

Bruprosjektering med tanke på bestandighet

Etatsprogrammet varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 545



Foto: Håvard Johansen

Tittel

Bruprosjektering med tanke på bestandighet

Undertittel**Forfatter**

Gaute Nordbotten

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603242

Rapportnummer

Nr. 545

Prosjektleder

Synnøve A. Myren / Sølvi Austnes

Godkjent av

Lise Bathen

Emneord

Varige konstruksjoner, fremtidens bruer, bruprosjektering, bestandighet

Sammendrag

Denne rapporten tar for seg bruprosjektering slik som det bør se ut i dag, og med forklaringer på hvorfor det er slik. Den knytter også punktene opp mot den upubliserte rapporten "Prosjektering for bestandighet - med omtale og eksempler fra bruer" fra 1994. Mye av innholdet i rapporten fra 1994 er i dag innarbeidet i regelverket og er praksis i bransjen. En del temaer er vanskelig å ha i regelverket og burde vært innarbeidet i en veileder. Så godt som alle de kommenterte detaljer er nå ivarettatt i regelverket.

Rapporten kan brukes i forbindelse med opplæring og som bakgrunnsmateriale til en ny veileder innenfor bruprosjektering. Rapporten tar ikke for seg dimensjonering, selve materialene betong eller stål, og minimalt om overflatebehandling. Trebruer er ikke omtalt. Alle temaer er illustrerte.

Title

Bridge design considering durability

Subtitle**Author**

Gaute Nordbotten

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Tunnel and concrete

Project number

603242

Report number

No. 545

Project manager

Synnøve A. Myren / Sølvi Austnes

Approved by

Lise Bathen

Key words

Durable structures, future bridges, bridge design, durability

Summary

This report deals with bridge design as it should be today, with explanations on why. It also ties the points to the unpublished report "Designing for durability - with discussion and examples from bridges" from 1994. Much of the content in the report from 1994 is today incorporated in regulations and is practice in the industry. Some of the themes should have been incorporated in guidances, as they do not fit into regulations. Almost all commented details are now addressed in the regulations.

The report can be used in connection with training, and as background material for a new guidance within bridge design. The report does not address calculations, the materials concrete and steel, and minimum on surface treatment of steel. Timber bridges are not commented. All Themes are illustrated.

Forord

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra **etatsprogrammet Varige konstruksjoner**.

Programmet hører til under Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Statens vegvesen, Vegdirektoratet, og foregår i perioden 2012-2015. Hensikten med programmet er å legge til rette for at riktige materialer og produkter brukes på riktig måte i Statens vegvesen sine konstruksjoner, med hovedvekt på bruer og tunneler.

Formålet med programmet er å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for konstruksjonene. Dette vil igjen føre til lavere kostnader. Programmet vil også bidra til å øke bevisstheten og kunnskapen om materialer og løsninger, både i Statens vegvesen og i bransjen for øvrig.

For å realisere dette formålet skal programmet bidra til at aktuelle håndbøker i Statens vegvesen oppdateres med tanke på riktig bruk av materialer, sørge for økt kunnskap om miljøpåkjenninger og nedbrytningsmekanismer for bruer og tunneler, og gi konkrete forslag til valg av materialer og løsninger for bruer og tunneler.

Varige konstruksjoner består, i tillegg til et overordnet implementeringsprosjekt, av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer
- Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler
- Prosjekt 3: Fremtidens bruer
- Prosjekt 4: Fremtidens tunneler

Varige konstruksjoner ledes av Synnøve A. Myren. Mer informasjon om prosjektet finnes på vegvesen.no/varigekonstruksjoner

Denne rapporten tilhører **Prosjekt 3: Fremtidens bruer** som ledes av Sølvi Austnes. Prosjektet skal bidra til at fremtidige bruer bygges med materialer bedre tilpasset det miljøet konstruksjonene skal stå i. Prosjektet skal bygge på etablert kunnskap om skadeutvikling og de sårbare punktene som identifiseres i Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer, og skal omhandle både materialer, utførelse og kontroll. Prosjektet skal resultere i at fremtidige bruer oppnår forutsatt levetid med reduserte og mer forutsigbare drift- og vedlikeholdskostnader.

Rapporten er utarbeidet av *Gaute Nordbotten*, Statens vegvesen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
1.1	Generelt.....	4
1.2	Bakgrunn	4
1.3	Hensikt	4
2	Status	5
2.1	Skadesituasjonen og status for betongfaget	5
2.2	Betongskader eller skadde konstruksjoner?	5
2.3	Prosjektering for bestandighet krever omstilling av tankegangen.....	5
3	Tiltak for å bedre bestandighet av nye bruer	6
3.1	Generelt.....	6
3.1.1	Vann volder verk, vis vann vekk	6
3.1.2	Krav til prosjektering.....	7
3.1.3	Krav til bygging.....	7
3.2	Krav til tegninger	8
3.3	Valg av veglinje	9
3.3.1	Generelt	9
3.3.2	Bruer over sjøvann	9
3.3.3	Høyde over veg for overgangsbruer i betong	10
3.3.4	Vertikalkurvatur, lavbrekk og fallforhold	10
3.3.5	Håndbok N100 Veg og gateutforming.....	10
3.4	Valg av brukonsept.....	11
3.4.1	Antall søyler i sjøvann	11
3.4.2	Fundamenteringsmåte og søyleutforming i sjø	11
3.4.3	Overgangsbruer som krever periodisk vedlikehold	11
3.4.4	Søyleplassering inntil veg	12
3.4.5	Tverrsnittsutforming av bruoverbygning	12
3.4.6	Kulverter i korrugerte stålrør som vanngjennomløp	13
3.5	Utforming	14
3.5.1	Landkar	14
3.5.2	Fuger	16
3.5.3	Lagre.....	17
3.5.4	Utstikkende hjørner	18
3.5.5	Tverrsnittsutforming som krever overforskaling	18

3.5.6	Bruk av forskaling som kofferdam	18
3.5.7	Støpeskjøter	19
3.6	Detaljer	19
3.6.1	Rekkverksinnfesting	19
3.6.2	Dryppneser	20
3.6.3	Overvannsystem og vannavløp	20
3.6.4	Sluk	21
3.6.5	Trekkerør	22
3.6.6	Rustfritt stål	23
3.7	Fuktisolering og membraner	23
3.7.1	Generelt	23
3.7.2	Full fuktisolering	23
3.7.3	Detaljer	24
3.8	Armering	25
3.8.1	Generelt	25
3.8.2	Byggemål for kamstål	25
3.8.3	Tetthet av armering	25
3.8.4	Overdekning	26
3.8.5	Kapplengde og mål på bøyde jern	27
3.9	Forskaling	27
3.10	Miljøklassifisering	28
4	Oppsummering	28
4.1	Generelt	28
4.2	Valg av veglinje og brukonsept	28
4.3	Utforming, deltaer og armering	28
4.4	Fuktisolering og membran	29
5	Referanser	30
6	Vedlegg	31

Figurliste

Figur 1	Armeringskorrosjon under fuger som følge av klorider (foto: Gaute Nordbotten)	7
Figur 2	Håndbok N400 Bruprosjektering versjon 2015	7
Figur 3	Internrapport 1731 Sikring av overdekning for armering	8
Figur 4	Tegningene formidler budskapet (foto: Gaute Nordbotten)	8
Figur 5	Litt for provoserende kravtekst (fra håndbok N400 Bruprosjektering 2009)	9
Figur 6	Bru lavt over sjøvann i utsatte kyststrøk	10

Figur 7 Engangsvogn for støp av bru (foto: Gaute Nordbotten).....	11
Figur 8 Overgangsbru med to spenn, søyle i midtdeler og fugefri løsning (foto fra Brutus) .	12
Figur 9 Tverrsnittsutforming av viaduktene på Hålogalandsbrua	13
Figur 10 Mye malingsskader i underkant brudekke på Bergsøysundbrua (foto: Gaute Nordbotten)	13
Figur 11 Lekkasje i fuge (foto: Gaute Nordbotten)	14
Figur 12 Rom under fuge (fra håndbok N400 Bruprosjektering, foto: Gaute Nordbotten)	14
Figur 13 Fugefri løsning med endeskjørt og vinger festet i bruoverbygningen (foto: Gaute Nordbotten)	15
Figur 14 Fugefri løsning med overgang til støttemur (foto fra Norsk vegdatabank)	15
Figur 15 Krav til lengde på vingemuer (fra håndbok N400 Bruprosjektering).....	16
Figur 16 Lekkasjevann fra brufuge i felt på Oslo lufthavn (foto: Gaute Nordbotten)	17
Figur 17 Krav til geometri rundt lagre (fra håndbok N400 Bruprosjektering)	17
Figur 18 Lager montert med bevegelsesretning feil veg (foto: ukjent, bru: ukjent)	18
Figur 19 Spuntgrop med separat forskaling innenfor (foto: Morten Jordbakke)	19
Figur 20 Rekkverksinnfesting (foto: Gaute Nordbotten)	20
Figur 21 Dryppnese (fra Brudetaljer)	20
Figur 22 Uheldig utløp fra sluk (foto: Arve Aaby), løsningen er senere bygget om.....	21
Figur 23 Sluk i kulegrafittjern (foto fra brosjyremateriell, ulefos.com)	22
Figur 24 Manglende trekkerør (foto fra Brutus).....	23
Figur 25 Legging av fuktisolering type A3–4 (foto: Gaute Nordbotten)	24
Figur 26 Detalj av fuktisolering (fra Brudetaljer)	24
Figur 27 Byggemål for kamstål (fra N400 Bruprosjektering)	25
Figur 28 For tett armering (foto: Linda Brateng).....	26
Figur 29 Krav til overdekning (fra håndbok V499 og N400 Bruprosjektering)	27
Figur 30 Skade på innfesting av fastlagre (foto: Odd Bjarne Norheim)	28

1 Innledning

1.1 Generelt

I 1994 ble det utarbeidet en rapport av Reidar Kompen i Statens vegvesen med tittelen *Prosjektering for bestandighet – med omtale og eksempler fra bruer*. Rapporten ble ikke publisert den gang, men er vedlagt her. Rapporten omtales i det videre som *Rapporten fra 1994*.

Rapporten fra 1994 peker på en hel rekke problemer som var aktuelle da den ble skrevet, og en del av forslagene til forbedring var kontroversielle. Noen forslag hadde økonomisk betydning, men mange har vist seg i ettertid å ikke bety spesielt mye økonomisk. Enklere og sikrere utførelse har kompensert for økning i materialkostnaden. En stor del av det rapporten tar for seg, er nå innarbeidet i regelverket eller begynner å bli praksis blant prosjekterende.

Bruer har i dag dimensjonerende brukstid på 100 år. Dette innebærer at det er svært viktig å prosjektere med tanke på god bestandighet. Dårlig bestandighet vil medføre omfattende vedlikehold noe som er ressurskrevende og til ulempe for trafikantene. I *Rapporten fra 1994* er dette forklart i kapittel 1.

Selve materialet betong har en egen aktivitet i etatsprogrammet «Varige konstruksjoner». Det samme har lengden på fugefrie bruer og overflatebehandling av betong og stål. Det henvises til egne rapporter fra disse aktivitetene. Mekaniske brufuger har også en egen aktivitet, men fuge er så tett knyttet til landkar slik at aktivitetene her går noe over i hverandre. Trebruer er ikke omtalt. Rapporten tar kun for seg utforming og går ikke inn på dimensjonering.

1.2 Bakgrunn

I forbindelse med etatsprogrammet «Varige konstruksjoner» ble det foreslått å se på *Rapporten fra 1994* og hvorvidt den fortsatt er aktuell. Tverrsnittsutformingen av viaduktene på Hålogalandsbru var en direkte utløsende årsak til at det ble besluttet å se på dette, se punkt 3.4.5. Det ble startet med en gjennomgang av rapporten, og den ble kommentert i et notat (sveisnummer 2014079252-1).

Temaet ble ansett å være så viktig at det ble besluttet å utarbeide en ny rapport. Kontroll og godkjenning av bruprosjektering har generelt flere kommentarer til prosjektering med tanke på bestandighet enn på selve dimensjoneringen. Det har også vært en økende etterspørsel etter foredrag i temaet fra landets universiteter og høyskoler. Bruseksjonen i Vegdirektoratet har bidratt med flere foredrag de siste årene.

1.3 Hensikt

Hensikten er å gi eksempler på «beste praksis» i dag, hvordan krav i *håndbok N400 Bruprosjektering* kan forstås samt sammenligne med forholdene i 1994. Rapporten kan sålede bidra til forståelse av dagens krav og forhåpentligvis forhindre at bransjen kommer

tilbake til løsninger fra før 1994 som ikke fungerer. Rapporten kan også danne grunnlag for en ny veileder innenfor bruprosjektering. *Håndbok N400 Bruprosjektering* er revidert i 2015 og bruforvaltningsmiljøet i Vegdirektoratet er av den oppfatning at normalen er veldig bra. Det er likevel ikke alt som egner seg i normalstoff og som naturlig hører hjemme i en veileder. Ettersom det hele tiden skjer en utvikling innenfor bruprosjektering, vil det komme nye løsninger som ikke er bestandige for 100 års levetid, men som aksepteres i dagens utgave av *håndbok N400 Bruprosjektering*.

2 Status

2.1 Skadesituasjonen og status for betongfaget

Kapittel 2 i *Rapporten fra 1994* tar for seg skadesituasjonen og status for betongfaget slik det var i 1994 og er lite oppløftende lesing. Situasjonen ser annerledes ut i dag, men det er ikke sikkert at det vi tror vi vet i dag er sannheter. Markeder er stadig i endring, og det er blant annet trykk på sementbransjen for å minske energiforbruket. Konsekvensen av dette fokuset er økende bruk av blandingssementer, CEM II, som i varierende grad har innblanding av slagg og flyveaske i kombinasjon med ren portlandsement. Det er jo også slik at det fortsatt slites med skader på de samme bruene som er omtalt i *Rapporten fra 1994*.

Hele bransjen har nå tatt innover seg at armert betong ikke er et vedlikeholdsfritt materiale med uendelig god bestandighet slik det fortonet seg før 1994. Det har også blitt gjort mye på regelverkssiden, norske standarder har blitt oppdatert og krav til overdekning betydelig økt.

Statens vegvesens regelverk har blitt betraktelig strammet inn når det gjelder prosjektering med tanke på bestandighet. *Internrapport 1731 Sikring av overdekning for armering* har i dette tilfellet vært et viktig dokument samtidig som *håndbok N400 Bruprosjektering* har utviklet seg mer og mer i retningen av å inneholde krav til utforming med tanke på bestandighet. Statens vegvesens regelverk er således etatens krav til utforming der norsk standard kun er generell, se for eksempel *NS-EN 1992 Prosjektering av betongkonstruksjoner*, punkt 4.3.

Ved innføring av Eurokoder i norsk standard er de fleste av kravene til dimensjonering ivarettatt og derfor tatt ut av *håndbok N400 Bruprosjektering*.

2.2 Betongskader eller skadde konstruksjoner?

Kapittel 3 i *Rapporten fra 1994* påpeker at det i de fleste tilfellene er armeringskorrosjon som følge av klorider som gir skader i betongen og ikke selve betongen. Hindring av armeringskorrosjon har således vært prioritert.

2.3 Prosjektering for bestandighet krever omstilling av tankegangen

Kapittel 4 i *Rapporten fra 1994* definerer at bestandighet oppnås dersom motstandsevnen er større enn påkjenningen. Dette gjelder naturligvis fortsatt. Deretter ramser rapporten opp en rekke punkter for å øke motstandsevnen. Også disse er fortsatt gyldige, men noen steder

nærmer vi oss et punkt der det kanskje ikke er naturlig å fortsette. Et eksempel på dette er økning av betongoverdekningen der det kan ende med nærmest uarmert betong mot overflaten hvilket ikke nødvendigvis er ønskelig.

Rapporten påpeker at det bør regnes på levetidskostnader og ikke kun byggekostnader. Dette blir fortsatt ikke gjort systematisk selv om det er målet om reduserte vedlikeholdskostnader som ligger til grunn for innstramming av regelverk de siste årene.

I Norge rekrutteres bruprosjekterende med høy kompetanse innenfor beregninger og dimensjonering mens de må lære bruutforming og prosjektering med tanke på bestandighet gjennom sitt daglige virke. Ettersom konstruksjonssikkerhet skal ha førsteprioritet, er dette helt riktig. Prosjekterende skal ha en sunn skepsis til å tegne noe som ikke er dimensjonert. Bruutforming og prosjektering med tanke på bestandighet er likevel helt avgjørende for en konstruksjons levetid og er viktig for konstruksjonssikkerheten.

Mange løsninger som er gode med tanke på bestandighet kan ikke direkte knyttes til selve dimensjoneringen. For eksempel vil ikke detaljløsninger rundt fuktisolering og membraner være knyttet til dimensjonerende laster. Det er viktig at løsninger som ikke er knyttet til dimensjonering, er beskrevet i håndbøker, på detaljer og i rapporter. Løsninger som viser seg å fungere bra med tanke på bestandighet, må formidles i veiledere, rapporter og på kurs.

En stor del av utfordringene knyttet til prosjektering med tanke på bestandighet, er knyttet til deler som ikke er direkte synlig på ei bru og vil ikke være et naturlig satsningsområde for de som arbeider med estetiske fag.

Løsninger som kan dokumenteres, inspiseres og er robuste er fortsatt like viktig som i 1994. Her går ofte bygging og vedlikehold hånd i hånd. Er det enkelt å bygge, er det som regel god tilkomst for inspeksjon, drift og vedlikehold. Kravet om rom under fuge er et eksempel på dette, se figur 12. Det ble innført med tanke på inspeksjon og vedlikehold, men høstet mye skryt fra betongarbeiderne ute på byggeplassene fordi det ble vesentlig enklere å bygge. Enklere bygging medførte også lavere pris slik at økt mengde ikke ga utslag på totalprisen.

3 Tiltak for å bedre bestandighet av nye bruer

3.1 Generelt

3.1.1 Vann volder verk, vis vann vekk

Alt som handler om bestandighet for bruer er i bunn og grunn knyttet til vann på avveie eller vann på uønskede steder. Det er ikke vannet i seg selv som er problemet, men det som vannet fører med seg av salter og andre forurensinger, se figur 1. I et helt tørt miljø, ville ikke de problemene og utfordringene som er omtalt nedenfor vært noe å tatt hensyn til. Det er viktig å «tenke vann» gjennom hele prosjekteringsprosessen. Vann må ledes bort, det må gjøres tiltak for å hindre kontakt med vann eller beskyttelsen må være god. Vann volder verk, vis vann vekk.



Figur 1 Armeringskorrosjon under fuge som følge av klorider (foto: Gaute Nordbotten)

3.1.2 Krav til prosjektering

Rapporten fra 1994 omtaler ikke *håndbok N400 Bruprosjektering* (tidligere *håndbok 185 Prosjekteringsregler for bruer*). Dette er en viktig vegnormal som legger premissene for bruprosjektering og dermed grunnlaget for god bestandighet. I 1998 kom krav om rom under fuge i et tillegg til håndboka og i 2009 kom en helt ny og omarbeidet håndbok med betydelige innstramminger, se også punkt 3.2. Håndboka kom i en helt ny og vesentlig forbedret versjon i 2015, se figur 2.

