1 HENSIKT OG OMFANG 2
2 DIMENSJONERENDE MATERIALFASTHET 3
2.1 Konstruksjonsfasthet betong 3
2.2 Spennkraft for spennkabler 3
3 DIMENSJONERING 4
3.1 Generelt 4
3.1.1 Deformasjonslaster 4
3.2 Bruddgrensetilstanden 4
3.3 Bruksgrensetilstanden 5
3.3.1 Rissvidder 5
3.3.2 Deformasjoner 5
3.4 Utmattingsgrensetilstanden 5
3.4.1 Lineær skadeteori 5
3.4.2 Forenklet metode 6
4 ARMERINGSREGLER 7
4.1 Armeringsoverdekning 7
4.2 Bøyning 7
4.3 Spennkabler 7
5 KONSTRUKSJONSREGLER 9
5.1 Generelt 9
5.2 Søylefundamenter 9
5.3 Søyler, vegger og tverrbærere 11
5.4 Landkar og støttemurer 11
5.5 Overbygning 11
6 UTFØRELSE 12
6.1 Generelt 12
6.2 Materialer 12
6.2.1 Betong 12
6.2.2 Armering 12
6.2.3 Spennstål og spennsystemer 12
6.2.4 Injiseringsmørtel for kabelrør 12
6.3 Kontroll 12
6.4 Toleranser 13
6.5 Etterbehandling 13

1 HENSIKT OG OMFANG

Dette kapitlet omhandler regler for prosjektering og bygging av betongkonstruksjoner for bruer.

Betongkonstruksjoner skal dimensjoneres i de forskjellige grensetilstandene i henhold til NS 3473 med referanser, med tillegg, endringer og presiseringer som er gitt i denne delen. I tilfelle anvisningene nedenfor fører til mildere krav enn tilsvarende i NS 3473, gjelder NS 3473.

Beregning av lastvirkninger skal baseres på forutsetninger og beregningsmodeller som ivaretar konstruksjonsdelenes virkemåte i den aktuelle grensetilstand.

2 DIMENSJONERENDE MATERIALFASTHET

Dimensjonerende materialfasthet skal bestemmes i henhold til NS 3473 punkt 10.4. Reduserte materialkoeffisienter i henhold til NS 3473 punkt 10.4.3 skal ikke benyttes.

2.1 Konstruksjonsfasthet betong

I betongkonstruksjoner for jernbanebruer skal ikke lavere fasthetsklasse enn C45 MA etter NS 3473, tabell 5 benyttes.

2.2 Spennkraft for spennkabler

Spennkabler for jernbanebruer skal ikke ha høyere flytekraft, $F_{0,2}$, enn 3200 kN.

Bruk av eventuelle større spennkabler skal på forhånd godkjennes av Jernbaneverket Hovedkontoret i hvert enkelt tilfelle.

3 DIMENSJONERING

3.1 Generelt

Karakteristiske laster er gitt i kapittel 5, avsnitt 4.
Lastkoeffisienter for de forskjellige grensetilstandene er gitt i kapittel 5, avsnitt 3.2.

Normalt forlanges lastvirkninger beregnet etter elastisitetsteori.

3.1.1 Deformasjonslaster

Ved beregning av dimensjonerende lastvirkninger skal det tas hensyn til

- kryp og svinn
- relaksasjon
- setninger
- byggemåte
- tidsforløp

Den ferdige konstruksjon skal minimum kontrolleres for to tilstander

- en like etter at brua er åpnet for toglast
- en etter at all krypning, svinn og relaksasjon har funnet sted

Ved valg av parametere for kryp og svinn kan det normalt antas 70 % relativ fuktighet for bruas overbygning, og 80 % relativ fuktighet for søyler over vann.

