugunstige av metode 2 og 3, hvor:

- Metode 2: lastfaktorer fra tabell NA.A2.4(B) i NS-EN 1990, partialfaktor for materialparametere på jord fra sett M1 i tabell NA.A.4 i NS-EN 1997-1.

- Metode 3: lastfaktorer fra tabell NA.A2.4(C) i NS-EN 1990, partialfaktor for materialparametere på jord fra sett M2 i tabell NA.A.4 i NS-EN 1997-1.

Der konstruksjonen trykker mot jordmassene ~~for eksempel~~ i enden av fugefrie bruer bestemmes de ovenfornevnte lastene i passivtrykk tilstand, men jordas kapasitet kontrolleres som nevnt nedenfor.

Når kontroll av grunnens kapasitet (GEO) inngår eller utføres benyttes metode 3 med partialfaktor etter TRV:01975 og TRV: 04536, unntatt for peler hvor metode 2 skal brukes.

TRV:XXXXX endelig forslag

Dimensjonerende geotekniske laster mot betongkonstruksjoner som f.eks. landkar, støttemurer, kulverter og hvelv for å bestemme dimensjonerende snittkrefter i konstruksjonen (STR) bestemmes som den mest ugunstige av metode 2 og 3, hvor:

- Metode 2: lastfaktorer fra tabell NA.A2.4(B) i NS-EN 1990, partialfaktor for materialparametere på jord fra sett M1 i tabell NA.A.4 i NS-EN 1997-1.

- Metode 3: lastfaktorer fra tabell NA.A2.4(C) i NS-EN 1990, partialfaktor for materialparametere på jord fra sett M2 i tabell NA.A.4 i NS-EN 1997-1.

Når kontroll av grunnens kapasitet (GEO) inngår eller utføres benyttes metode 3 med partialfaktor etter TRV:01975 og TRV: 04536, unntatt for peler hvor metode 2 skal brukes.

5. Høring/ sidemannskontroll

Dette notatet er sendt på høring/ sidemannskontroll hos øvrige regelverksressurser innen konstruksjonsteknikk i Bane NOR samt Vegdirektoratet og N400.

6. Referanser

/ NS-EN 1990 / :2002+A1:2005+AC:2010+NA:2016 Eurokode - Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner

/ NS-EN 1997-1 / :2004+A1:2013+NA:2020 Eurokode 7 - Geoteknisk prosjektering - Del 1: Allmenne regler

/ N200 / SVV HB Vegnormal N200:2024 Vegbygging

/ N-V220 / SVV HB Vegnormal Veiledning N-V220:2023 Geoteknikk i vegbygging

/ N400 / SVV HB Vegnormal N400:2025 Bruprosjektering

/ N400:2024 / Tidligere utgave SVV HB Vegnormal N400:2024 Bruprosjektering