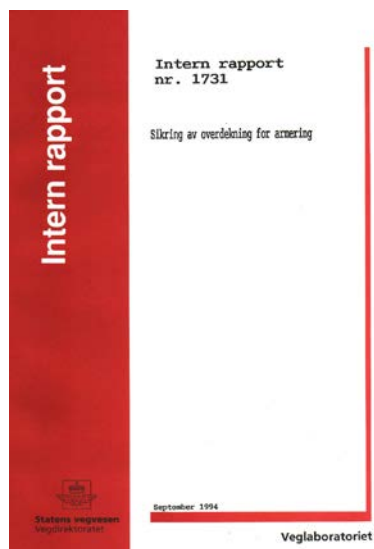


Figur 2 Håndbok N400 Bruprosjektering versjon 2015

3.1.3 Krav til bygging

Som omtalt i kapittel 5 i *Rapporten fra 1994* ble regelverket som det bygges etter vesentlig forbedret fra 1994 og framover. *Håndbok R762 Prosesskode 2* med tilhørende *Internrapport*

1731 Sikring av overdekning for armering medførte økt armeringsoverdekning samt at praksis ute på byggeplass ble gjenspeilet på tegningene, se figur 3.



Figur 3 Internrapport 1731 Sikring av overdekning for armering

3.2 Krav til tegninger

Rapporten fra 1994 tar for seg mye om hvordan ulike løsninger bør prosjekteres, men i liten grad hvordan dette skal formidles til de som bygger. Produksjonsunderlaget inneholder tegninger og beskrivelse, og det er tegningene som blir brukt ute på byggeplassen. Det er således i hovedsak tegningene som formidler budskapet fra den prosjekterende og ut til fagarbeiderne på byggeplassen, se figur 4. Det er bare et fåtall fagarbeidere som leser i beskrivelsene. Ettersom det i dag er et stort innslag av ikke-norskspråklige fagarbeidere, er tegninger med figurer en langt bedre kommunikasjonsform enn beskrivende tekst.



Figur 4 Tegningene formidler budskapet (foto: Gaute Nordbotten)

Det hjelper ingenting at den prosjekterende har tenkt helt riktig dersom han ikke får formidlet dette til de som skal bygge. Det hjelper heller ikke å ha en optimal beskrivende tekst dersom den ikke blir lest.

Tegninger henviser til beskrivelser og regelverk, og dette er viktig informasjon til leseren slik at han kan finne fram til de riktige kravene. Betongsammensetning er et eksempel der det bare står navnet på spesifikasjonen på tegningen mens resten av kravene står i beskrivelsen.

Kontroll og godkjenningsordningen i Statens vegvesen avdekker at det litt for ofte er mangler i tegningsgrunnlaget. Hele tegningen kan være uteglemt, detaljeringen kan være feilaktig eller mangelfull og løsninger ikke prosjektert med tanke på god bestandighet.

Krav til tegninger ble betydelig innstrammet i 2009 både når det gjaldt innhold og krav til detaljeringsgrad, se også figur 5. Det ble også satt en hel del konkrete krav til hvordan det skulle prosjekteres med tanke på bestandighet. En del krav er omtalt nedenfor i punkt 3.5 og 3.6. Arbeidet med å implementere endringene har vært en omfattende jobb som ikke kan anses for avsluttet. Det er også ting som tyder på at visse kravtekster har vært litt for provoserende i *håndbok N400 Bruprosjektering* fra 2009, se figur 5. Dette ble justert i 2015 som følge av at prosjekteringsmiljøet begynner å lande utseende på de tegningstypene som fikk de største endringene.

Det skal lages belegnings- og utstyrstegninger i en detaljeringsgrad som sikrer at utførelse i verksted og på byggeplass kan foregå uten ytterligere beskrivelse, og som

Figur 5 Litt for provoserende kravtekst (fra håndbok N400 Bruprosjektering 2009)

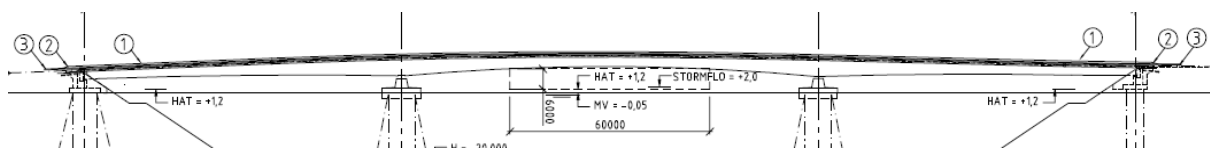
3.3 Valg av veglinje

3.3.1 Generelt

Punktet er like aktuelt i dag som i 1994, men er komplisert og har kanskje blitt enda mer komplisert ettersom det stadig er flere krav som tas hensyn til når veglinja bestemmes. Det var etterlyst brufaglig kompetanse ved valg av veglinje, og det er et inntrykk at dette vektlegges mer enn tidligere. Det er likevel slik at det fra tid til annen dukker opp eksempler på dårlig linjeføring sett ut fra et brubestandighetsperspektiv. Et eksempel på dette er gitt i punkt 3.3.2.

3.3.2 Bruer over sjøvann

Det bygges fra tid til annen fortsatt stålruer lavt over sjøvann i værutsatte kyststrøk. Dette gjelder spesielt lavtrafikkerte fylkesveger der det gjøres en optimalisering av økonomien kun med tanke på bygging. Gryllefjordsbrua, se figur 6, er et eksempel. Med en seglingshøyde på 6 m og en hel del av overbygningen lavere enn seks meter over vannet, ligger den uakseptabelt nære vannet under sett fra et bestandighetsperspektiv.



Figur 6 Bru lavt over sjøvann i utsatte kyststrøk

Dagens regelverk beskriver vesentlig større overdekning på betongen i slike områder. En betongbru vil da bli vesentlig tyngre noe de fleste prosjekterende forsøker å unngå. På den måten blir det gjort mye for ikke å prosjektere betongbruer lavt over sjøvann. Løsningen med 120 mm overdekning til konstruktiv armering er sannsynligvis god nok med tanke på bestandighet i værharde kyststrøk. Der det er helt nødvendig med lav høyde på grunn av andre årsaker, er dette således akseptabelt for betongbruer.

For stålbruer må fortsatt anbefalingen være at høyden over sjøvann ikke velges for lav. Det er imidlertid innført et malingssystem i 2015 som beskriver et ekstra lag maling for denne typen bruer med tanke på å bedre bestandigheten. Malingssystemet medfører imidlertid ikke så stor kostnadsøkning at det initierer større frihøyde på grunn av pris.

3.3.3 Høyde over veg for overgangsbruer i betong

Punkt 5.1.3 i *Rapporten fra 1994* anbefaler større frihøyde under overgangsbruer i betong over saltet veg. Erfaringer så langt tyder på at det ikke er behov slik at anbefalingen ikke lenger gjelder. *NS-EN 1992 Prosjektering av betongkonstruksjoner*, punkt 4.2 har en detaljert figur knyttet til dette, og i *håndbok N400 Bruprosjektering* er kravet til overdekning større enn minimumskravene angitt i *NS-EN 1992 Prosjektering av betongkonstruksjoner*. Det anbefales at regelverket følges og at det ikke er behov for større frihøyde enn kravet.

3.3.4 Vertikalkurvatur, lavbrekk og fallforhold

Geometri av veglinje er like aktuelt i dag som det var i 1994. Det må sikres lengdefall, tverrfall og minimum resulterende fall. Videre er det uheldig med lavbrekk på bru. Selv om sluk plasseres i lavbrekk, er det ikke sikkert lavbrekket blir akkurat der sluket plasseres da både byggetoleranser og mindre avvik lett kan flytte lavbrekket litt bort fra teoretisk plassering.

Punktene er som regel enkle å ta hensyn til dersom det gjøres på riktig tidspunkt. Når bruprosjekterende mottar veglinja, anbefales det at det gjøres en mottakskontroll der punktene sjekkes ut. Det kan fort bli en omfattende omprosjektering dersom veglinje skal justeres når prosjekteringen har kommet langt.

3.3.5 Håndbok N100 Veg og gateutforming

Litt for ofte blir ikke *håndbok N100 Veg- og gateutforming* fulgt. Dette kan medføre uheldige løsninger med tanke på bestandighet.

3.4 Valg av brukonsept

3.4.1 Antall søyler i sjøvann

I punkt 5.2.1 i *Rapporten fra 1994* anbefales det å minimere antall søyler i sjøvann da miljøpåkjenningen i skvalpesonen er stor. Dette anbefales fortsatt. Noen prosjekterende er skeptiske til å prosjektere lengre betongspenn enn det finnes eksisterende vogner for. Dette har i praksis lite å si da flere entreprenører lager «engangsvogner» tilpasses det enkelte prosjektet, se figur 7.



Figur 7 Engangsvogn for støp av bru (foto: Gaute Nordbotten)

3.4.2 Fundamenteringsmåte og søyleutforming i sjø

Anbefalingene i punkt 5.2.2 i *Rapporten fra 1994* virker til å være praksis i bransjen i dag. Det vil alltid være utfordringer til bruk av senkekasser, men med tanke på bestandighet virker dagens løsning til å fungere.

Håndbok N400 Bruprosjektering, punkt 7.9.14 stiller krav til katodisk beskyttelse av armeringen ved bruk av offeranoder for større konstruksjoner i sjø.

3.4.3 Overgangsbruer som krever periodisk vedlikehold

Overgangsbruer går som regel over høytrafikkert veg eller jernbane. Dersom det prosjekteres overgangsbru som krever periodisk vedlikehold som for eksempel ei stålbru, vil det gi store ulemper for vegen/jernbanen under når det periodiske vedlikeholdet skal gjennomføres. I tillegg vil vedlikeholdet bli kostbart. I *håndbok N400 Bruprosjektering* er det et forbud (bør-krav som krever regional godkjenning av fravik) mot bruk av overgangsbruer som krever periodisk vedlikehold over høytrafikkerte veger og jernbane.

For overgangsbruer der det kreves periodisk vedlikehold, bør det prosjekteres med større frihøyde slik at stillas under brua ikke vil innskrenke frihøyden for vegen under.

3.4.4 Søyleplassering inntil veg

Plassering av søyler langt fra vegen er en fordel, både med tanke på saltbelastning og trafiksikkerhet. Det er de siste årene bygget en hel del tospenns spennarmerte betongbruer over firefelts motorveg, se figur 8. Landkaret i form av fugefri løsning blir da liggende et godt stykke fra vegen, og det blir kun søyle i midtdeleren. En del av disse bruene har også fått skryt fra det estetiske miljøet i Vegdirektoratet selv om tospenns bruer ofte har vært sett på som negative i et estetisk perspektiv.



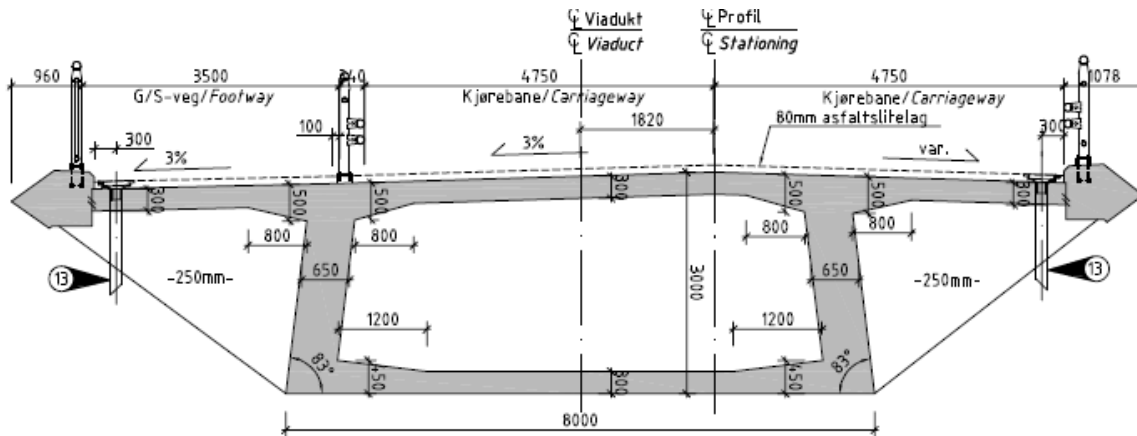
Figur 8 Overgangsbru med to spenn, søyle i midtdeler og fugefri løsning (foto fra Brutus)

Nye krav til dimensjonering av spennarmerte konstruksjoner (krav om trykk i hele tverrsnittet) gjør at enkelte prosjekterende kvier seg for å velge spennarmerte løsninger da det blir større mengde spennarmering. Det er imidlertid overveidende sannsynlig at dette ikke vil gi store utslag på den totale brukostnaden, og for et helt vegprosjekt vil det ha lite å si økonomisk.

Håndbok N100 Veg- og gateutforming krever fravikssøknad for søyle i midtdeleren. Dette kan medføre at overgangsbruene får et langt spenn over vegen og søyler plassert tett inntil vegen. Dette er uheldig og håndboka bør revideres på dette punktet.

3.4.5 Tverrsnittsutforming av bruoverbygning

Punkt 5.2.4 i *Rapporten fra 1994*, sammen med utforming av overbygningen på viaduktene på Hålogalandsbrua, er den direkte årsaken til at arbeidet med prosjektering med tanke på bestandighet kom inn som en del av etatsprogrammet *Varige konstruksjoner*. Selve kassetverrsnittet på Hålogalandsbrua er bredest i bunnen og veggene heller innover og «sampler» klorider, se figur 9. Videre har tverrsnittet slanke ribber langs viaduktene som gir lo- og le-effekter hele vegen og som også bidrar til «samling» av klorider. Punkt 5.4.2 er således fortsatt aktuelt. Det er imidlertid vanskelig å innarbeide krav i en vegnormal og stoffet i rapporten er fortsatt viktig veiledningsstoff.



Figur 9 Tverrsnittsutforming av viaduktene på Hålogalandsbrua

De siste årene er det også observert at horisontale undersider av stålplater nært sjøvann har overraskende mye korrosjonsskader mens bjelkesidene ikke har det. På Bergsøysundet flytebru har det vært utført omfattende overflatebehandling de siste årene. Underkanten av bruplata måtte blåserenses ned til bart stål mens fagverksbjelkene kun hadde behov for fornyet dekkstrøk, se figur 10.



Figur 10 Mye malingsskader i underkant brudekke på Bergsøysundbrua (foto: Gaute Nordbotten)

For ytterligere informasjon om overflatebehandling av stålbruer, henvises det til aktiviteten i «Varige konstruksjoner» som tar for seg dette, og rapportene derfra.

3.4.6 Kulverter i korrugerte stålør som vanngjennomløp

De siste årene har skadeomfanget på korrugerte stålør som brukes til vanngjennomløp økt kraftig. Noen av rørene har kollapset helt med stengt veg som resultat. Varmforsinkingen blir slitt av som følge av partikler i vannet som strømmer gjennom kulverten, og det blir omfattende korrosjonsskader i nedre del av kulverten. Løsningen fungerer ikke og

konstruksjonene får langt kortere levetid enn forventet. Løsningen er ikke tillatt i henhold til *håndbok N400 Bruprosjektering*.

3.5 Utforming

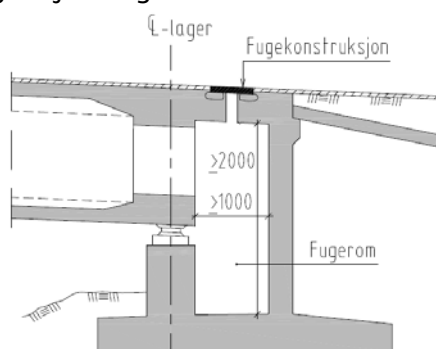
3.5.1 Landkar

I likhet med i 1994 lekker fortsatt «alle» brufuger, se figur 11. Det er også slik at brufuger er et av de områdene innen bruvedlikehold som det brukes mest ressurser på. For selve fugene vises det til Statens vegvesen rapport nummer 400 *Mekaniske brufuger*.



Figur 11 Lekkasje i fuge (foto: Gaute Nordbotten)

I 1998 ble anbefalingene fra *Rapporten fra 1994* om rom under fuge innarbeidet som krav i *håndbok 185 Prosjekteringsregler for bruer* og er opprettholdt i senere utgaver av *håndbok N400 Bruprosjektering*, se figur 12. I dag er rom under fuge stort sett implementert i prosjekteringsmiljøet, men det forekommer fortsatt at konstruksjoner kommer inn til godkjenning uten rommet.



Figur 12 Rom under fuge (fra håndbok N400 Bruprosjektering, foto: Gaute Nordbotten)

Rom under fuge har også gitt lagre mye bedre vilkår da lekkasjevann enkelt kan ledes utenfor lagrene.

For kortere bruer og i fastpunktsenden av lengre bruer blir det nå benyttet fugefri løsning, se figur 13. Løsningen innebærer at endeskjørt og vingemurer blir monolittisk festet i bruoverbygningen. Dette er en stor fordel da det ikke gir fuger og spalter der vannet kan trenge inn. Dersom det er behov for høye eller lange vingemurer i forlengelsen av brua, kan dette løses ved å henge en minimum 0,5 m langt stykke av vingemuren i bruoverbygningen, lage en vertikal fuge i veggterrsnittet og deretter gå over til ordinær støttemur, se figur 14.



Figur 13 Fugefri løsning med endeskjørt og vinger festet i bruoverbygningen (foto: Gaute Nordbotten)



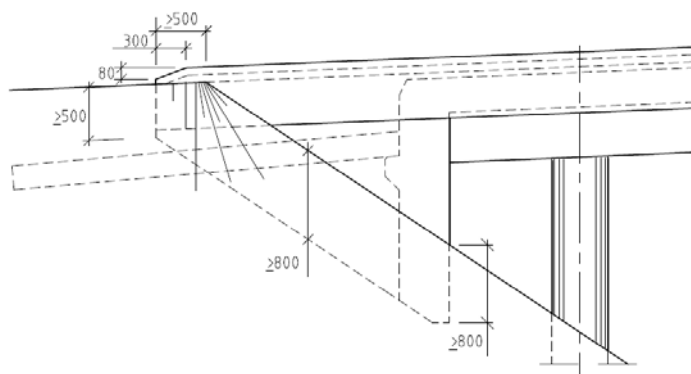
Figur 14 Fugefri løsning med overgang til støttemur (foto fra Norsk vegdatabank)

Det er således kun to varianter av landkar som i dag kan benyttes

- fugefri løsning der endeskjørt og vingemurer er monolittisk festet til bruoverbygningen
- ordinært landkar med bakvegg, vingemurer, mekanisk brufuge og rom under fuga

Mellomløsningen fra 1990-tallet med vingemurer festet i landkaret og endeskjørt monolittisk støpt i bruoverbygningen viser seg å ikke fungere særlig bra. Det blir vannlekkasje ved kantdrageren og ofte dump i vegbanen i kanten av endeskjørtet.

Vingemurer på landkar blir i dag så godt som alltid lagt parallelt med overliggende veg. Dette er en forutsetning for innfesting av overgangsrekkverk og dermed tett knyttet til trafiksikkerhet. Trafiksikkerhet må ha større prioritet enn bestandighet. Kravet til lengde av vingemur for å sikre løsmasseskråningen kom med i *håndbok N400 Bruprosjektering* i 2009, se figur 15. Det har vært en stor jobb å få implementert dette kravet da det kan virke som om prosjekteringsmiljøet ikke har innsett viktigheten. Riktig utførelse i overgangen mellom bru og vegfylling har vist seg ekstra viktig for fugefrie løsninger for å unngå setninger i vegen inn mot brua.