Tap av spennkraft på grunn av friksjon kan beregnes etter

$$P = P_0 \cdot \left(1 - e^{-\mu(\alpha + kL)}\right) \qquad (7.1)$$

P_0 = spennkraft ved aktiv forankring
α = samlet tilsiktet retningsendring
μ = friksjonskoeffisient
k = tilfeldig retningsendring pr. meter
L = lengde av kabel

μ og k oppgis av spennstålleverandør; verdiene skal dokumenteres

For krav til totalsetninger og differansesetninger vises det til kapittel 6, avsnitt 4.3. For bruer som er særlig ømfintlige for setninger, som kontinuerlige bruer, skal kravene vurderes i samråd med Jernbaneverket og geoteknisk rådgiver.

3.2 Bruddgrensetilstanden

Det henvises til NS 3473.

Det skal ikke i noe snitt velges mindre armering enn den som er forutsatt ved beregning av forskyvninger.

3.3 Bruksgrensetilstanden

3.3.1 Rissvidder

Rissvidder skal ikke overskride verdiene gitt i NS 3473, tabell 9, for miljøklasse MA.

For spennarmerte bruer gjelder følgende krav for bruoverbygningen:

- på undersider: iflg. miljøklasse MA
- på overside i spennarmeringsretning: $W_k = 0,00$
- på overside tvers på spennarmeringen: iflg. miljøklasse MA

For spennarmerte bjelkebruer gjelder følgende krav:

- 0,10 mm karakteristisk rissvidde på undersiden
- 0,00 mm karakteristisk rissvidde på oversiden

For slakkarmering gjelder samme krav som NS 3473, generelt 0,2 mm (MA betong).

Rissviddebegrensningen er knyttet til rissets vidde i avstand fra armeringen tilsvarende minste tillatte overdekning, se punkt 4.2. Ved større overdekning reduseres rissviddebegrensningen som angitt i NS 3473 pkt. 15.2.3. Rissvidder skal kontrolleres for dimensjoneringssituasjon 2 for bruksgrensetilstanden i kapittel 5, tabell 5.3, med følgende modifiserte kombinasjonsfaktorer for toglaster i dimensjoneringssituasjon 2:

- bruer med enkeltspor, reduksjonsfaktor 0,80
- bruer med 2 eller flere spor, reduksjonsfaktor 0,60 (se også kap. 5, tabell 5.2)

Bestemmelsene i NS 3473 punkt 15.2.4 utgår.

Se forøvrig fotnote 2 under tabell 5.2, kap. 5.

3.3.2 Deformasjoner

Krav til deformasjoner er gitt i kapittel 5 Laster.

3.4 Utmattingsgrensetilstanden

Det henvises til NS 3473, punkt 13.

Alternative metoder for kontroll av utmattingsgrensetilstanden kan benyttes dersom disse dokumenteres.

Betongbruer skal kontrolleres for en levetid på 100 år.

3.4.1 Lineær skadeteori

Det henvises til NS 3473, punkt 13.1.2.

Antall vekslinger i konstruksjonens levetid skal multipliseres med utmattingsfaktor som definert i tabell 7.1. Utnyttelsesfaktoren definert i NS 3473, punkt 13.1.2 skal settes til $\eta = 1,0$ for både armering og betong.

Tabell 7.1

Konstruksjonsdelens betydning for bruas bæreevne	Utmattingsfaktor
Avgjørende	3
Ikke avgjørende	1

Utmattingsberegningene baseres på forventede laster og forventet lasthistorie for toglaster. For disse laster kreves opplysninger om

- antall tog av forskjellige typer og lengder
- vekt av de forskjellige togtyper
- akselavstander og aksellast

Opplysningene skal spesifiseres av Jernbaneverket i prosjekteringsgrunnlaget for den aktuelle bru.

Toglaster skal inkludere dynamiske faktorer Φ i henhold til kapittel 5, avsnitt 5.3.

I helt spesielle tilfeller der vind og eventuelt bølger kan forventes å bidra til utmattingslastene skal disse laster også inkluderes.

3.4.2 Forenklet metode

Det henvises til NS 3473, punkt 13.1.4 og 13.2.

Forenklet metode kan benyttes dersom det påvises at denne gir resultater på sikre side. For toglast inkluderes den dynamiske faktor i henhold til kapittel 5, avsnitt 5.3.

For bruer med korte spenn vil forenklet metode være for konservativ og skal ikke benyttes.

For bruer der spenningsvekslingene domineres av toglaster kan forenklet metode etter NS 3473 benyttes under følgende forutsetninger:

- Lastmodell i henhold til kapittel 5, avsnitt 4 skal plasseres i ugunstigste posisjon i forhold til det snitt som betraktes. Lastmodellen kan avkortes eller oppdeles vilkårlig for å oppnå den ugunstigste virkning.

- Beregningene skal baseres på $N = 2 \cdot 10^6$ sykler.

- Spenninger på grunn av toglaster inkludert i σ_{maks}, σ_{min} og $\Delta\sigma$ (notasjon i henhold til NS 3473 punkt 13.2) skal baseres på lasttog spesifisert i kapittel 5, avsnitt 4.

- Spenningene som skyldes toglast i spenningene σ_{maks}, σ_{min} og $\Delta\sigma$ skal multipliseres med den dynamiske faktor, Φ_2, i henhold til kapittel 5, avsnitt 5.3.

- Spenningene som skyldes toglast skal multipliseres med utmattingsfaktor, λ, i henhold til kapittel 8, avsnitt 3.4.

4 ARMERINGSREGLER

Armeringsreglene i NS 3473 punkt 17 gjelder generelt. Dessuten gjelder krav til armeringsplassering angitt i Statens vegvesens håndbok 026, Prosesskode 2.

4.1 Armeringsoverdekning

Kravene til overdekning og plassering er benyttet til miljøklasse MA og gjelder også for miljøklasse NA.

Generelt skal overdekningskrav være 55 ± 15 mm og angis på armeringstegninger. For prefabrikerte elementer kan overdekningen reduseres til 45 ± 15 mm.

For konstruksjoner i alunskifer eller sterkt sulfatholdig grunnvann skal minimumsarmeringen vurderes særskilt.

Ved undervannsstøp skal overdekningen være 100 mm.

For søyler i underganger som vil bli utsatt for saltsprut og saltføyke skal overdekningen være 60 mm.

I tørre og tilgjengelige hulrom, f.eks. kassetverrsnitt, hule søyler eller landkar, får minimumsoverdekningen være 30 mm.

For underkant fundamenter over vann skal overdekningen være:

- støp mot betongavretning: 40 mm
- støp mot fjell eller faste løsmasser: 60 mm

For underkant fundamenter under vann skal overdekningen være:

- tørrstøp mot betongavretting i tørrlagt byggegrop: 60 mm
- tørrstøp mot fjell eller faste løsmasser i tørrlagt grop: 100 mm
- undervannsstøp mot betongavretting: 150 mm
- undervannsstøp mot fjell eller faste løsmasser: 200 mm

4.2 Bøyning

Bøyd armering som skal rettes eller ombøyes, skal være av sveisbar kvalitet.

4.3 Spennkabler

Uinjiserte kabelsystemer skal generelt ikke benyttes som spennarmering i jernbanebruer. For større bruer med kassetverrsnitt kan uinjiserte, frittliggende spennkabler eventuelt benyttes etter spesiell vurdering og godkjennelse fra Jernbaneverket Hovedkontoret i hvert enkelt tilfelle.

Hvis skjøting av spennkabler utføres med skjøtekoblinger, skal maksimalt 2/3 av kablene skjøtes i samme snitt (støpeskjøt). Snitt med avstand fra hverandre mindre enn $2 \cdot$ tverrsnittshøyden skal regnes som samme snitt.

I bjelkebruer skal det minimum benyttes 6 kabler i hver bjelke. For største tillatte kabler vises til avsnitt 2.2.