Figur 15 Krav til lengde på vingemurer (fra håndbok N400 Bruprosjektering)

3.5.2 Fuger

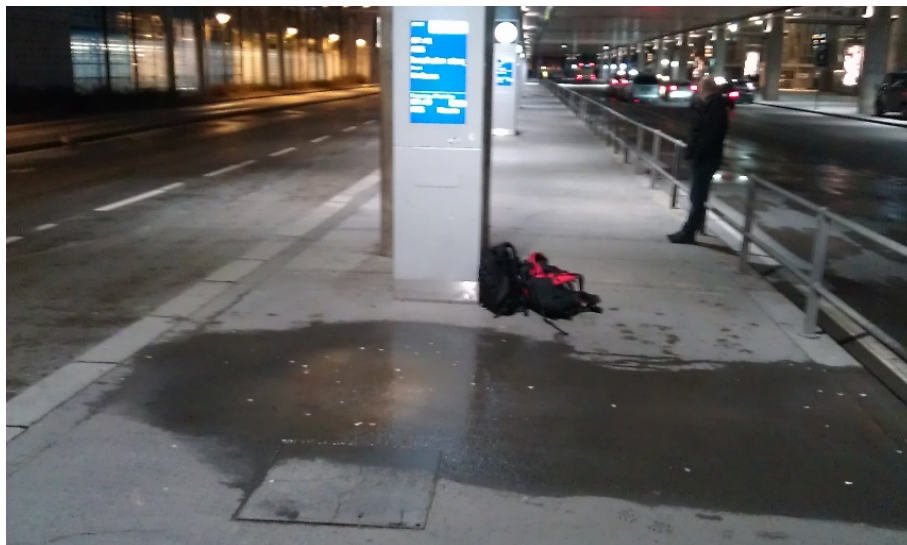
Kravet om at antall fuger begrenses mest mulig kom i regelverket i 2009, men mange bruprosjekterende har tatt dette innover seg lenge. Blant annet ble Mofjellbekken bru vest prosjektert og bygget med fuge kun i ene enden i 1998 og den nye Motorvegbrua i Drammen med kun to fuger i 2005.

For å unngå fuger med bevegelige deler er hovedregelen at to fuger kan aksepteres når brua er mer enn 500 m lang. Bruer med lengde opp til omtrent 100 meter prosjekteres fugefrie.

Det vil kunne være en risiko at fuger vil få for stor bevegelse vertikalt og dermed for stor trafikklast dersom lagret under er montert horisontalt i bruas bevegelsesretning og ikke parallelt med overkant veg. Montering parallelt med overkant veg vil gi tvangskrefter i konstruksjonen, og det er en del prosjekterende som unngår dette. Resultatet er skader på fuger. Varoddbrua i Kristiansand fra 1994 er et eksempel på dette. Det er kun i bruas primære bevegelsesretning i landkarakser med fuger som lagre ikke skal monteres horisontalt.

Fuger i felt og fuger over søyler er i dag ikke tillatt i henhold til *håndbok N400 Bruprosjektering*. Figur 16 viser resultatet av fuge i felt på ei bru på Oslo lufthavn der busspassasjerer som venter på lokalbussen mot Maura får lekkasjevannet i hodet. Området

under fuga med tilhørende lagre er ikke mulig å inspisere eller vedlikeholde og høyst sannsynlig ikke akseptabelt med tanke på bestandighet.

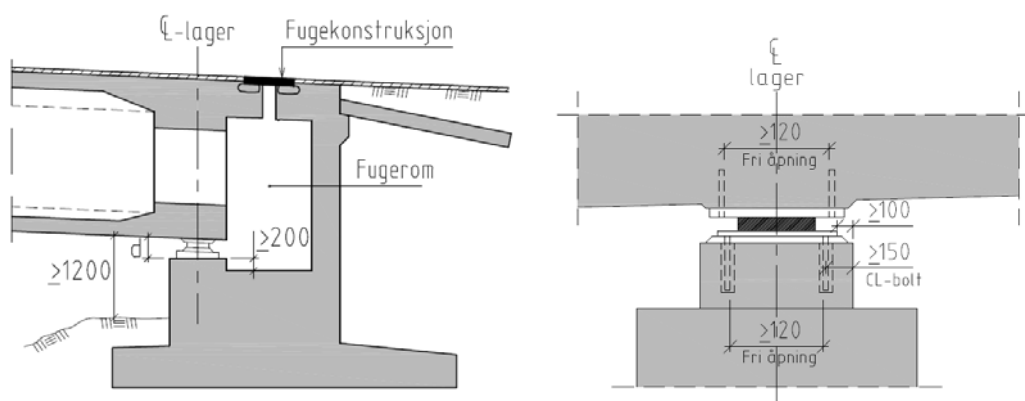


Figur 16 Lekkasjevann fra brufuge i felt på Oslo lufthavn (foto: Gaute Nordbotten)

3.5.3 Lagre

Spådommen i *Rapporten fra 1994* om at færre fuger skulle gi flere lagre har gledelig nok vist seg å ikke være helt korrekt selv om tankene og resonnementet var helt riktig. Det har vist seg at det likevel har vært mulig med en hel del monolittiske forbindelser selv med færre fuger.

Håndbok N400 Bruprosjektering har krav til tilkomst rundt lagre, krav til jekkepunkter i tilknytning til lagre og en del geometrikrav, se figur 17. Dette gjør at lagre blir stående godt beskyttet og er tilrettelagt for utskifting. Pottelagre som ble demontert i forbindelse med søylebytte på Motorvegbrua i Drammen var like fine etter 25-års drift og kunne uten videre stått 25 år til. Riktig prosjekterte og monterte pottelagre forventes derfor å ha lang levetid.



Figur 17 Krav til geometri rundt lagre (fra håndbok N400 Bruprosjektering)

Fra byggeplassene kommer det mange tilbakemeldinger om at lagre plasseres med primær bevegelsesretning feil veg noe som vil gi skader på lagret eller konstruksjonen, se figur 18. Årsaken til feilplasseringen må være at prosjekterende ikke har fått fram budskapet om

hvordan lagret skal monteres. Det er stilt krav om egen lagertegning noe som forhåpentligvis kan bidra til å hjelpe på problemet.



Figur 18 Lager montert med bevegesretning feil veg (foto: ukjent, bru: ukjent)

3.5.4 Utstikkende hjørner

Rapporten fra 1994 fraråder bruk av utstikkende hjørner. Anbefalingen gjelder fortsatt. Avrundede hjørner er en god måte å løse dette på, og det er i hvert fall ikke utfordrende å bygge med avrundede hjørner med de forskalingssystemene som tilbys og benyttes på våre anlegg i dag. Dersom det av spesielle årsaker skal benyttes utstikkende hjørner uten avrunding, bør det vurderes spesielle tiltak og økt overdekning eller økt bøyeradius for bøyler.

Det må også vurderes hvor påkjent hjørnet er for klorider. For områder som ligger godt beskyttet er ikke dette like viktig.

3.5.5 Tverrsnittsutforming som krever overforskaling

Punktet er ivaretatt i *håndbok N400 Bruprosjektering* gjennom økt krav til overdekning.

3.5.6 Bruk av forskaling som kofferdam

Ved fundamentering i vann der vanddybden ikke er for stor er det vanlig å etablere en kofferdam i form av spuntgrop for å kunne jobbe tørt. Spunten står rundt fundamentet, og det støpes en tettepropp i undervannsbetong nederst. Fundamentet støpes deretter tørt. Dette er en god løsning ettersom man har mye bedre kontroll på betong som støpes tørt, og det er enklere med alle arbeider før støp.

Dersom spunten brukes som forskaling vil det bli et støpetrykk mot spunten fra innsiden. Trykket vil kunne medføre lekkasjer i spunten med risiko for utvasking av betong. Mangelfull utstøping med tilhørende dårlig bestandighet vil være en risiko. Det er dessuten ingen

mulighet for å kontrollere hva som skjer. Riktig løsning er at forskalingen settes opp innenfor spunten slik at den tar støpetrykket, se figur 19.



Figur 19 Spuntgrop med separat forskaling innenfor (foto: Morten Jordbakke)

Det kan virke som om prosjekterende ikke er klar over problemstillingen ettersom det er vanlig å legge opp til støp direkte mot spunten. Punktet burde vært innarbeidet i *håndbok N400 Bruprosjektering*.

3.5.7 Støpeskjøter

Rapporten fra 1994 tar for seg støpeskjøter mellom bruplate og kantdrager/betongrekkverk. Problemstillingen er mye mindre aktuell i dag. Inn mot vegbanen benyttes det fuktisolering som sørger for forsegling av støpeskjøten uansett hvordan den er utformet, se figur 26. Fra utsiden av brua, er problemstillingen fortsatt aktuell en sjelden gang, men stort sett er ikke horisontal synlig støpeskjøt i kandrager/betongrekkverk lengre akseptabelt med tanke på estetikk. Støpeskjøten vil da ligge mye mindre utsatt til under konstruksjonen og på riktig side av dryppnesa.

3.6 Detaljer

3.6.1 Rekkverksinnfesting

I dag er fotplater på rekkverksstolpene og rustfri gruppe av gjengestenger i kantdrager enerådende som løsning, se figur 20. Dette er i henhold til anbefalingene i *Rapporten fra 1994*.

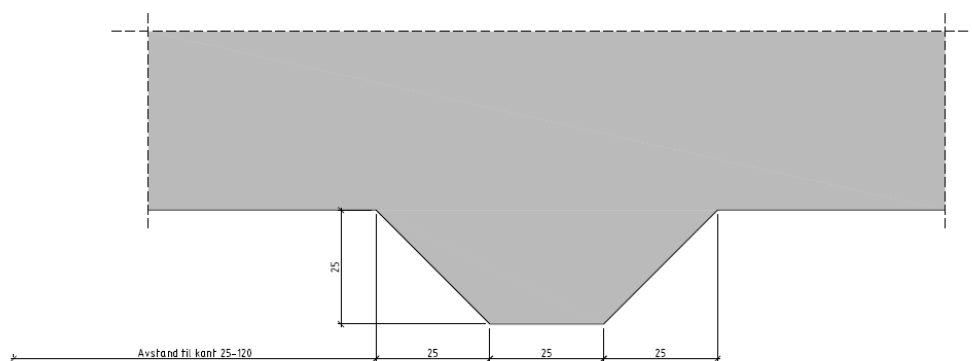


Figur 20 Rekkverksinnfesting (foto: Gaute Nordbotten)

Det er problemer med understøper som smuldrer opp eller sprekker noe som har medført at understøper frarådes. Løsningen krever M24 gjengestenger.

3.6.2 Dryppneser

I aktiviteten Brudetaljer er det tegnet en anbefalt dryppnese som er robust med tanke på forskalingsriving og utgående som anbefalt, se figur 21. Utgående dryppnese er en utfordring ved bruk av systemforskaling, og det er ikke noe entydig god løsning på dette.



Figur 21 Dryppnese (fra Brudetaljer)

3.6.3 Overvannssystem og vannavløp

Vannavløp er ikke noe bransjen har grunn til å være stolte av. *Rapporten fra 1994* påpeker en hel del problemstillinger som ikke er ordentlig ivaretatt i regelverket før i 2015.

Bruer åpnet så sent som i 2014 har vannavløp som medfører at vannet renner nedover underliggende søyle, se figur 22. Løsningen ble bygget om etter at forholdet ble påpekt.



Figur 22 Uheldig utløp fra sluk (foto: Arve Aaby), løsningen er senere bygget om

Opphengte langsgående overvannssystemer har av miljøhensyn tvunget seg fram de siste årene. Dette har bransjen vært mot istedenfor å forsøke å gjøre det beste ut av situasjonen og innarbeide krav i regelverk og bidra aktivt i prosjekteringen. Det er enkeltpersoner hos enkelte prosjekterende som har dratt lasset sammen med deler av vann- og avløpsbransjen. Noe er implementert i *håndbok N400 Bruprosjektering* og noe i *håndbok R762 Prosesskode 2*, men det er fortsatt usikkert om dette er godt nok. Det er ikke ønskelig sett fra et vedlikeholdssynspunkt med langsgående overvannsledninger, men dersom miljømyndighetene krever dette må gjøres det beste ut av situasjonen.

3.6.4 Sluk

Sluk er et typisk eksempel der det er nødvendig med kompromiss for å få en løsning alle parter kan leve med. På veg og i tunnel benytter Statens vegvesen i dag sluk og rister i seigjern/kulegrafittjern (det som til daglig kalles støpejern) produsert etter *NS-EN 124 Sluktopper og kumtopper for kjøre- og fotgjengerområder del 1 og del 2*, se figur 23. Deler av brumiljøet har ikke tatt dette innover seg og holder fortsatt på med egne slukløsninger. Slukløsninger i henhold til *NS-EN 124 Sluktopper og kumtopper for kjøre- og fotgjengerområder del 1 og del 2* er en kompromiss mellom krav til funksjon, trafikk sikkerhet, drift- og vedlikehold og universell utforming. Vegdirektøren har ved flere anledninger påpekt viktigheten av universell utforming. Løsning med sluk i kulegrafittjern er ikke negativt med tanke på bestandighet, men kan nok gi høyere driftskostnader da det vil være behov for rengjøring oftere enn for slukløsninger med større åpninger enn det *NS-EN 124 Sluktopper og kumtopper for kjøre- og fotgjengerområder* godtar.



Figur 23 Sluk i kulegrafittjern (foto fra brosjyremateriell, ulefos.com)

NS-EN 124 Sluktopper og kumtopper for kjøre- og fotgjengerområder har nylig kommet i ny utgave med mange deler og uten nasjonalt anneks. Det er viktig at det henvises til de riktige delene og at krav til belastningsklasse D400 ivaretas.

3.6.5 Trekkerør

Trekkerør har ofte blitt stemoderlig behandlet i forbindelse med bruprosjektering. En setning på tegningen som for eksempel «trekkerør tilpasses på stedet» har ikke vært uvanlig. I områder med mye armering og lite plass er det noen ganger umulig å få plassert trekkerør. Resultatet kan bli

- for små trekkerør
- for krokete trekkerør
- for liten overdekning
- mangelfull utstøping

Mangelfull prosjektering kan således gå utover både bestandighet og funksjon. Det er som regel lite ønskelig fra et vedlikeholdsperspektiv å ha kabler som henger og slenger utenfor brua. Figur 24 illustrerer problemet.



Figur 24 Manglende trekkerør (foto fra Brutus)

3.6.6 Rustfritt stål

Det har vist seg at overgangen mellom betong og varmforsinket innstøpt stål ikke fungerer spesielt bra da det blir korrosjon i overgangen. Det har derfor vært krav om at innstøpningsgods skal være i rustfritt stål siden 2007. Rustfrie rekkverksbolter er vist i figur 20. Rustfritt stål blir også brukt til beslag, rør, dører og så videre.

Det er en rekke kvaliteter av rustfritt stål. De mest vanlige for bruk på bruer er A4-80 i henhold til NS-EN ISO 3506 for festemateriell og nummer 1.4404 i henhold til NS-EN 10088 for profiler, rør og plater. Disse rustfrie typene er normalt gode nok, men de tåler ikke sjøvann godt nok. For bruk i sjøvann må det derfor benyttes andre legeringer. Dette er ytterligere omtalt i rapporten *Nye materialer for bruk i tunnel og bru*.

3.7 Fuktisolering og membraner

3.7.1 Generelt

Rapporten fra 1994 omtaler ikke bruk av fuktisolering og membraner. Dette kan komme av at betongbransjen har hatt en tendens til å tenke at betong kan brukes til alt og at betong også kan være vanntett. Selv om bransjen hele tiden har hatt nye løsninger på de problemene som har kommet, har det vist seg at de fleste brubetonger lekker. I Norge har også de aller fleste brudekker med betongslitelag dårlig kjørekomfort.

3.7.2 Full fuktisolering

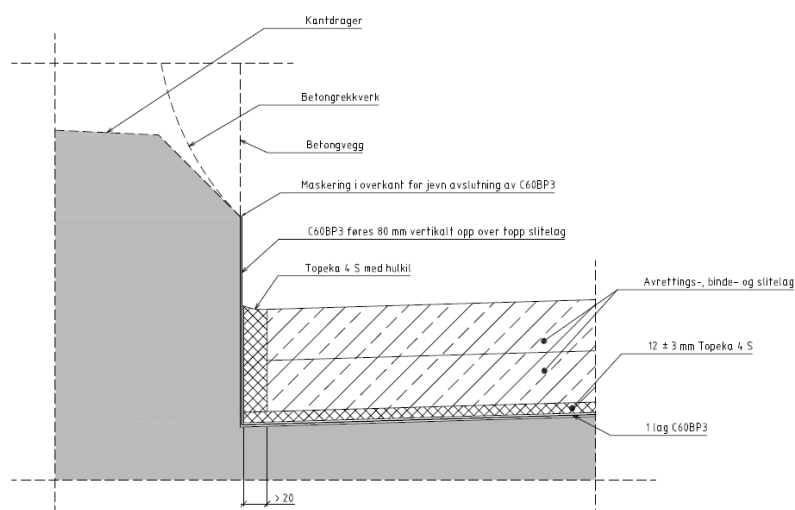
Bruk av full fuktisolering på brudekkene er et svært godt tiltak for å hindre kloridinntrengning og er i dag enerådende på nye riks- og fylkesvegbruer og har vært det de siste årene, se figur 25. Praksis har på dette punktet vært i forkant av regelverket og revideringen av *håndbok N400 Bruprosjektering* i 2015 ble kun en tilpasning til dagens gode praksis. Mange gamle bruer med betongslitelag har de siste årene fått fuktisolering og asfaltslitelag.



Figur 25 Legging av fuktisolering type A3-4 (foto: Gaute Nordbotten)

3.7.3 Detaljer

For også å sikre utsatte punkter som bruender, områder rundt sluk og fuger og området inn mot kantdrager er det utarbeidet en rekke brudetaljer som viser hvordan dette kan gjøres, se figur 26. Det er også satt krav til egen tegning for belegning, og de siste årene er dette implementert.



Figur 26 Detalj av fuktisolering (fra Brudetaljer)

For konstruksjoner i løsmasse er det i *håndbok N400 Bruprosjektering* skilt prinsipielt på konstruksjoner under eller over grunnvannstanden. Det har vært en del eksempler på at løsninger tiltenkt konstruksjoner under grunnvannstanden har blitt brukt over grunnvannstanden hvilket er unødvendig.

3.8 Armering

3.8.1 Generelt

Det er i de fleste tilfeller armeringskorrosjon som følge av klorider som er problematisk og som gir manglende bestandighet når det gjelder armerte betongkonstruksjoner. Selv om mye er gjort på utformingssiden, må ikke armeringen glemmes. Punktene i *Rapporten fra 1994* gjelder fortsatt selv om mye er gjort.

3.8.2 Byggemål for kamstål

Informasjon om at byggemål for kamstål er større enn den oppgitte diameteren er innarbeidet i bransjen og tabell med verdier innarbeidet i *håndbok N400 Bruprosjektering*, se figur 27. Kunnskap om dette er viktig for at overdekningen skal bli riktig, for å få plass til armeringen og for å sette av tilstrekkelig plass til utstøping.

Diameter	ø12	ø16	ø20	ø25	ø32
Byggemål	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	40 mm

Figur 27 Byggemål for kamstål (fra N400 Bruprosjektering)

3.8.3 Tetthet av armering

Håndbok N400 Bruprosjektering sier i punkt 7.8.2 at fri åpning mellom horisontalarmering i vertikale konstruksjonsdeler skal være minimum 80 mm. Kravet er strengere enn anbefalingene i punkt 6.3 i *Rapporten fra 1994*. Håndboka setter også strenge krav til tegninger der det er innstøpingsgoods, kabelkanaler, trekkerør og lignende som vanskeliggjør utstøpingen.

I *NS-EN 1992 Prosjektering av betongkonstruksjoner*, punkt 8.2 er forholdet det samme som det var i *NS 3473 Prosjektering av betongkonstruksjoner* omtalt i *Rapporten fra 1994*. Det er et generelt krav om tilrettelegging for god utstøping og komprimering som blir «slått i hjel» med konkrete krav. Kravene er at fri avstand mellom horisontale stenger skal være større enn to ganger stangdiameteren, største tilslagsstørrelse pluss 5 mm og 20 mm. Samme forhold som omtalt i *Rapporten fra 1994* gjelder. Dette kan umulig gi god utstøping og er således ikke bra med tanke på bestandighet.