Slakkarmering gjennom støpeskjøter med skjøtt spennarmering skal utgjøre minst 0,75 % av arealet av tverrsnittsdelen. Som tverrsnittsdeler regnes steg, flens osv. Skjøtt armering i støpeskjøten skal ha omfarlengde minimum $50 \cdot d$ (d er stangdiameter), men minst 1 meter.

5 KONSTRUKSJONSREGLER

5.1 Generelt

Konstruksjonsreglene i NS 3473 punkt 18 gjelder generelt.

Bru som er klargjort for trafikk skal ha riktig vertikal- og horisontalkurvatur etter at all krypning, svinn og relakasjon har funnet sted, men uten toglast.

Ved utforming av bruer skal det legges vekt på

- vedlikeholdsvennlige konstruksjoner
- god vannavrenning
- unngå vannlommer
- god tilgjengelighet for inspeksjon og vedlikehold av eksponerte flater og lagre
- bruas form og landskapsmessige tilpasning

Det skal anordnes dryppneser for å hindre at vann renner inn under og langs betongflater. Kravet gjelder også for byggetilstanden.

Lageravsatser bør ha en helning på ca. 1:50 for vannavrenning, i forkant lageravsats bør det være dryppkant med dryppnese.

Det skal være adkomst til alle hulrom i konstruksjonen.

Vertikale støpeskjøter skal støpes mot forskaling. Støpeskjøten skal ha fortanning for den aktuelle kraftoverføring. Fortanningen skal ikke være synlig fra utsiden.

Ved støpeskjøter i brudekket skal det påføres epoksylim vått i vått ned til overkant armering.

I områder utsatt for stor gangtrafikk under bygging skal det ikke benyttes armering med diameter under 16 mm.

5.2 Søylefundamenter

Fundamenter skal utføres med konstant høyde; hvis fjellet er skrånende skal det sprenges slik at horisontale avsatser etableres. Overkanten skal avrettes med fall min. 2 % bort fra søylelivet.

Ved undervannsstøp tillates horisontale støpeskjøter i overgangene mellom fundament og søyle, og mellom eventuell sokkel og søyle.

Vertikale støpeskjøter skal ha liggende grov og avfaset fortanning som sikrer god utstøping og kraftoverføring.

Utføres fundamentet med sokkel, skal denne gå minimum 300 mm utenfor søylen og avrettes med fall 3:1 fra søylen. Sokkel som avsluttes over vann skal føres 500 mm over høyeste vannstand.

Krav til fundamenter ved direkte fundamentering

Minimumtykkelse ved kant av søyle eller sokkel ved

• tørrstøp:	500 mm
tørrstøp direkte på fjell:	400 mm
• undervannsstøp:	1000 mm

Minimum fundamentutspring fra kant søyle eller sokkel:	300 mm

Minimumsarmering

• underkant og overkant fundament:	Ø16 c200 mm
• alle sideflater:	Ø16 c300 mm

Krav til pælefundamenter

Minimumstykkelse, ved kant av søyle eller sokkel regnet fra topp pæl

• ved tørrstøp:	1000 mm
• ved undervannsstøp:	1500 mm

Innstøpingslengde av topp betongpæl i fundament

• ved tørrstøp:	200 mm
• ved undervannsstøp:	300 mm

Minste avstand fra kant fundament til ytterkant ferdig rammet pæl:	500 mm

Minimumsarmering

• underkant og overkant fundament:	Ø16 c200 mm
• alle sideflater:	Ø16 c300 mm

Underkantarmeringens avstand til topp av kappet pæl

• ved tørrstøp:	30 mm
• ved undervannsstøp:	100 mm

Rissviddekrav iflg. pkt. 3.3.1 gjelder også for underkant av pælefundamenter.

Frittstående pælefundamenter i vann skal utføres som tørrstøp.

For utstøpte stålrørspæler skal stålrøret avsluttes min. 20 mm inne i fundamentet.

Forankringslengden av pælens lengdearmering opp i fundamentet skal være minimum 40 · armeringens diameter.

Ved tørrstøp av pælehoder på løsmasser gjelder krav til underlag gitt i NS 3473 punkt 17.1.6.

Ved undervannsstøp mot forskaling av prefabrikerte betongelementer skal slik forskaling ikke medregnes som konstruktiv del av fundament og medfører heller ikke reduksjon av krav til overdekning.

5.3 Søyler, vegger og tverrbærere

Søyler og tverrbærere skal ikke ha mindre lengdearmering enn Ø16 c200 mm. Tverrarmeringen skal ikke være mindre enn Ø12 c200 mm.

Vegger skal dobbeltarmeres i begge retninger. Armeringen skal ikke ha mindre diameter enn 12 mm.

Konstruksjonsdeler som danner innvendig spisst hjørne (< 90^o) skal utformes med voute ≥ 150 · 150 mm.

5.4 Landkar og støttemurer

I landkar skal det ikke benyttes armering med mindre diameter enn 12 mm. Det kan gjøres unntak for spesielle detaljer hvor mindre dimensjon er nødvendig for eksempel på grunn av bøyeradius. Minimumsarmering for landkarsåler er den samme som for søylefundamenter.

Normalt skal landkaret eller rammebeinet utføres med overgangsplate. Overgangsplatens lengde skal være minst 3,5 meter og skal ha helning bakover fra frontveggen, ca. 1:5. Overgangsplaten skal ikke antas å bidra til landkarets stabilitet. Se også kap. 4, avsnitt 3.8. I bruer der overbygningen fortsetter forbi landkaret skal overgangsplaten festes til brudekket.

Landkar- og støttemursåler skal ha min. 2 % helning for vannavrenning. Kasselandkar skal være drenerte.

Lengden på vegger i landkar og støttemurer skal begrenses for å minimalisere svinnriss. Dette skal spesielt beaktes ved fundamentering direkte på fjell. Over et parti på min. 1,5 m regnet fra sålens overkant, skal horisontalarmeringen også dimensjoneres for tvangskrefter fra differensialsvinn mellom vegg og såle. Eventuell fastholding av sålen samt alderforskjell mellom vegg og såle skal tas hensyn til.

5.5 Overbygning

Det skal beregnes overhøyder for overbygningen. Det skal tas hensyn til egenlast, kryp og svinn, relaksasjon og byggemåte i beregningene, slik at brudekket beregningsmessig ligger på teoretisk linje etter langtidsdeformasjoner. Ved spesifikasjon av overhøyder på tegninger skal toleranser for bygging (avvik fra tillatt høydeforskjell) reflekteres.

Minste tillatte dekketykkelse under direkte trafikkbelastet del er 300 mm.

Alle tverrsnittsdeler skal være dobbeltarmert i begge retninger. Slakkarmeringen bør ikke ha mindre dimensjon enn 12 mm. Det kan gjøres unntak for spesielle detaljer der mindre dimensjon kreves for eksempel på grunn av bøying.

Slakkarmeringen skal skjøtes i støpeskjøt mellom støpeavsnitt. Samme armeringsstang tillates ikke å gå gjennom flere støpeavsnitt unntatt hvor disse støpes i fortløpende rekkefølge.

Strekkarmeringen bør fordeles i samsvar med spenningsfordeling etter elastisitetsteorien for å oppnå gunstig rissfordeling.

Ved skjøting av hovedarmering i strekkpåkjent snitt skal maksimalt hvert annet jern skjøtes i samme snitt.

Kantbjelke for innfesting av rekkverk skal gis en bredde ≥ 350 mm. Kantbjelkens overflate skal helle innover 1:50, og være 600 mm høy.

6 UTFØRELSE

6.1 Generelt

Den prosjekterende skal sørge for at informasjon om materialer, utførelse og kontroll overbringes til entreprenøren via tegninger og spesifikasjoner.