En del steder blir armeringen for tett, se figur 28. Det er dessuten slik at det er mer enn bare armering i en armert konstruksjon som kan skape konflikter eller gjøre utstøping vanskelig. Dette kan være spennarmering, som vist på figur 28, innstøpingsgoods, trekkerør, lagerbolter eller utsparinger. Prosjekterende bør således tegne opp punkter med potensiell for tett armering i riktig målestokk og med alt innlagt for å se at det er plass for god utstøping. Det er et håp om at bruk av 3-dimensjonal modellbasert prosjektering kan gi forbedringer på dette punktet.

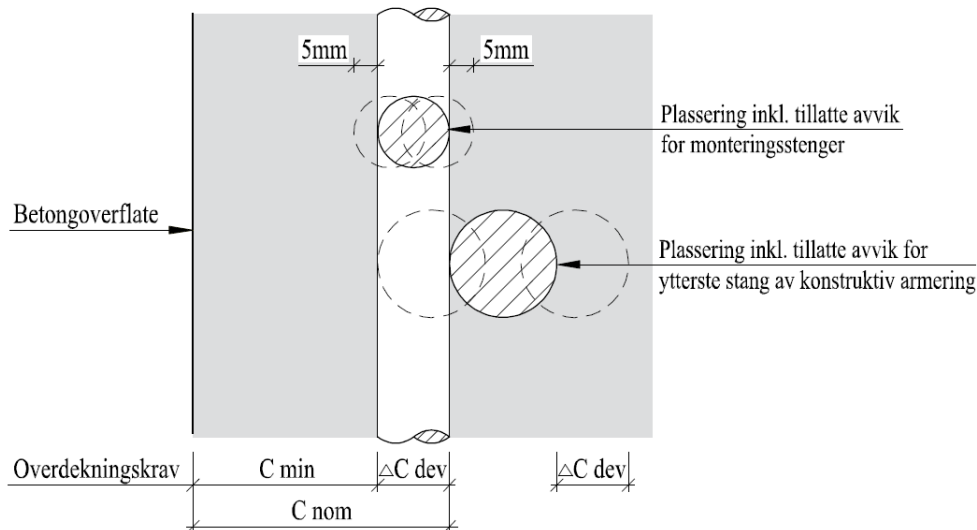


Figur 28 For tett armering (foto: Linda Brateng)

3.8.4 Overdekning

I 1994 la Statens vegvesen totalt om krav til overdekning av armering. Forslagene i *Rapporten fra 1994* ble således implementert. Som en fortsettelse på rapporten ble det utarbeidet en rapport, *Internrapport 1731 Sikring av overdekning for armering*, som krever bruk av monteringsjern mot forskaling og som skjerpet kravene til overdekning merkbart. Tidligere var det i Norge nærmest forbud mot bruk av monteringsstenger i regelverket mens det var praksis på byggeplass. Dette medførte at det i prosjekteringen ikke ble tatt hensyn til monteringsstenger samtidig som det ble brukt ute på byggeplass. Overdekningen ble dermed ofte skadelidende med armeringskorrosjon som resultat.

Utarbeidelsen av og innføringen av prinsippene i *Internrapport 1731 Sikring av overdekning for armering* er sannsynligvis den største enkeltstående forbedringen etter 1994. Det er krav i *håndbok R762 Prosesskode 2* om at internrapporten skal følges. Først i 2015 er dette fullstendig implementert i *håndbok N400 Bruprosjektering* selv om det har vært praksis i bransjen lenge. Figur 29 viser krav til overdekning.



	Konstruktiv armering	Tilhørende monteringsstenger	
	Overdekning	Diameter	Overdekning
Overflate 1	65+/-15 mm	12 mm	50+/-5 mm
Overflate 2	75+/-15 mm		
Overflate 3	75+/-15 mm	12 mm	60+/-5 mm
Overflate 4	120+/-20 mm	16 mm	100+/-10 mm

Figur 29 Krav til overdekning (fra håndbok V499 og N400 Bruprosjektering)

3.8.5 Kapplengde og mål på bøyde jern

Toleranser for kapplengder og mål er innarbeidet i *håndbok R762 Prosesskode 2*.

Tilbakemeldinger fra bransjen er at dette stort sett har løst de problemstillingene som var omtalt i *Rapporten fra 1994*.

3.9 Forskaling

Rapporten fra 1994 tar kun for seg to problemstillinger knyttet til forskaling, bruk av glideforskaling og bruk av drenerende forskalingsduk. Glideforskaling er ivaretatt gjennom *Internrapport 1669 Bruk av glideforskaling kontra klatreforskaling* og *Norsk Betongforenings publikasjon 25 Prosjektering og utførelse av konstruksjoner utstøpt med glideforskaling*.

Forskalingduk blir brukt i forbindelse med støp av betongrekkverk, men det er ikke noe krav om at det skal brukes. Bruken er derfor ikke konsekvent. Tilsynelatende får betongoverflatene mindre porer og større tetthet noe som sannsynligvis er bra med tanke på bestandighet. Det kan også være at det blir mye porer rett under den første overflaten med mørtel. Uansett er det for tidlig å trekke endelige konklusjoner om effekten der forskalingsduk er benyttet.

Bruk av ekspandert polystyren som forskalingshud har vist seg fungere dårlig og er ikke tillatt i henhold til *håndbok R762 Prosesskode 2*. Materialet tåler ikke den behandlingen forskaling skal tåle med skader som resultat. Betongoverflaten får ikke tilsiktet geometri og konstruksjonen ikke tiltenkt funksjon. Et eksempel på dette er når ekspandert polystyren

(EPS) har vært brukt i åpne spalter og skader i polystyrenen har medført betong mot betong i spalten. Bruas funksjon blir da ikke ivaretatt hvilket i sin tur gir skader andre steder.

Nylig ble det en stor skade på lagerinnfesting av fastlagre i forbindelse med bygging av en ny bru, se figur 30. I motsatt ende var det benyttet ekspandert polystyren som forskaling i en spalte. Skade på forskalingen medførte at spalten delvis var gjenstøpt og da brua ble spent opp, oppsto det så stor kraft på lagerboltene at betongen i landkaret gikk til brudd. Den delvis gjenstøpte spalten forhindret brua i å bevege seg i andre enden.



Figur 30 Skade på innfesting av fastlagre (foto: Odd Bjarne Norheim)

3.10 Miljøklassifisering

Dette er ivaretatt gjennom dagens regelverk.

4 Oppsummering

4.1 Generelt

Anbefalinger i rapporten *Prosjektering for bestandighet – med omtale og eksempler fra bruer* fra 1994 er langt på veg ivaretatt nå i 2015, men det er en stadig utvikling i samfunnet noe som kan medføre prosjekterte løsninger som ikke er gode med tanke på bestandighet.

4.2 Valg av veglinje og brukonsept

Valg av veglinje og brukonsept, se punkt 3.3 og 3.4 er i hovedsak veiledningsstoff, og det bør utarbeides en veileder som supplerer *håndbok N400 Bruprosjektering*.

Håndbok N100 Veg- og gateutforming bør også revideres slik at det blir tillatt med søyle i midtdeleren for tospenns overgangsbruer, se punkt 3.4.4.

4.3 Utforming, deltagere og armering

Konstruksjonsutforming, konstruksjonsdeltager og armering omtalt i punkt 3.5, 3.6 og 3.8 er i hovedsak ivaretatt i dagens regelverk. *Håndbok N400 Bruprosjektering* burde hatt forbud

mot bruk av kofferdam som forskaling, se punkt 3.5.6 og egne krav til rustfritt stål i sjøvann, se punkt 3.6.6.

4.4 Fuktisolering og membran

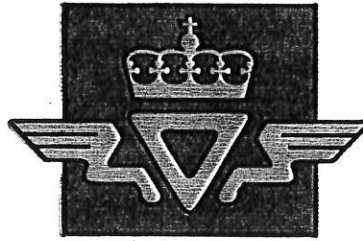
Siden 1994 er det innført krav om fuktisolering og membran for så godt som alle bruer. Dette manglet ofte tidligere og er et svært godt tiltak i forhold til bestandighet, se punkt 3.7. Kravet har også bedret kjørekomforten på bruene vesentlig.

5 Referanser

1. Statens vegvesen: *Håndbok N100 Veg- og gateutforming*, 2013
2. Statens vegvesen: *Håndbok N400 Bruprosjektering*, 2015
3. Statens vegvesen: *Håndbok N400 Bruprosjektering*, 2009
4. Statens vegvesen: *Håndbok V499 Bruprosjektering*, 2011
5. Statens vegvesen: *Håndbok 185 Prosjekteringsregler for bruer*, 1996 med *Rettelser, endringer og tillegg*, versjon 98-1 og 2001-01
6. Statens vegvesen: *Håndbok R762 Prosesskode 2*, 2015
7. Statens vegvesen: *Håndbok R762 Prosesskode 2*, 2007
8. Statens vegvesen: *Håndbok 026 Prosesskode 2*, 1997
9. Standard Norge: Eurokode 2: *NS-EN 1992 Prosjektering av betongkonstruksjoner*, Del 1-1: *Allmenne regler og regler for bygninger* og Del 2: *Bruer*
10. Standard Norge: *NS-EN 124 Sluktopper og kumtopper for kjøre- og fotgjengerområder*, Del 1: *Definisjoner, klassifisering, generelle prinsipper for konstruksjon, ytelseskrav og prøvingsmetoder* og Del 2: *Sluktopper og kumtopper laget av støpejern*, 2015
11. Norsk Betongforening: *Norsk Betongforenings publikasjon 25, Prosjektering og utførelse av konstruksjoner utstøpt med glideforskaling*, 1999
12. Statens vegvesen: *Internrapport 1731 Sikring av overdekning for armering*, 1994
13. Statens vegvesen: *Internrapport 1669 Bruk av glideforskaling kontra klatreforskaling*, 1994
14. Statens vegvesen: Rapport nummer 400 *Mekaniske brufuger*, 2015
15. Statens vegvesen: Rapport nummer 453 *Korrosjonsbeskyttelse for stålbruer – Inspeksjoner*, 2015
16. Statens vegvesen: Rapport nummer 505 *Korrosjonsbeskyttelse for stålbruer – Vurderinger*, 2016
17. Statens vegvesen: Rapport nummer 557 *Nye materialer for bruk i tunnel og bru*, 2016
18. Brudetaljer: <http://www.vegvesen.no/Fag/Teknologi/Bruer/Bruprosjektering/Brudetaljer>

6 Vedlegg

Prosjektering for bestandighet – med omtale og eksempler fra bruer



Statens vegvesen

PROSJEKTERING FOR BESTANDIGHET

- MED OMTALE OG EKSEMPLER FRA BRUER

Siv.ing. Reidar Kompen
Veglaboratoriet

bestand

Januar 1994

INNHold

1. INNLEDNING
2. SKADESITUASJONEN OG STATUS FOR BETONGFAGET
3. BETONGSKADER ELLER SKADDE KONSTRUKSJONER?
4. PROSJEKTERING FOR BESTANDIGHET KREVER OMSTILLINGER AV TANKEGANGEN
5. TILTAK FOR BEDRE BESTANDIGHET AV NYE BRUER
 - 5.1 Valg av veglinje (plassering av bruer)
 - .1 Lokalklima
 - .2 Høyde over sjø(saltvann)
 - .3 Høyde over veg (overgangsbruer)
 - .4 Vertikalkurvatur, lavbrekk og fallforhold
 - 5.2 Valg av bru-konsept
 - .1 Antall søyler i sjø (saltvann)
 - .2 Fundamenteringsmåte og søyleutforming i sjø
 - .3 Søyleplassering inntil veg (overgangsbruer)
 - .4 Tverrsnittsutforming av bruoverbygning
 - 5.3 Konstruksjonsutforming
 - .1 Landkar
 - .2 Fuger
 - .3 Lagre
 - 5.4 Konstruksjonsdetaljer
 - .1 Rekkverksinnfesting
 - .2 Dryppneser
 - .3 Vannavløp
 - .4 Utstikkende hjørner
 - .5 Tverrsnittsutforming som krever overforskaling
 - .6 Bruk av forskaling som kofferdam
 - .7 Vis vannet vekk
 - .8 Støpeskjøter
6. ARMERING
 - 6.1 Hva sier NS 3473 om armeringstetthet?
 - 6.2 Byggemål for armering, resulterende avvik mellom teoretiske og virkelige mål
 - 6.3 Anbefalte armeringsregler for å sikre utstøpingsmulighet
 - 6.4 Valg av stangdiameter
 - 6.5 Skjøting av armering

7. OVERDEKNING

- 7.1** Hva sier Norsk Standard om overdekning
- 7.2** Dagens praksis mht. overdekning
- 7.3** Anbefalt praksis for sikring av overdekning
- 7.4** Kapplengde og mål på bøyde jern
- 7.5** Anbefalt praksis for målangivelse i bøyelister

8. FORSKALING

- 8.1** Glideforskaling
- 8.2** Forskalingsduk

9. MILJØKLASSIFISERING

- 9.1** Materialvalg, betongsammensetning
- 9.2** Overdekningskrav

10. AVSLUTNING

1 INNLEDNING

Byggebransjen arbeider ut fra et lengre tidsperspektiv enn de fleste andre bransjer. De produktene vi lager skal ikke bare tjene vår generasjon, men forhåpentligvis være til nytte også for generasjonene etter oss. Byggverk fra ulike tidsepoker inngår blant våre mest synlige og viktige kulturhistoriske minnesmerker.

De fleste av de byggverk vi lager er dagligdagse bruks-byggverk, hvor vi ikke har noen ambisjoner om at de skal inngå i kulturhistorien. Like fullt er det et krav fra det samfunnet vi er en del av, at byggverkene skal være funksjonsdyktige og sikre i sin forutsatte levetid. Selv om vi ennå (heldigvis) ikke har hatt noen dramatiske hendelser pga. manglende bestandighet av byggverk, er det i dag klart og tydelig for alle i bransjen at vi trenger kvalitetsheving for nye byggverk. For vegvesenet, som kanskje er den største forvalteren av byggverk i Norge, er det dramatisk med den skade-oppblomstringen vi har sett de senere årene. Reparasjon og vedlikehold av byggverk vil gjøre stor innhugg i kystfylkenes budsjetter i årene som kommer. Dette haster med å få etablert en bedre byggepraksis. Desto lenger tid det tar å etablere den nødvendige kvalitetsheving, jo større usikkerhet vil det være omkring framtidige vedlikeholdskostnader.

Dette innlegget vil omhandle enkelte av de forhold som virker inn på konstruksjonenes holdbarhet, og som de prosjekterende har ansvar for. Jeg vil begrense meg til slike detaljer som kan observeres fra utførelses-sida, og ikke gå inn på dimensjonerings-filosofi. Jeg vil heller ikke gå bredt inn på hvordan de prosjekterende bestemmer holdbarhets-egenskaper indirekte ved sine utførelses-spesifikasjoner. Alle konkrete detaljer og all omtale gjelder spesielt for bruer.

2 SKADESITUASJONEN OG STATUS FOR BETONGFAGET

De fleste vil hevde at vi alltid, som en selvfølge, har prosjektert konstruksjonene med henblikk på god bestandighet. De fleste vil også hevde at regelverket vi har, som en like stor selvfølge, er utformet slik at det ivaretar både sikkerhet og bestandighet.

I dag må vi innrømme at dette ikke alltid har vært tilfelle. Tidligere standarder og øvrig regelverk har vist seg å resultere i for dårlig bestandighet. Vi har heller ingen garanti for at nåværende regelverk gir tilstrekkelig bestandige konstruksjoner.

Uansett hvor mye vi misliker det, må vi bare innrømme at omfanget av skader på våre betongkonstruksjoner er større enn noen av oss trodde ville være mulig for bare noen få år siden. Av dette kan vi bare trekke den konklusjonen at byggepraksis har vært, og kanskje fortsatt er, faglig ute av kontroll.

Noe enkelt svar på hvorfor fagmiljøet ikke har greid å løse byggepraksis på rett veg, finnes neppe. Enkelte momenter som i alle fall har sammenheng med den situasjonen betongfaget nå er kommet opp i, er:

1. Fordi alle inntil for få år siden mente at betong hadde så god holdbarhet, og at vi trodde at holdbarhetsbegrensningene var velkjent og innarbeidet i byggepraksisen,
 - a) fokuserte vi all oppmerksomhet mot å bygge raskere og billigere.
 - b) utnyttet vi materialet stadig mer og laget slankere konstruksjoner ("Tar du den, så tar du den").
 - c) forsømte hele bransjen å holde seg faglig ajour. Det var ingen motivasjon for å lære betong, "det gikk jo bra uansett".
2. Byggevolumet økte kraftig fra ca 1960, vi har derfor et helt annet antall konstruksjoner i kritisk alder nå enn noen gang tidligere.
3. Spesielt med hensyn til bruskadene gjelder det at vi tok med oss byggeskikken fra innlandet og beskyttede farvann ut i havgapet, uten å forstå hvilke nedbrytende krefter konstruksjonene blir utsatt for der.

For noen få år siden, da skadeomfanget begynte å komme for en dag, viste oppslag i aviser og fagpresse at det var stor forvirring om hva som var de egentlige årsakene bakom betongskadene. Mange forsøkte å distansere seg fra sitt ansvar. I særlig grad ble slurv i utførelsen framhevet som den egentlige skadeårsaken.

I dag har vi et mer nyansert syn på hva som er de egentlige skadeårsakene. utførelses-slurv er bare en av flere årsaker. Vi kan ikke utpeke noen yrkesgruppe som mer "skyldig" enn andre, men kan konstatere at feiltagelser er begått på flere plan:

- A. Såvel det norske som det internasjonale miljøet av fag-eksperter har overvurdert betongens evne til å beskytte armeringen mot korrosjon, i særlig grad har virkningen av marint miljø og smeltesalt med hensyn til armeringskorrosjon blitt undervurdert.
- B. Det tekniske regelverket, deriblant Norske Standarder, har vært for dårlige som følge av A, regelverket har ikke ivaretatt holdbarhet i tilstrekkelig grad.
- C. De prosjekterende har valgt sårbare konstruktive løsninger og uheldige eller feilaktige konstruktive detaljer.
- D. Uprofesjonelle holdninger til eget arbeid. Det kan ikke underslås at regelrett slurv og mangel på kvalitetsbevissthet er en viktig årsak. Denne anklagen kan reises overfor flere yrkesgrupper, deriblant også betongarbeiderne.

Betongbransjen har et kollektivt ansvar for skadesituasjonen. Når konstruksjons-, material- og byggepraksis skal forbedres, må alle innse sitt ansvar, og feie for egen dør.

3 BETONGSKADER ELLER SKADDE KONSTRUKSJONER?

Etter min mening har bruken av ordet "betongskader" i stor grad vært villedende. Med svært få unntak har selve betongmaterialet vist god holdbarhet i alle typer klima.

De unntak som fins fra denne hovedregelen skyldes først og fremst:

- bruk av kloridholdig herdningsaksellerator og andre kloridholdige delmaterialer, særlig sjøvann som blandevann og i noen grad sjøgrabbet tilslag.
- grove feil i materialbruk, f.eks. "innendørs-betong" på utkragede balkongplater.
- betongdimensjoner og konstruksjonsutforming som ikke tillater bruk av normal- eller høykvalitets betong, eksempelvis balkongbrystninger.

Den totalt dominerende skadetyper på betongkonstruksjonene i dag er armeringskorrosjon, for kystbruene kloridinitiert armeringskorrosjon. Det er armeringen og ikke betongen som har de primære skadene. Riktig nok har vi både frostskader, karbonatisering, utluting og alkali-aggregat reaksjon også, men disse skadetyperne er iallefall hittil av et så beskjedent omfang at de ikke representerer noen økonomisk trussel. Vi må imidlertid være oppmerksom på dem og ta rimelige forholdsregler.

Generelt er det altså ikke nødvendigvis betongens, men konstruksjonenes bestandighet som må forbedres.