Materialene, utførelsen og kontrollen skal være i samsvar med Statens vegvesens håndbok 026 - Prosesskode 2 og tilhørende standarder for betongarbeider, det vil si NS 3473, NS 3420 bind 1 Tekniske bestemmelser Kapittel L, inklusive kommentarer og norske standarder referert til i disse, med tillegg og endringer gitt i det følgende.

6.2 Materialer

6.2.1 Betong

Materialer skal være i samsvar med Prosesskode 2, prosess 84.4. Jernbanebruer tilhører miljøklasse MA.

For proporsjoneringen skal tabell 7.2 legges til grunn.

Tabell 7.2

Miljøklasse	Største masseforhold $m = \frac{v}{c + k \cdot s}$	Minimum sementmengde i kg/m^3 c	Silikadosering % av c
Meget aggressivt MA	0,40	350	3 - 5

Luftinnførende tilsetningsstoff skal benyttes når betongen utsettes for frysing/tining i våt eller sterkt fuktig tilstand.

6.2.2 Armering

Armeringsstål skal tilfredsstille kravene i NS 3570 og NS 3572. Sveisbart armeringsstål skal ikke ha høyere karbonekvivalent (C_{eq}) enn 0,45 %.

6.2.3 Spennstål og spennsystemer

Spennstål og spennsystemets delkomponenter skal tilfredsstille kravene i NS 481, del 3.

Det skal dokumenteres at spennstålet og den samlede spennenhets utmattingsegenskaper tilfredsstiller beregningsforutsetningene.

6.2.4 Injiseringsmørtel for kabelrør

Materialer skal være i samsvar med anbefalingene gitt i Norsk Betongforenings publikasjon nr. 14.

6.3 Kontroll

Jernbanebruer skal utføres i klasse utvidet kontroll (U).

6.4 Toleranser

Krav til ferdig betongkonstruksjon:

Tillatte avvik iflg. Prosesskode 2, prosess 84 er gjengitt i tabell 7.3 og 7.4 nedenfor.

Tabell 7.3

Toleranseklasse			1	2	3	4
Sammensatt byggeplassavvik			±20 mm	±30 mm	±50 mm	±100 mm
Tverrsnitt, maks.						
	Betong	med mer	±10 mm	±15 mm	±20 mm	±30 mm
		%	±10 %	±10 %	±10 %	±10 %
	spennbetong	med mer	±10 mm	±15 mm	±20 mm	±30 mm
		%	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %
Loddavvik, maks.		med mer	±20 mm	±30 mm	±40 mm	±50 mm
		‰	±3 ‰	±4 ‰	±6 ‰	±8 ‰
Overflateavvik						
Svanker og bulninger, grater, sprang og topper						
	Målelengde	1 m	3 mm	5 mm	8 mm	12 mm
	Målelengde	3 m	5 mm	8 mm	12 mm	20 mm
Maks. avvik fra riktig høydeforskjell målt innen 20 m			±10 mm	±15 mm	±20 mm	±30 mm

Normalt gjelder nøyaktighetsklasse B i tabell 7.4.

Tabell 7.4

Nøyaktighetsklasse Bygningsdeler	A	B	C
Fundamenter	3	4	4
Landkar	2	3	4
Søyler	1	2	3
Bjelker og tverrdragere	2	3	3
Vegger og bunnplate i kassetverrsnitt	1	2	3
Dekker (underkant, sider og tverrsnitt)	2	2	3
Dekker, overflate	3	3	3
Karakteristiske linjer i bruas lengderetning (gesimser, sidekanter, brystninger osv.)	1	2	3

6.5 Etterbehandling

For herdetiltak henvises det til Prosesskode 2, pkt. 84.54. Metode avtales med byggherren.

Hvis membran benyttes, skal denne fjernes før brudekket fuktisoleres med natriumsilikat. Se kap. 4 pkt. 3.3.

Antigrafittibehandling av synlige flater skal vurderes i hvert enkelt tilfelle.