Dermed virker også oppgaven langt mer kompleks, men vi har også flere muligheter for å løse den. Noen løsning av bestandighetsproblemet tror jeg neppe vi vil få uten at vi tar en kritisk gjennomgang av hele vår konstruksjons- og byggepraksis, og gjennomfører forbedringer på svært mange områder.

4 PROSJEKTERING FOR BESTANDIGHET KREVER OMSTILLINGER AV TANKEGANGEN

Enkelt og prinsipielt formulert har vi at:

Holdbarhet oppnås dersom
Motstandsevne > Påkjenning

Forbedring av holdbarheten kan oppnås både ved å øke motstandsevnen, eksempelvis

- økning av armeringsoverdekningen,
- reduksjon av armeringens sårbarhet,
- høyere betongkvalitet, tettere betong,
- mindre sårbare, mer robuste konstruksjonsdetaljer,

- og ved å redusere påkjenningen.
- valg av plassering for konstruksjonen.
- hensiktsmessig konstruksjonsutforming.
- sørge for at vann ledes vekk og ikke gir unødig oppfukting av konstruksjonen.
- hensiktsmessig konstruksjonsutforming.
- sørge for at vann ledes vekk og ikke gir unødig oppfukting av konstruksjonen.

Den første og viktigste omstillingen vil være at valg gjøres ut fra årskostnader eller levetidskostnader, og ikke ut fra byggekostnader alene. Selv om vi ennå har dårlig med beregningsverktøy, er selve den mentale omstillingen viktig.

Den neste omstillingen er at valg må gjøres ut fra reelle risikovurderinger, og ikke ut fra hva som lar seg beregne og tegne.

En byggherre som vil prioritere holdbarhet, må også prioritere løsninger hvor utførelsen kan kontrolleres og dokumenteres, og hvor tilstanden seinere kan inspiseres. Dette gjelder også selv om det vil være dyrere å bygge. Løsninger hvor en må arbeide i blinde og ikke kan kontrollere må, dersom de i det hele tatt skal aksepteres, dimensjoneres med betydelig økt sikkerhetsmargin.

Løsninger som er så risikofylte eller sårbare at de ikke kan bli vellykkede uten å ha flaks, kan ikke velges. Det må tenkes i retning av enkle og robuste konstruksjoner, ikke i retning av slankhet, spenstighet og dristighet. Dette er ikke for at den utførende skal få det enkelt, men fordi byggherren ikke vil være med på å ta risikoen for at tilfeldig ugunstige forhold eller små feilvurderinger skal få store konsekvenser.

Ensidig fokusering av holdbarhet er enkelt og mulig å få til, på samme måte som ensidig fokusering av bæreevne overfor laster har vært mulig. Slik ensidig fokusering er imidlertid uakseptabelt for en byggherre, fordi de økonomiske konsekvensene kan bli større enn man kan tåle.

En bør skille mellom:

1. Å prosjektere for holdbarhet, å tilstrebe best mulig holdbarhet.
2. Å dimensjonere for holdbarhet, å dosere holdbarhets-tiltak etter størrelsen av de nedbrytningskreftene som er aktuelle, slik at holdbarheten er god nok.

Billige holdbarhetstiltak vil en kunne legge inn i alle eller de fleste byggverk uten at en har noen klar påvisning av at de er nødvendige. Jo mer kostbare holdbarhetstiltak er, desto større sikkerhet må en ha for at de virkelig er nødvendige og økonomisk forsvarlige.

Vurdering av hva som er nødvendig kvalitet ut fra klimatiske

påkjenninger er vanskelig, og vi har spinkle tradisjoner i slik tenkning. Likevel er det innlysende at vi snarest mulig må kommet over til å nyansere den totale mengden av holdbarhets tiltak for hver enkelt konstruksjon etter de nedbrytende kreftene den utsettes for.

5 TILTAK FOR BEDRE BESTANDIGHET AV NYE BRUER

Vegvesenet tar sikte på å gå gjennom vesentlige deler av det tekniske regelverket for bygging av bruer i 1994. Det som blir presentert her vil derfor være personlige synspunkter, og ikke nødvendigvis de prioriteringer vegvesenet kommer til å praktisere.

Prosesskode-2 (Vegvesenets Håndbok-026), som ble utgitt i revidert utgave høsten 1988, utgjør en viktig del av det tekniske regelverket pr. i dag. Denne er basert på NS 3420, 1986-utgaven. Tiltak for bedring av bruens holdbarhet vil kunne omfatte såvel revisjon av Prosesskodens regler som andre virkemidler.

Bestandighets-fremmende tiltak kan være av ulik karakter:

1. Rene anbefalinger. Forhold som alltid må vurderes spesielt for hvert enkelt prosjekt (F.eks. veg-geometri).
2. Tekniske detaljløsninger som er meget viktige under visse betingelser, men mindre viktige under andre forhold (F.eks. tverrsnittsutforming av bruoverbygning).
3. Tekniske detaljløsninger som er av betydning under alle forhold, og som bør gjennomføres på alle bruer.(F.eks. rekkverksinnfesting).
4. Tekniske krav som kan kvantifiseres i standarder og regelverk (F.eks. armeringsoverdekning).

5.1 Valg av veglinje (plassering av bruer)

Det er et meget viktig tiltak i seg selv at bru-eksperter engasjeres og får reell innvirkning på veg- og konstruksjons-utformingen fra første stund. I enhver vegsak vil det selvfølgelig være mange innbyrdes motstridende hensyn å ta, og bru-eksperter kan derfor ikke forvente å få gjennomslag for sine synspunkter hver gang. Likevel fins det mengder av eksempler hvor konstruksjonen ville kunne blitt mindre sårbar og hele prosjektet billigere om bru-eksperter hadde blitt konsultert på et tidlig stadium.

5.1.1 Lokalklima

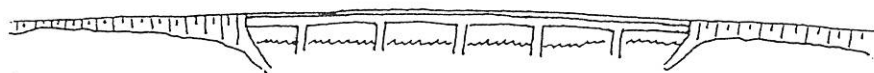
Hvis mulig bør det unngås å plassere bruer der miljøpåkjennningene er ekstremt store. Dette er viktig ikke bare for å redusere miljø-angrepet, men også for å kunne holde vegen åpen og for å kunne utføre ordinært vedlikehold.

5.1.2 Høyde over sjø(saltvann)

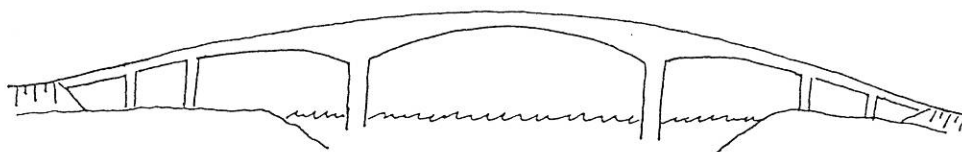
Et vesentlig moment for å redusere miljøpåkjennningene, er å heve brua tilstrekkelig over sjøen. Dette er et av selve hoved-virkemidlene for å redusere påkjennningene, og som det har vært utilstrekkelig bevissthet om helt til nå. Praksis har vært at krav til fri seilingshøyde har bestemt nivået

for brua.

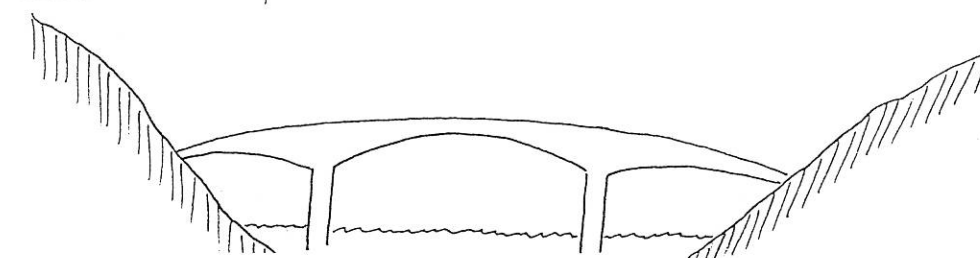
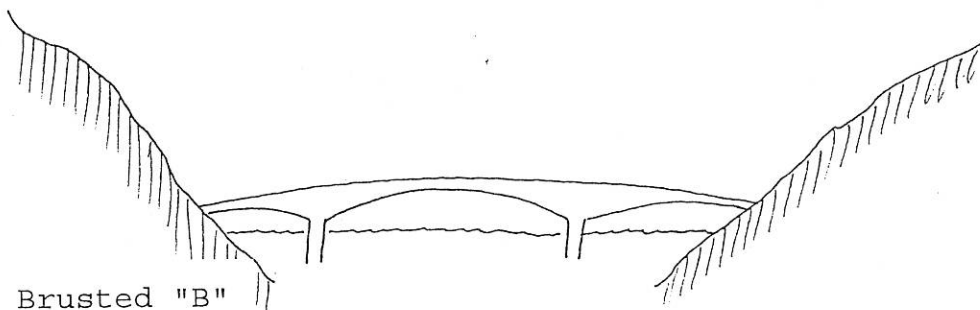
Som hovedregel bør underkant bruoverbygning ligge minst 6-8 m over HHV. På spesielt værutsatte steder bør høyden økes til minst 12 m. Dette kan medføre høyere tilløpsfyllinger og/eller lengre bruer. Begge konsekvenser vil medføre kostnadsøkninger.



Brusted "A"



Brusted "B"



Lav og kort bru gir laveste anleggskostnader, høy bru kan gi lavere levetidskostnader. Brustedets topografi vil ha stor betydning for det endelige valget.

5.1.3 Høyde over veg(overgangsbruer)

For å redusere påvirkningen av "salt-tåke", særlig fra tunge kjøretøyer på saltede veger, kan overgangsbruer med fordel legges noe høyere over veg enn det som til nå har vært praksis.

Eventuelt ekstra kostnad ved økt fri høyde bør vurderes som alternativ til f.eks. økt armeringsoverdekning i hvert enkelt tilfelle.

5.1.4 Vertikalkurvatur, lavbrekk og fallforhold

Et viktig moment for å sikre holdbarhet av selve brubanen, er at overflatevann ledes effektivt vekk.

Det er derfor ugunstig dersom bruer blir liggende i lavbrekk. Likeledes er det særs ugunstig dersom kurvatur og tverrfall resulterer i at brudekket

får tilnærmet horisontale arealer.

5.2 Valg av bru-konsept

5.2.1 Antall søyler i sjø(saltvann)

Konstruksjonsdeler i splash-sonen og de første 6-8 meterne over denne er de mest utsatte. Dette momentet medfører at færre søyler og lengre spennvidder er mer lønnsomt enn rene anleggskostnad beregninger viser.

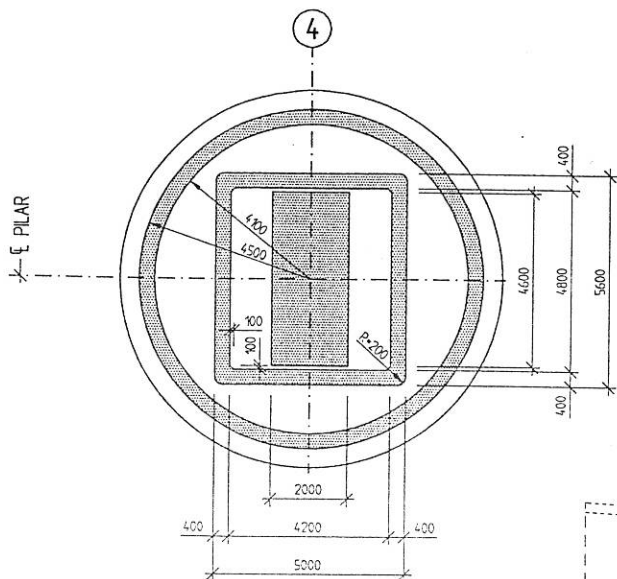
5.2.2 Fundamenteringsmåte og søyleutforming i sjø

Såvel plass-støpte (undervannstøpte) fundamenter som senkekasser er aktuelle. Plass-støpte fundamenter vil være mest konkurransedyktige dersom det fins høy betongleverings-kapasitet i nærheten. Senkekasser har den fordelen at de er "prefabrikkerte", og dermed kan vrakes dersom de har alvorlige kvalitets-svikt.

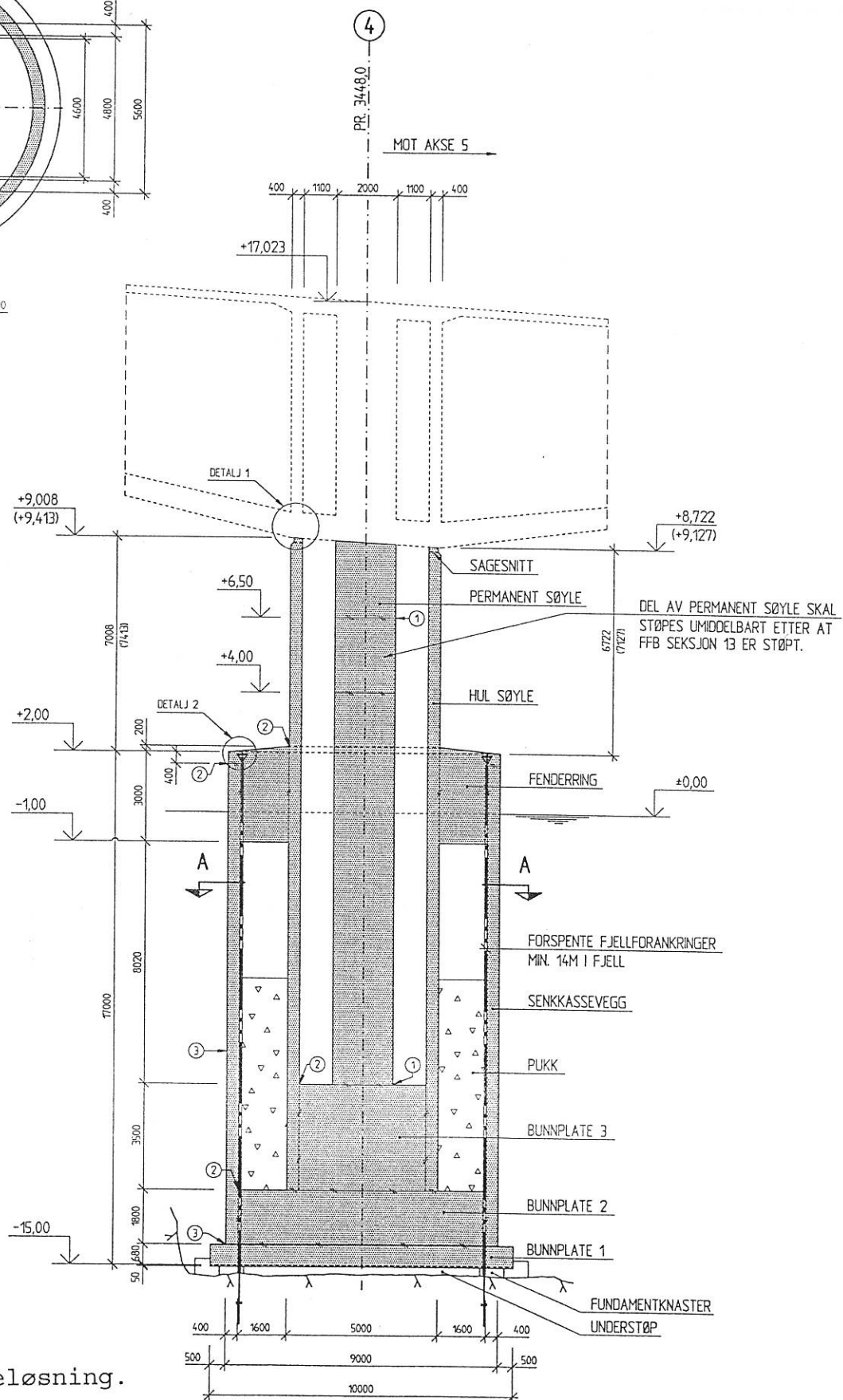
Norsk Betongforenings reviderte Publikasjon nr. 5, som vil bli utgitt i 1994, antas å ville gi grunnlag for sikrere utførelse av undervannstøp av brufundamenter.

Når det gjelder senkekaske og søyle-løsning, representerer det konseptet som er valgt for Aursund-brua i Møre og Romsdal /9/ en vesentlig forbedring. Konseptet er satt sammen av flere ideer som er benyttet tidligere, til en helhet som reduserer påkjenningen på den bærende konstruksjonen, og som reduserer konstruksjonens sårbarhet i betydelig grad. De konstruksjons-elementene som beskytter den endelige konstruksjonen (hul søyle, ytre senkekaske-vegg) er nødvendige i byggetilstanden og inngår også i den ferdige brua som fending mot skipspåkjørsel. Løsningen bedrer også på det estetikk-problemet mange fritt-frambygg bruer har hatt.

Installasjon av katodisk beskyttelse (offeranoder) på fundamenter i sjøen allerede fra nybygg-fasen, kan være et meget aktuelt tiltak. Spørsmål bør imidlertid bearbeides noe mer, for at en skal være sikker på alle effekter.



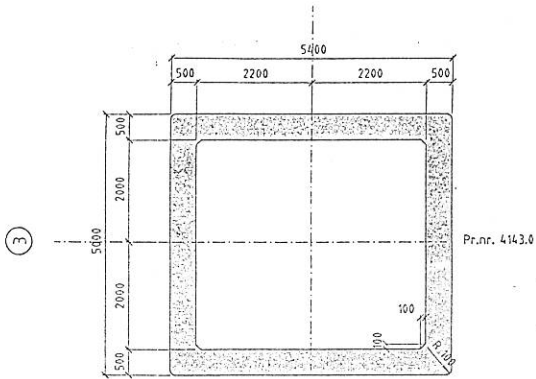
SNITT A-A, 1:100



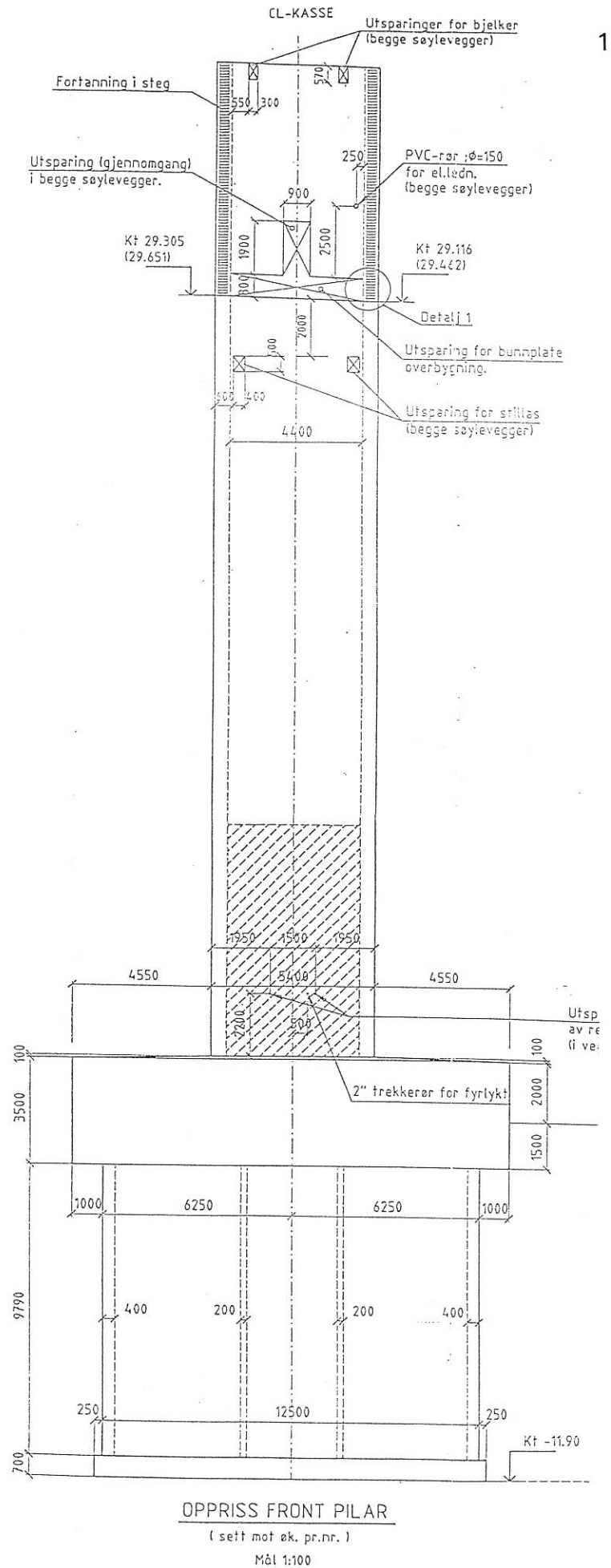
Søyle- og senkekasseløsning.

AURSUNDBRUA.

SNITT LENGDERETNING, 1:100



TVERRSNITT SØYLE
Mål 1:50



OPPRISS FRONT PILAR

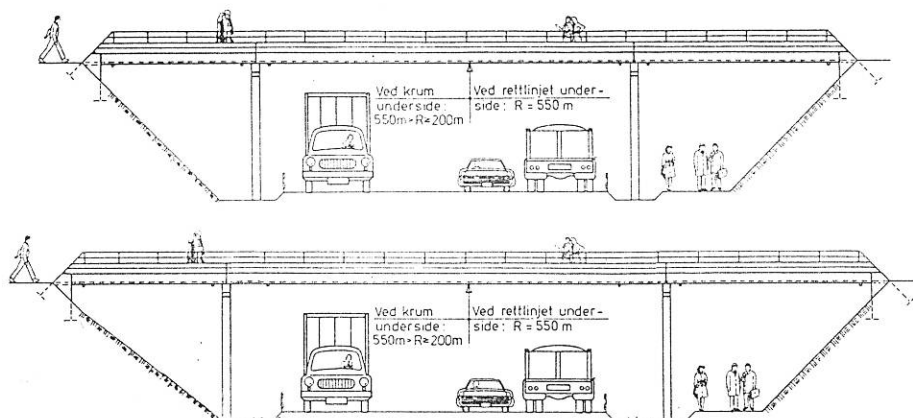
(sett mot øk. pr.nr. 1)

Mål 1:100

Søyle- og senkekasseløsning,
en av de TRADISJONELLE
LØSNINGER.

5.2.3 Søyleplassering inntil veg (overgangsbruer)

I følge danske erfaringer bør søyler for overgangsbruer plasseres 1.0-1.5 m til side for grøftebunn. Søyler og fundamenter i grøftebunn vil være vesentlig mer utsatt for saltpåkjenninger fra sprut og overvann på vegen enn søyler i skråningen. I følge vegnormalene skal søyler stå min. 3,0 m fra kant skulder.

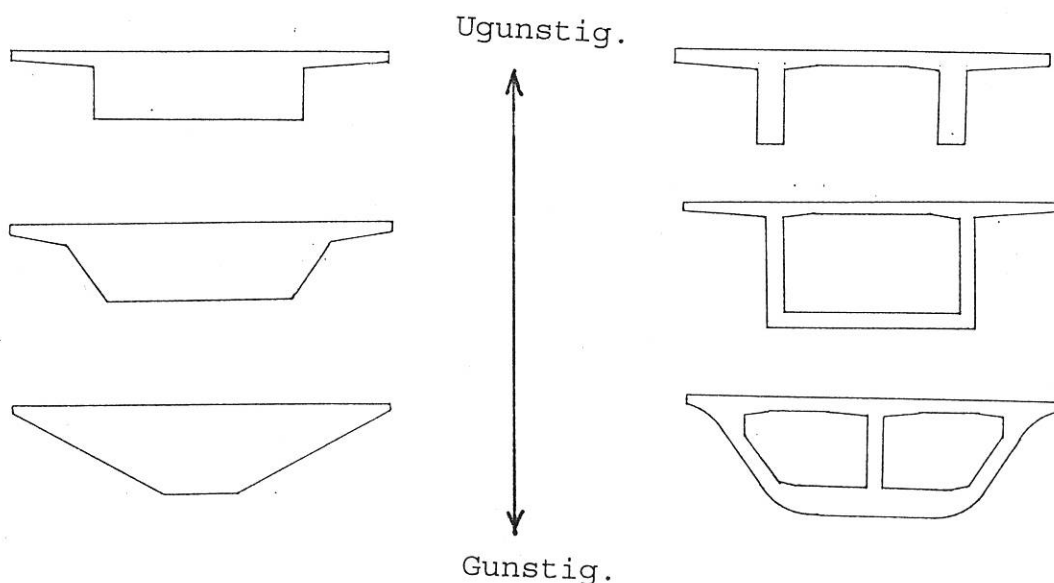


Plassering av søyler slik at de ikke utsettes for saltsprut og saltholdig overvann medfører økt spennvidde.

Søyler i midtrabatt bør stå på sokkel, som kan ta opp eventuelle påkjørselskrefter. Selve søylene vil bli utsatt for "salt-tåke" der det brukes salting i vintervedlikeholdet, og bør derfor ha økt overdekning. Søyler nær inntil veg bør uansett ha en viss robusthet.

5.2.4 Tverrsnittsutforming av bruoverbygning

Minst mulig overflateareal av bruoverbygningen og mest mulig aerodynamisk form vil være en fordel, spesielt gjelder dette i marint klima. Generelt viser kloridinntrengningen seg å være størst på le-siden av konstruksjonene, og det er om å gjøre å redusere arealet av le-sider mest mulig. Det er et spørsmål om bjelkebruer i det hele tatt bør tillates bygget i marint klima.

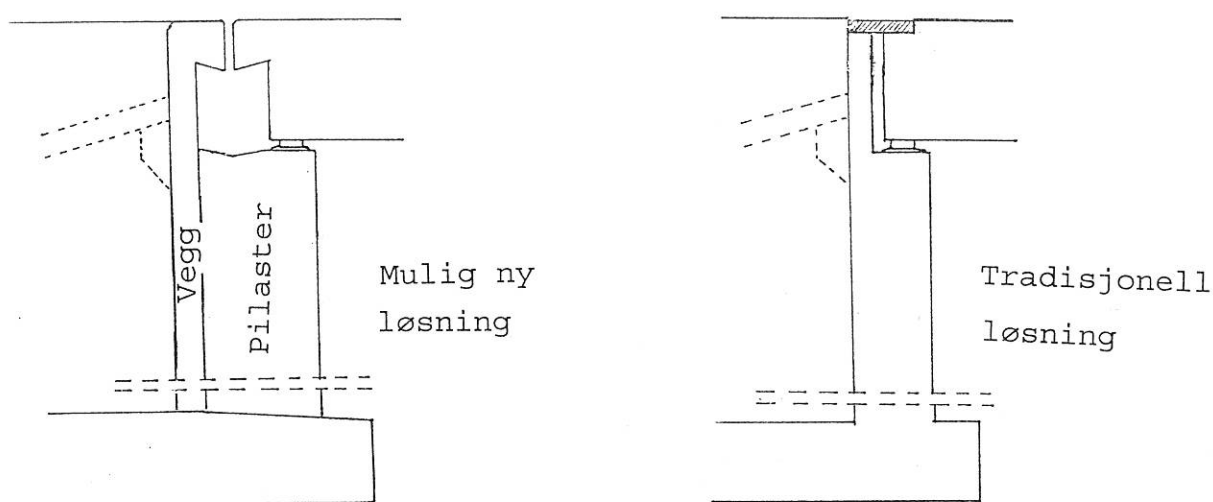


5.3 Konstruksjonsutforming

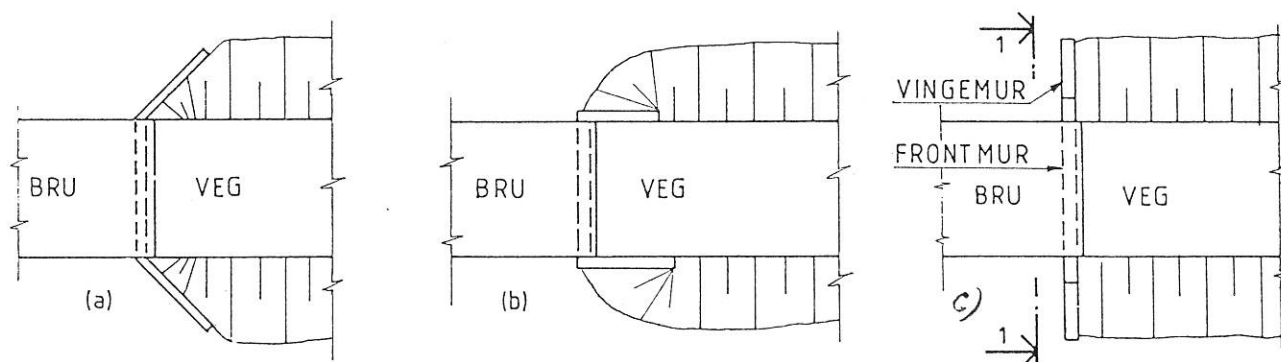
5.3.1 Landkar

Vannlekkasje i brufuger har "alltid" vært et problem, og er det fortsatt. Når en ikke greier å få tette fuger, bør en ta konsekvensen av det og utforme landkarene slik at lekkasjevannet (overvann med smeltesalt) gjør minst mulig skade. Lankarhyller med tilhørende lagre er i dag svært utsatte konstruksjonsdeler.

En konstruksjonsløsning som vil ivareta dette problemet langt bedre enn løsningen som vanligvis har vært brukt hittil, er vist nedenfor.

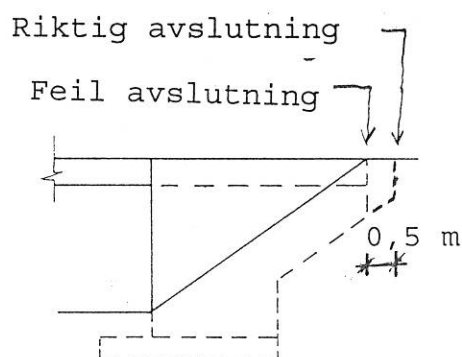


For overgangsbruer med landkar nær inntil veg kan det være et lite tilleggsponng å legge landkarvingen langs med eller i 45° med vegen (løsning c. eller a. i figuren nedenfor) for å bedre aerodynamikken og få mindre le-effekt.

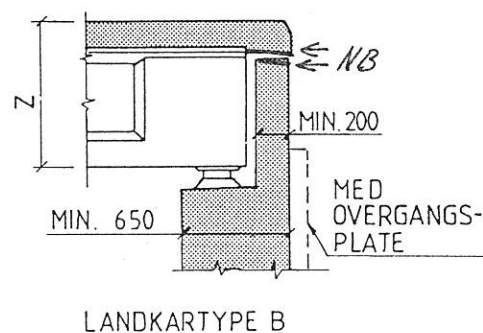
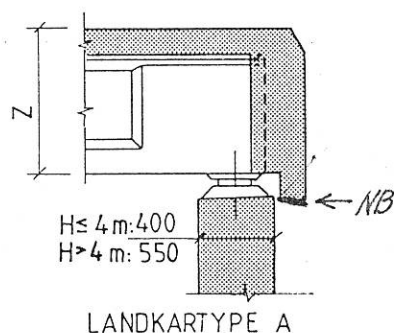


Landkar med vingemurer i vinkel med frontmurer

En annen "feil" som går igjen på landkar med vinger langs veg (løsning b. ovenfor), er at vingen gjøres for kort slik at den ikke har sikkerhet for å støtte opp løsmasse-skråningen.



Forøvrig kan små detaljer, som helning av betongoverflate, ha stor betydning for i hvilken grad lagerhyller fuktes opp, kfr. "flikkingen" på skissene fra Bruhåndboka nedenfor.



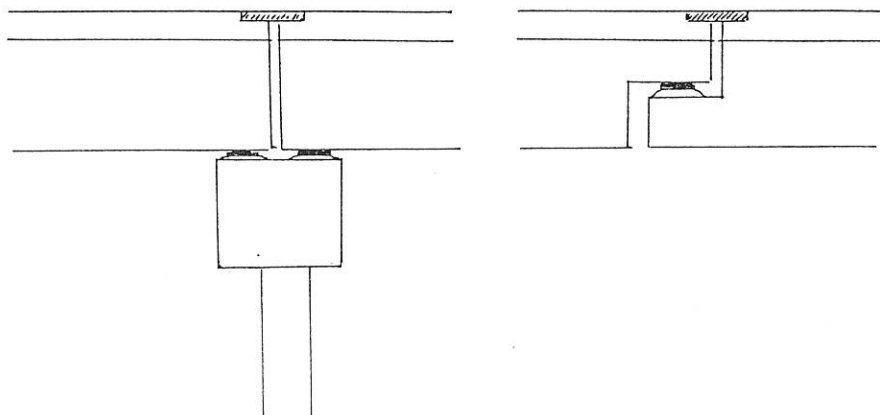
5.3.2 Fuger

På grunn av at fuger erfaringsmessig aldri er vanntette, bør bruk av dilatasjonsfuger begrenses vesentlig. Det har vært foreslått /8/:

- bruer inntil 1000 m lengde: kun en fuge
- bruer inntil 2000 m lengde: kun to fuger

Under fuger bør det alltid være gode luftingsmuligheter og gode adkomst/inspeksjonsmuligheter.

Fuger i bruoverbygning over søyler må unngås. Dilatasjonsfuger i 1/4-punktene av bruspenn må også unngås.



Fugeplasseringer som bør unngås.

5.3.3 Lagre

Både reduksjonen i bruk av dilatasjonsfuger, og bruk av betongdimensjoner som tillater sikker utstøping, vil medføre behov for mer omfattende bruk av bevegelige lagre. Lagre er i seg selv alltid utsatte konstruksjonsdeler. Disse bør derfor legges mest mulig skjermet mot direkte miljøkrefter, men likevel åpent for inspeksjon. Det burde være en selvfølge at konstruksjonen var utformet med hensyn på enkel utskifting av lagre.

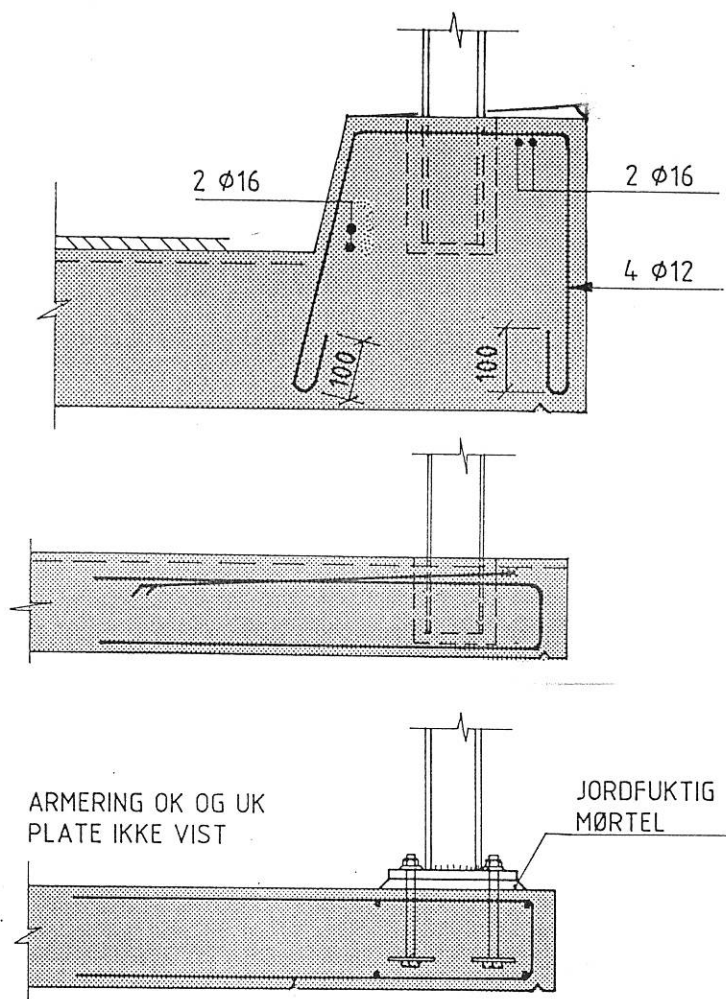
5.4 Konstruksjonsdetaljer

5.4.1 Rekkverksinnfesting

Det er utrolig mye skader på rekkverksinnfestinger, hvor rekkverkstolper er faststøpt i utsparinger. Skadetyper er blant de riktig "tunge" i økonomisk sammenheng, og har også sikkerhetsmessige konsekvenser. Selv om betydelige forbedringer er mulig å oppnå ved mer detaljert beskrivelse av de enkelte arbeidsoperasjoner, er det likevel spørsmål om utsparingsløsningen er for risikofylt og sårbar. Reparasjon og utskifting er også meget arbeidskrevende hvis rekkverket blir utsatt for påkjørsel.

Mange ønsker å forlate utsparings-løsningen og gå fullstendig over til rekkverk-stolper med fotplate. Uansett løsning må det til en meget detaljert arbeidsbeskrivelse og utførelseskontroll for rekkverksinnfestinger.

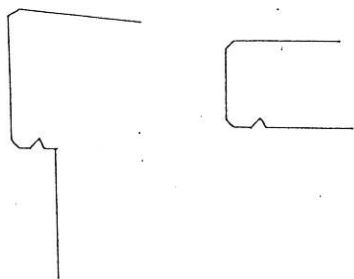
"Standard" rekkverksinnfesting med henholdsvis utsparing og fotplate er vist i figurene nedenfor. En løsning som også kan være aktuell, er å benytte gjennomgående bolter for fotplatene. Boltehull bør da kjernebores etter at bruplata har herdnet.



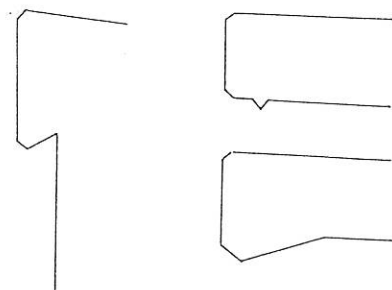
5.4.2 Dryppneser

Dryppneser har hittil vært utformet "negative", dvs. ved innhakk i betongen. Dette har gitt lokal reduksjon av armeringsoverdekningen der det er ekstra fuktig, og resultatene viser seg med rustutslag på nesten hver eneste bru av noen alder.

Der det ikke benyttes systemforskaling vil det være et ubetydelig ekstraarbeid å utføre "positive" (utstikkende) dryppneser. Dette bør derfor også bli den framtidige standardløsningen. Detaljutformingen vil kunne variere, men bør være rimelig robust overfor skader ved riving av forskalingen.



Løsning brukt til nå



Framtidige standard-løsninger

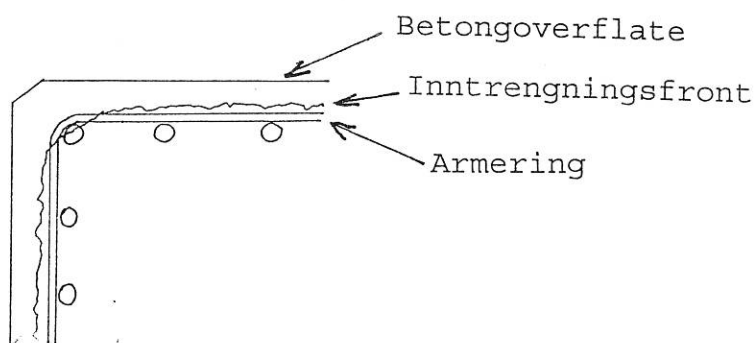
5.4.3 Vannavløp

Nest etter fuger og rekkverksutsparinger er vannavløp fra brubanen den konstruksjonsdetaljen som forårsaker mest skader. Følgende punkter er viktige:

- a) Plassering, vannavløp må ikke plasseres slik at de fukter ned underliggende konstruksjonsdeler.
- b) Lengde av avløpsrør under bruplate. Avslutning av avløpsrør jevnt med underkant betong må aldri tillates. Utstikk på 10 cm kan være tilstrekkelig der det er lite vind. På vindutsatte steder bør utløpet fortrinnsvis være så lavt at vann ikke blåser inn på bruoverbygningen. Dette vil kreve kompromiss med estetiske forhold.
- c) Detaljer ved innløp til avløpsrøret samt innstøping av røret. Her kreves det vesentlig mer detaljert arbeidsbeskrivelse og utførelseskontroll, lekkasje mellom rør og betong oppstår alt for ofte. Plastrør vil ikke ha heft til betong, og kan derfor ikke benyttes.
- d) Føring av avløpsrør inn i brukasse og videre føring av overvannet i et rørsystem medfører erfaringsmessig svært mye vedlikeholdsarbeid og risiko for tilgroing av rørene. Denne løsningen bør derfor unngås.

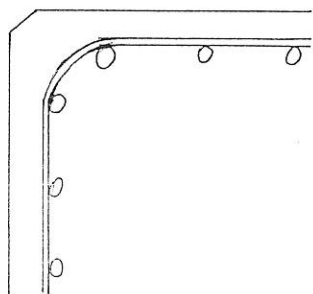
5.4.4 Utstikkende hjørner

Ved utstikkende hjørner vil aggressiver komme til fra to kanter. Resulterende inntrengningsfront blir da følgende:

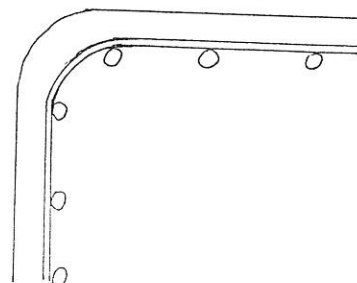


For å unngå tidlig armeringskorrosjon og utsprenkning av betongoverdekningen på hjørnet, kan følgende to løsninger benyttes:

A) Større bøyeradius for armering



b) Avrundet hjørne



Ved store trykkspenninger kan det være risiko for avsprenkning av tykke, uarmerte hjørner som vist i a). Løsning b) medfører mer kostbar forskaling.

Valget mellom løsningene a) og b) avhenger derfor i stor grad av hvor påkjent konstruksjonsdelen er. Jeg vil tro at den enkle løsningen a) kan benyttes i svært mange tilfelle.

Hvor stor avrundingen bør være for løsning b) avhenger av klimapåkjenningene. Jeg vil tro at selve "hjørne-effekten" ved de vanligste påkjenninger ville være opphevet ved en avrunding med $R = 10$ cm. I spesielt utsatt marint klima bør avrundingen antakelig økes til $R = 0.5-1.0$ m, for å redusere turbulens og "le-effekten".

Dersom regelverket hadde tatt hensyn til "hjørne-effekten", ville det vært logisk om minste bøyeradius for armering i utstikkende hjørner hadde vært en funksjon av overdekningstykkelsen. Sammenhengen mellom overdekning og tillatte bøyeradius burde antakelig vært:
 $\text{Bøyeradius} = 1,5 \times \text{overdekning}.$

Dette ville medført:

Overdekning, mm	40	50	75	100
Min.dor-diameter, mm	120	150	225	300
Nærmest std.dor, mm	125	160	250	320

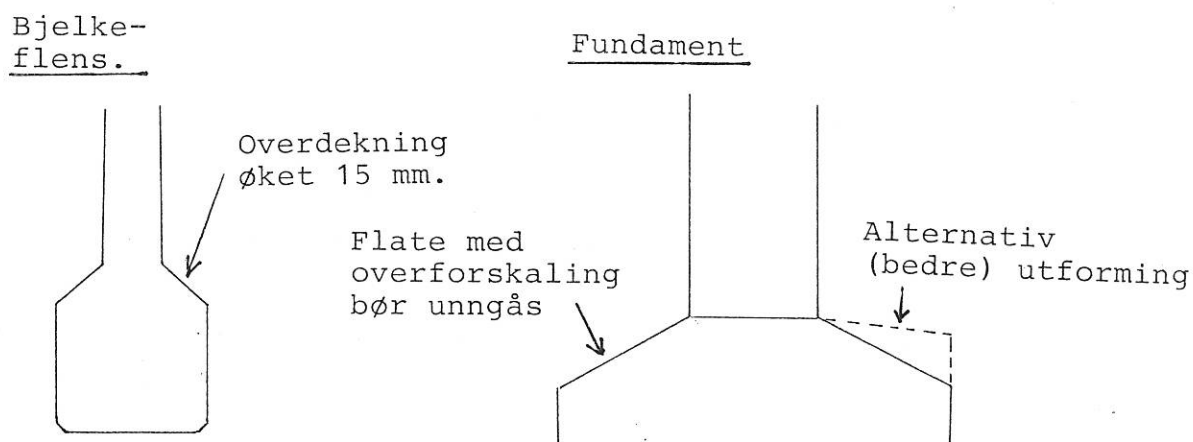
5.4.5 Tverrsnittsutforming som krever overforskaling

Erfaringsmessig får betong utstøpt mot overforskaling (horisontal eller skrå) dårlig komprimering. Dette skyldes begrenset mulighet for å komme til med vibrator. Erfaringsmessig får en også svært mye og grove overflateporer mot overforskaling.

Horisontale og skrå overflater er også ofte svært utsatt for oppfukting.

Tverrsnittsutforminger som krever overforskaling bør derfor, så langt det er mulig, unngås. Dersom overforskaling ikke kan unngås, bør armeringsoverdekningen mot overforskalingen økes med f.eks. 15 mm.

Eksempler på overforskaling:

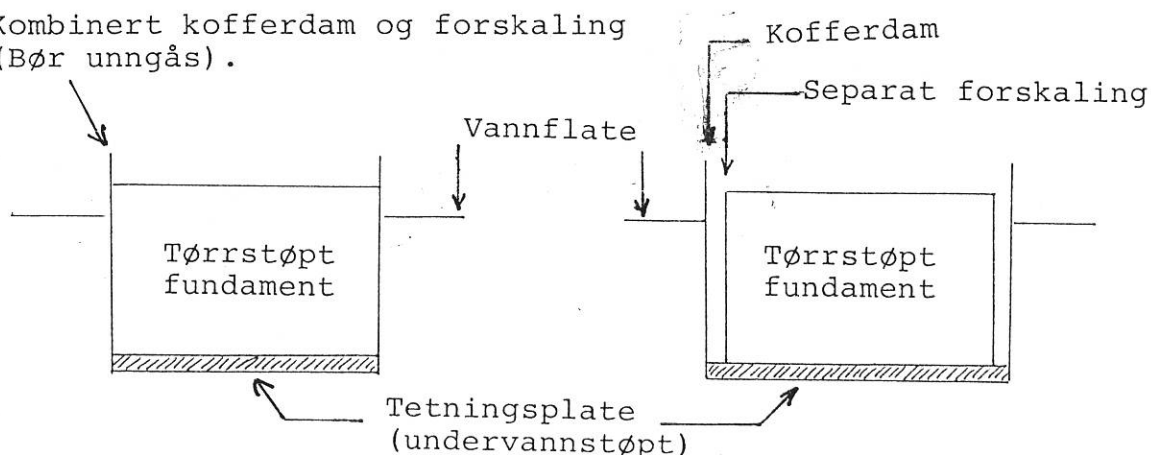


5.4.6 Bruk av forskaling som kofferdam

Ved utstøping av fundamenter i vann beskrives enkelte ganger "vanntett forskaling", som dermed skal holde byggegropa tørr. Dette er en meget risikofylt løsning. Selv om forskalingen er vanntett før støping starter, vil støpetrykket gi deformasjoner i forskalingen. Det kan dermed lett oppstå vannlekkasjer som vil vaske ut betongen helt til betong - overtrykket overstiger vanntrykket.

I stedet for å bruke kofferdammen som forskaling, bør det bygges egen forskaling innenfor denne.

Kombinert kofferdam og forskaling (Bør unngås).



5.4.7 Vis vannet vekk

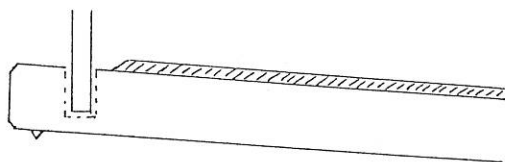
Begrepene "vis vannet vekk" og "vann volder vansker" forkortet VVV, bør bli mer enn slagord.

Vann inngår som en vesentlig faktor i de aller fleste nedbrytningsmekanismene. Overalt hvor vannet kommer til, bør det også legges minimum 2% fall. Mange steder kan det legges større fall.

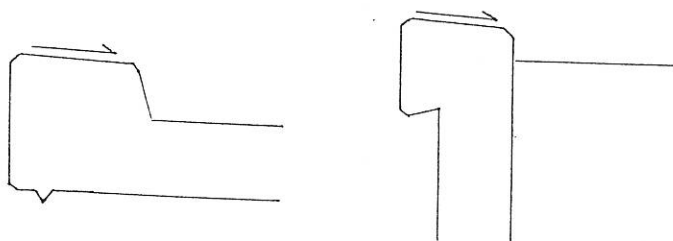
Bortledning av vann er tidligere nevnt i pkt. 5.1.4, 5.2.3, 5.3.1, 5.3.2, 5.4.2 og 5.4.3. Vannet må alltid ledes dit det er minst risiko for at det kan gjøre skade.

Steder hvor dette prinsippet ofte glemmes bort er:

- høyeste kant av bruplater med tverrfall og asfaltslitelag, men uten kantbjelke



- overside av kantbjelke på bruer og støttemurer skal alltid ha fall.

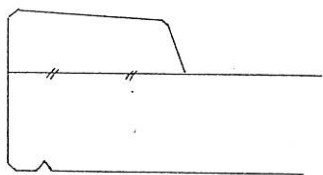


5.4.8 Støpeskjøter

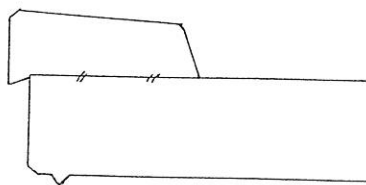
Støpeskjøter vil nesten uansett være blant de mest såre detaljene på konstruksjonen. Den prosjekterende kan ofte (med ikke alltid) bidra til å gjøre støpeskjøtene mindre sårbare ved å legge inn tverrsnittsendringer som hindrer tilgang på fukt i skjøten. Slike tverrsnittsendringer vil også ofte bedre konstruksjonens utseende.

Eksempel, kantbjelke på bruer:

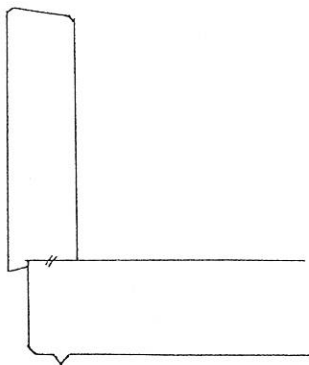
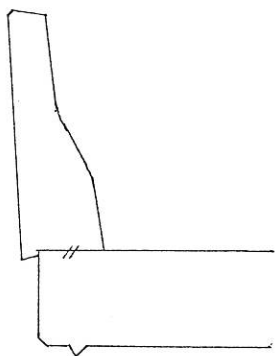
Enklest løsning



Alternativ løsning



Eksempel, betongrekkverk og betong-brystning:



6 ARMERING

Siden det primært er armeringen som har fått skader på eksisterende konstruksjoner, er det klart at mange spørsmål som har med armering å gjøre er av vital betydning for konstruksjonens bestandighet. Armeringsdetaljene er imidlertid viktige også i en annen sammenheng, fordi de er avgjørende for hvilken kvalitet som kan oppnås på betongen i overdekningssjiktet.

Den trenden vi har hatt de seinere årene med tettere armering og trangere betongtverrsnitt, er direkte i strid med kravene til bestandighet. Om det er "smitte" fra offshoreindustrien, bruk av DAK, direkte "feil" i NS 3473 eller mangel på praktisk erfaring hos de prosjekterende som er årsaken til den tette armeringen, skal være usagt. For oljeplattformene i Nordsjøen er vektbesparelse av stor betydning, slik at det er økonomisk riktig å armere kraftig for å spare dimensjoner. For å greie utstøping med så tett armering planlegges armeringen spesielt, utførelse og betongteknologi er blitt spesialisert i en årrekke. Denne teknologien er ikke umiddelbart overførbart til et hvilket som helst prosjekt hvor som helst i landet. Og den bør heller ikke forsøkes overført til prosjekter hvor vektbesparelse ikke er av økonomisk betydning.

Den tette armeringen fordyrer konstruksjonene, verre er det at den setter konstruksjonenes funksjon og holdbarhet i fare. Bjørn Vik skriver i sitt foredrag ved Norsk Betongdag 1993:

"En ting er kostnadsøkningen. Verre er at konstruksjonen kanskje blir dårligere med hensyn til bestandighet, fordi en tilfredsstillende utstøping og komprimering hindres av svært tett armering. Spesielt kan det viktige overdekningslaget bli forringet. En del offshore konstruksjoner har dessuten områder med så tett armering at man kan tvile på om den kan virke som forutsatt også i bruddgrensetilstand. Det finnes utforminger som går langt utover forsøksreferansene, bl.a. med hensyn til sikker forankring av massiv armering".

Det er min vurdering at dagens konstruksjonspraksis med alt for tett armering er den største trusselen mot framtidig holdbarhet for nye konstruksjoner. Der betongen må siles gjennom tett armering kan en ikke forvente å få annet enn ukomprimert slam i overdeknings-sjiktet.

6.1 Hva sier Norsk Standard NS 3473 om armeringstetthet?

NS 3473 stiller krav til at viktige konstruksjoner skal kunne utføres med sikkerhet. Pkt. 15.5.1 sier:

"I konstruksjoner hvor det stilles krav til tetthet mot væskelekkasjer, skal det velges geometrisk utforming og dimensjoner som muliggjør en god utstøping".

Pkt. 17.1.1 sier bl.a.:

"Armering skal plasseres slik at utstøpning ikke hindres og slik at tilstrekkelig heftforankring, korrosjonsbeskyttelse og brannmotstand oppnås".

NS 3473 har altså klare, om enn noe generelt formulerte krav til at konstruksjonen skal la seg støpe ut. Standarden har imidlertid mer konkret formede regler i pkt. 17.1.5:

"Av hensyn til utstøpningen skal den frie avstanden mellom armeringsenheter i samme lag som betongen skal passere ved utstøpning, ikke være mindre enn $D_{100} + 5$ mm. Avstanden skal dessuten normalt ikke være mindre enn 40 mm i miljøklasse LA og NA, 45 mm i klasse MA, og ikke mindre enn ytre diameter av bunter eller kabelkanal. Anbringes armeringen i flere lag, skal den frie avstand mellom lagene ikke være mindre enn 25 mm i miljøklasse LA og NA, 35 mm i klasse MA".

Med disse reglene slår NS 3473 ettertrykkelig i hjel de gode intensjonene som var angitt først. Enhver utførende vil føle disse detaljreglene som en direkte hån og som et slag i ansiktet. Dersom en skal greie utstøpningen med så tett armering krever det:

1. At en putter en og en stein ned mellom armeringsjernene, eller
2. At en vibrerer så kraftig på armeringen at en får betongen til å separere fullstendig.

I tillegg kommer effekten av tre forhold som er vanlig i prosjekteringen:

- A: Den prosjekterende vurderer som regel bare senteravstanden for jern av samme pos.nr., ikke resultatet av flere pos.nr. i samme område.
- B: Om han vurderer tettheten av alle pos.nr. i samme område, ser han i alle fall ikke på armeringstettheten i skjøteområder.
- C: Den prosjekterende tar ikke hensyn til at kamstål bygger mer enn den nominelle diameter.

NS 3473 sier ikke noe om å skulle ha mulighet for øyekontakt mellom standplass for støping og tett armerte områder, heller ikke om i hvilken grad kombinasjonen av hindringer kan aksepteres.

Utsparinger rett over tett armerte områder eller spennkabel-forankringer er derfor mulig, og har vært prosjektert.

3. Utgaven av NS 3473 har skjerpet en del krav for på en bedre måte å ivareta holdbarhet, spesielt risiko for armeringskorrosjon. Bla. nevnes:

- økt overdekning
- rissviddebegrensning i bruksgrensetilstanden
- skjerpede materialkrav

Disse kravene kan vise seg som et tveegget sverd dersom det resulterer i tett armering.

6.2 Byggemål for armering, resulterende avvik mellom teoretiske og virkelige mål.

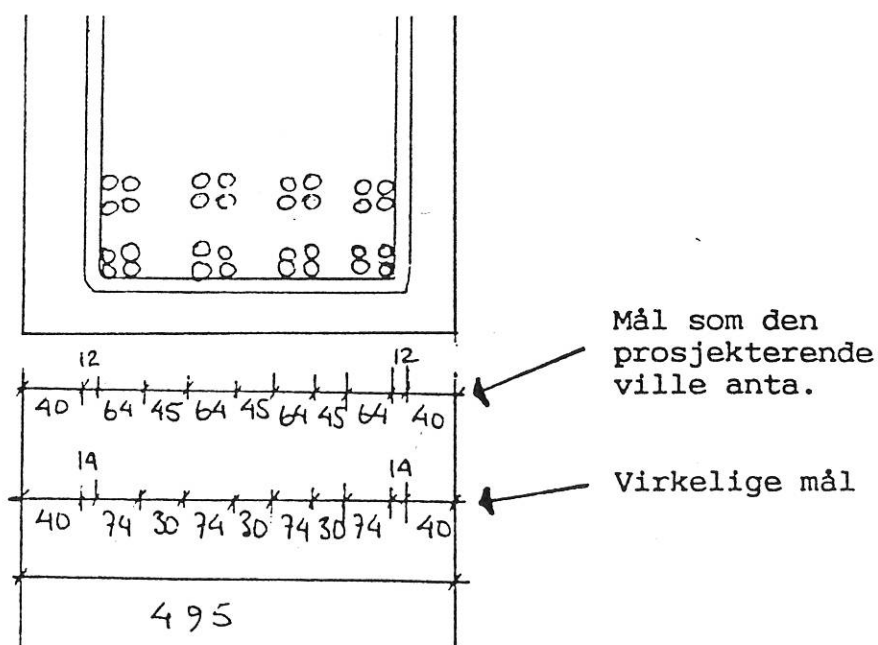
Kamstål har som kjent kammer, og det medfører at kamstål har større byggemål enn den nominelle diameteren.

Hvor mye kamstål bygger og hvor mye kammene reduserer den frie avstanden mellom to jern av samme diameter er angitt i Tab.1.

Tabell 1:

Kamstål Diameter	Virkelig Ytre diameter	Reduksjon i fri avstand
10	12	4
12	15	6
16	20	8
20	24	8
25	30	10
32	39	14

Etter reglene i NS 3473 er det tillatt å armere en bjelke som skal utstøpes med MA-betong som vist i Fig.



En bjelke armert på denne måten vil være vanskelig å støpe ut uansett. Med MA-betong som alltid er mer eller mindre seig vil utstøping knapt være mulig om en skal følge faglig akseptabel proporsjoneringspraksis. MA-betong etter Vegvesenets Prosesskode-2 ($m = < 0.4$) er langt seigere og mindre komprimerbar enn MA-betong etter NS 3420. I praksis vil en ha valget mellom å håpe på minst mulig støpesår, med en kvalitetsmessig akseptabel betong, eller tilsynelatende brukbar utstøping med en materialmessig uakseptabel betong. God komprimering er ikke under noen omstendighet mulig å oppnå.

6.3 Anbefalte armeringsregler for å sikre utstøpingsmulighet

1. Det må være mulig å få betongen dit hvor den skal forbli uten at den filtreres og må separere gjennom tett armering. Minste frie åpning mellom parallelle stenger som betongen må vibreres forbi bør være 3 x betongens maksimale steinstørrelse. I og med at stavvibratorer fungerer dårlig for betong med mindre steinstørrelse enn 16 mm, blir minst frie avstand mellom armeringsenheter 48 mm.

For enkeltstenger blir dermed minst akseptable senteravstand, når en tar hensyn til virkelig byggemål:

Tabell X

Kamstål Ø	12	16	20	25	32
Minste senteravst., mm	63	68	72	78	87

Dersom det forekommer skjøteområder får en tilsvarende:

Tabell Y

Kamstål Ø	12	16	20	25	32
Minste senteravst., mm	78	88	96	108	126

2. Ved armering i flere retninger (f.eks. kryssvis) bør maksimum 50% av arealet være dekket av armering.

3. Det må være mulig å få ned en stavvibrator ca. Ø58 mm, som krever min. 70 mm fri åpning.
 - a) for hver 40-50 cm inni formen, og
 - b) i punkter med 30-40 cm innbyrdes avstand i 10-15 cm avstand fra forskalingen.

Hvis vibratoren må senkes mer enn 1 m ned, bør den frie åpningen for vibratoren økes med 20 mm for hver meter ekstra dybde.

4. Hvis det fins andre hindringer enn tett armering, f.eks. utsparinger eller innstøpningsgods, og som hindrer direkte adkomst for vibrator, må det finnes plass til et rør med ytre diameter ca. 120 mm satt på skrå ovenfra og innunder hindringen, for å komme til med stavvibrator.

6.4 VALG AV STANGDIAMETER

Armeringsdimensjonen velges ut fra hensynet til rimelig stangavstand (for bruer har dette vært regnet som c/c 120-150 mm) og dermed best mulig rissfordelende evne.

Det er et spørsmål om en ikke også burde ta hensyn til sårbarhet, dvs. konsekvensen av kapasitetsreduksjon ved mulig framtidig korrosjon. Korrosjon vil "spise opp" like mye av jernet uansett hvilken dimensjon det har. Konsekvensen av f.eks. 20 mm² svekkelse av armeringstverrsnittet vil være:

Kamstål Ø, mm	12	16	20	25	32
Svekkelse, %	17,7	10,0	6,4	4,1	2,5

Om korrosjonshastigheten antas konstant over tid, vil den relative levetiden (Ø^k16 settes lik 1.0) avhengig av ståldiameter være:

Kamstål, Ø mm	12	16	20	25	32
Relativ levetid	0,6	1,0	1,6	2,4	4,0

Altså: Velg grovere armeringsdimensjon med større senteravstand!

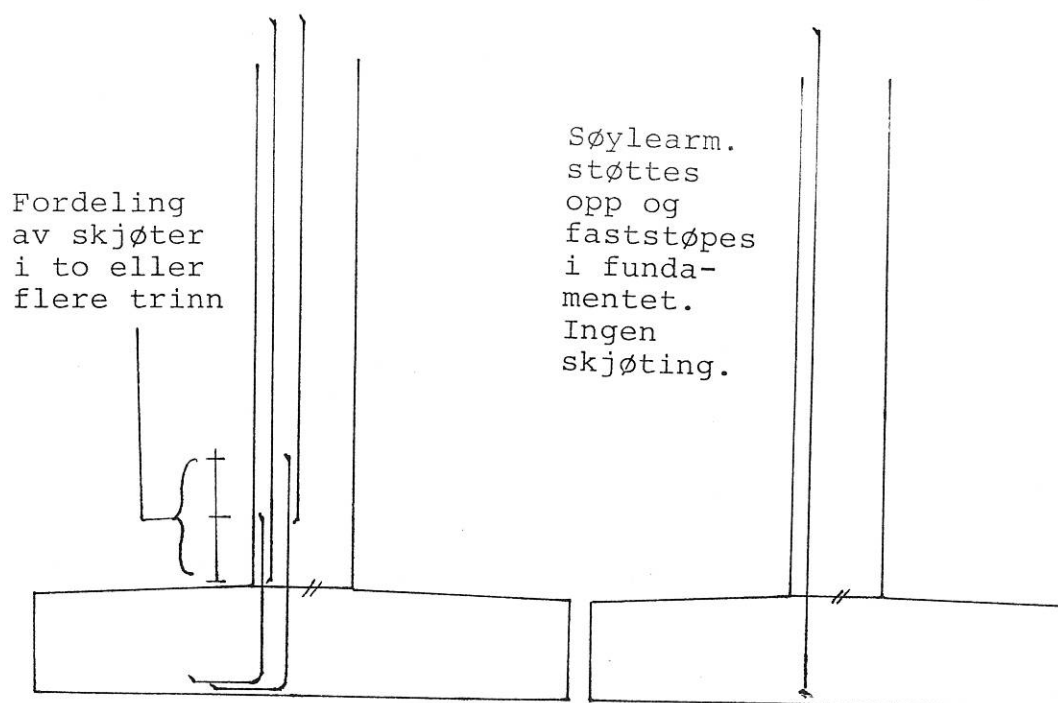
6.5 SKJØTING AV ARMERING

Det er ofte skjøteområdene som ødelegger kvaliteten av en ellers velutformet konstruksjon. Dersom det ikke er mulig å unngå senteravstander mindre enn angitt i tabell Y, kan følgende løsninger

benyttes:

1. Skjøting ved hjelp av skjøtemuffe
2. Fordeling av armeringsskjøtene

Selv om det utførelsesmessig er mer kompliserte løsninger, lar det seg utføre å armere fundament/søyle som vist nedenfor.



Fordeling av skjøter eller bruk av skjøtemuffer bør være obligatorisk dersom senteravstanden for armeringen (samtlige pos.nr. medregnet) underskrider verdien i Tabell Y.

7. OVERDEKNING

Overdekningen er en av de klareste hovedparameterne som er bestemmende for levetiden av en konstruksjon.

Ved første øyekast synes det å skulle være enkelt å sikre riktig overdekning, likeledes kan det synes å være enkelt å øke kravet til overdekning. Som det vil fremgå av det etterfølgende beror ikke avvikene fra forutsatt overdekning på utførelsesslurv alene, prosjekteringsdetaljene er også sterkt medvirkende. Konsekvenser av økt overdekning i forhold til tidligere praksis må også utredes nærmere.

7.1. Hva sier Norsk Standard om overdekning ?

NS 3473 gir i punkt 17.1.8 krav til minimum overdekning:

"Av hensyn til korrosjonsbeskyttelse skal overdekningen ikke være mindre enn gitt i tabell. Disse krav gjelder også for monteringsstenger.

Tabell. Minste overdekning av hensyn til korrosjonsbeskyttelse

Miljøklasse	Korrosjons- ømfintlig armering	Lite korrosjons ømfintlig armering
SA	Fastsettes særskilt	Fastsettes særskilt
MA	50 mm	40 mm
NA	35 mm	25 mm
LA	25 mm	15 mm

I tidevannssonen og i skvalpesonen i saltvann skal overdekningen ikke være mindre enn 50 mm."

NS 3420 gir asymmetriske toleranser for overdekningen:

"06 Overdekning

Den midlere betongoverdekning skal minst være som angitt og ikke mer enn 10 mm større.

For enkeltstenger tillates overdekningen minsket med inntil 5 mm eller øket med inntil 20 mm i forhold til det som er angitt. Overdekningen skal likevel ikke under noen omstendighet være mindre enn 10 mm."

7.2 Dagens praksis mht. overdekning

Det mest vanlige pr. i dag er at det spesifiseres 40 mm overdekning, og benyttes 40 mm armeringsstoler. En må regne med at gjennomsnittlig overdekning blir 37-38 mm og at overdekningen varierer fra ca. 27 til ca. 49 mm.

Hvor det benyttes monteringsstenger (10 mm) benyttes 35 mm armeringsstoler, monteringsjernet får overdekning ca. 32 - 38 mm, den statiske armeringen en overdekning pr. ca. 42 - 52 mm, gj.snitt ca. 46 mm.

Dersom jernbinderen kjenner til toleransekravene for overdekning vil han systematisk benytte 5 mm høyere armeringsstoler enn angitt ovenfor, og en får et systematisk avvik mellom tilsiktet og prosjektert indre momentarm. Armeringsoverdekning kan kontrolleres før utstøpning. Å få kontrollert overdekningen etter utstøping er vanskelig fordi covermeterne forstyrres av andre jern enn det som det måles på. Forskyvning av armeringen pga. støpetrykket er et moment som sannsynligvis er sterkt undervurdert.

Det er behov for å ta hensyn til at armeringsoverdekningen vil variere ved angivelse av overdekning. I stedet for minimumsoverdekning $\pm$ asymmetrisk toleranse bør en komme over til å spesifisere nominell overdekning $\pm$ symmetrisk toleranse.

Høyde av armeringsstol og dimensjon på evt. monteringsstenger bør bestemmes av den prosjekterende, og ikke overlates til den enkelte jernbinder.

7.3 Anbefalt praksis for sikring av overdekning

Veglaboratoriet har utarbeidet forslag til konkrete regler for armeringsbinding /6/. Disse reglene har vært ute på en bred høring, og vil bli korrigert som følge av de kommentarene som er gitt.

Konkrete data er klare for følgende to overdeknings-klasser, som også vurderes å bli de mest benyttede i framtida:

Spesifisert minimums overdekning, mm	40	60
Høyde av armeringsstoler, mm	40	60
Obligatorisk, Ø ^k 12 epoxybl. mont.stenger		
Resulterende overdekning, statisk armering, mm	55	75

For øvrige detaljer henvises det til det kommende regelverket.

Regelverket vil medføre, som en ser, at:

*DER NORSK STANDARD FORUTSETTER
MINIMUMSOVERDEKNING 40 MM SKAL DEN PROSJEKTERENDE
DIMENSJONERE KONSTRUKSJONEN MED 55 MM
OVERDEKNING, FOR DET ER DETTE SOM MÅ UTFØRES FOR Å
KUNNE HOLDE MINIMUMSKRAVET.*

Dette kan sees på som en vesentlig økning av kravet til overdekning. Det er det også reelt sett, MEN DENNE ØKNINGEN ER BARE DET SOM SKAL TIL FOR Å FÅ PROSJEKTERINGS- OG UTFØRELSESPRAKSIS I SAMSVAR MED DET SOM ALLEREDE ER NS 3473/NS 3420'S KRAV.

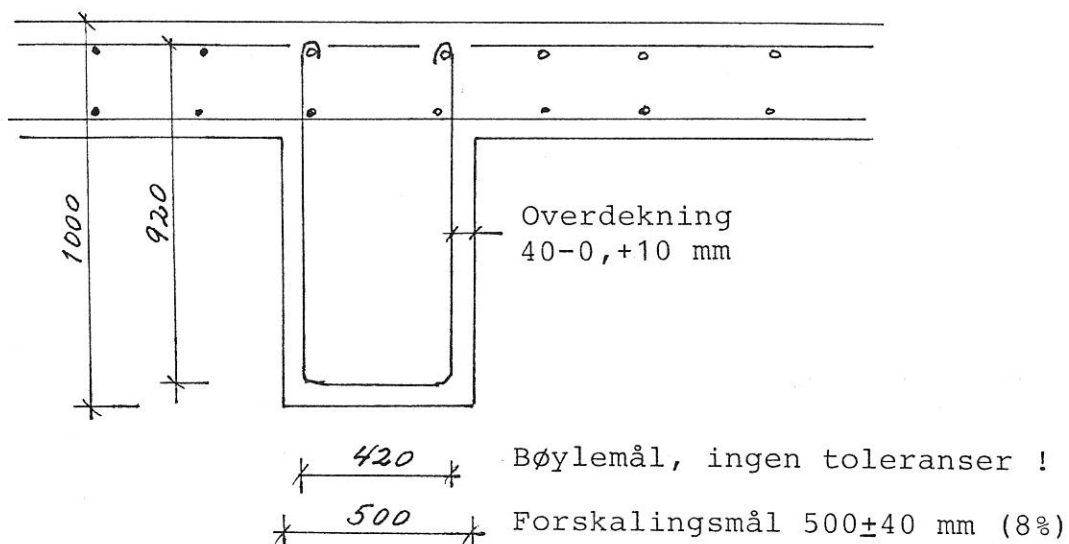
7.4 Kapplengde og mål på bøyde jern

Mål på bøyelister har tradisjonelt vært lik de teoretiske målene. Kapplengde for rette jern angis som teoretisk avstand mellom forskalingsflater, uten hensyn til toleranse for forskaling, minus 2

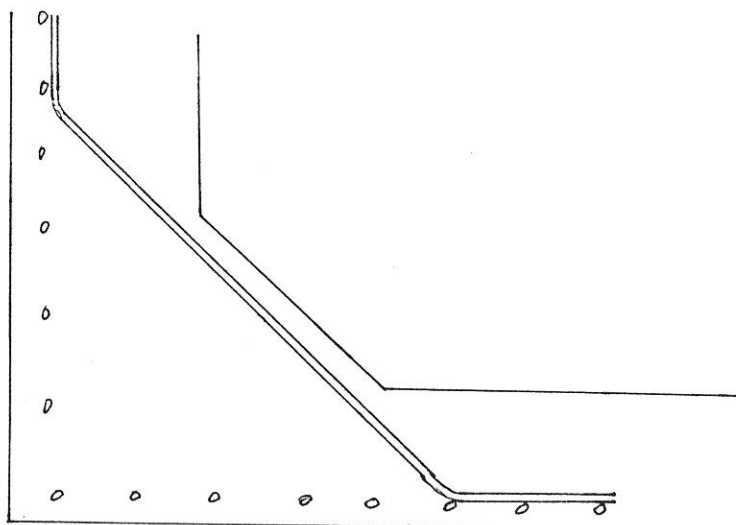
x minimums overdekninge. Tilsvarende gjelder for bøyer og andre bøyde jern.

Det fins ingen toleranser for kapping og bøying av armering. Ved all tilvirkning, deriblant også kapping og bøying av armeringsjern, vil det alltid være tilfeldige avvik fra tilsiktede mål. Dette medfører at hvis armeringen kappes og bøyes etter bøyelistene, vil alltid noen jern være for lange og noen bøyer for store. Dersom forskalingen bygges etter de prosjekterte mål, er det en uunngåelig konsekvens at overdekningen blir mindre enn forutsatt. At problemet enkelte ganger (ikke alltid!) kan løses av jernbinderen, f.eks. ved at bøyer settes på skrå i bjelker, bør ikke kunne være en akseptable sovepute for de prosjekterende. For byggherren er det uakseptabelt at resultatet skal være avhengig av at den minst skolerte av alle i prosessen gjør det "riktige avviket" på rett tidspunkt.

Et par eksempler på klassiske gjengangerproblemer er vist nedenfor:



Bøyer bøyd etter teoretiske mål i skissen vil alltid medføre for liten overdekning, med mindre forskalingen bygges med "overmål".



Klassiske problem: Voute-armeringen har nesten alltid for stor lengde mellom bøyene. Resultatet blir for liten overdekning i vouten, eller armeringen i tilstøtende vegger eller vegg/dekke presses ut og får for liten overdekning.

Et tredje eksempel er lukkede bøyler i søyler. Også disse har så godt som alltid for store dimensjoner til å kunne tillate forutsatt armeringsoverdekning.

7.5 Anbefalt praksis for målangivelse i bøyelister

1. Rette jern angis med kapplengde slik at de teoretisk får det dobbelte av forutsatt overdekning i hver ende.
2. Alle jern som har mer enn 1 bøy krympes 10-15 mm for hver ekstra bøy. D.v.s. U-bøyler (2-bøyer) angis med mål 10-15 mm smalere enn "teoretisk" mål.

NB! DISSE TILTAKENE KAN IKKE BENYTTES UTEN AT DET KLART ER ANGITT PÅ BØYELISTENE, FORDI ENKELTE UTFØRENDE ALLEREDE PRAKTISERER DE I DET STILLE. EN BØR UNNGÅ "DOBBEL KRYMPING".

8 FORSKALING

I forhold til hvilken betydning armeringsdeltaljene har, er den prosjekterendes spesifikasjon av forskalingen av underordnet betydning.

Et par unntak er det likevel.

8.1 Glideforskaling

Veglaboratoriet har nylig gjennomført en vurdering av forskalingsmetode for brutårn og - søyler, glideforskaling eller klatreforskaling \7\). Bakgrunnen for dette er at det har blitt reist mange kritiske kommentarer til resultatene med glideforskaling.

Veglaboratoriets konklusjon er at bruk av glideforskaling ikke bør være et ja/nei-spørsmål, men et valg ut fra miljøpåkjenninger og geometrisk vanskelighetsgrad ved evt. glid. De geometriske vanskelighetene er klassifisert slik:

- I. Søyler med massivt, konstant tverrsnitt og med godt avrundede hjørner ($R \geq 0,3 \text{ m}$).
- II. Hule søyler med god lufting vertikalt, konstant tverrsnitt eller

gradvis innsnevring på innsiden. Godt avrundede hjørner og lite variasjon i betongtykkelse over tverrsnittet.

- III. Hule søyler med 2 eller flere justeringer av tverrsnitt/beliggenhet samtidig. Kun avfasede hjørner eller sterkt variabel betongtykkelse.

Anbefalingen om glideforskaling bør kunne aksepteres ut fra en risiko-vurdering er angitt i etterfølgende tabell.

Tabell X: Akseptgrenser, ikke dokumentert produksjonssted.

Miljøpåkjenning	Geometrisk vanskelighetsgrad		
	I	I	III
Værhardt marint klima (SA)	Nei	Nei	Nei
Skjermede, indre kyststrøk(MA)	Ja	Nei	Nei
Innlandsklima (NA)	Ja	Ja	Nei
Innendørs (LA)	Ja	Ja	Ja

8.2 Forskalingsduk

På markedet fins det nå spesielle forskalingsduker som drenerer ut luftblærer og bleeding-vann. Vegvesenet har gjennomført forsøk med slike duk-typer på Amøy bru i Rogaland, og vil etterhvert få erfaringer om virkningen derfra.

Ut fra laboratorie-testing /11/ ser det ut til at forskalingsduk bedrer alle overflateegenskaper for betongen, bortsett fra motstanden mot kloridinntrengning, som blir uendret. Likevel burde det være duket for å bruke mere forskalingsduk, spesielt mot overforskaling (f.eks. plasstøpt New-Jersey betongrekkverk) og flater utsatt for sprut fra vegbane.

9 MILJØKLASSIFISERING

Miljøklassifiseringen er selve grunnlaget for å standardisere "doseringen" av holdbarhetsmessige tiltak.

Ut fra erfaringene med hvor skader på betongkonstruksjoner skjer, ser en behov for å revidere den miljøklassifiseringen NS 3420 fra 1986 gir. Ut fra den tolkningen av NS 3420 vegvesenet har praktisert er det behov for en mer nyansert miljøklasse-inndeling.

Miljøklasse bør velges ut fra lokalklimatiske forhold samt forutsatt levetid for konstruksjonen.

Forslag til miljøklasse-definisjoner for bruer og ferjekaier:

SA: Marint miljø, åpent farvann, værhardt strøk (Ytre kyststrøk).

MMA: Marint miljø, beskyttet farvann (indre kyststrøk). Bymiljø med utstrakt salting av vegnettet.

MA: Innlandsklima, veger som saltes.

NA: Innlandsklima, veger uten salting.

Det bør ikke være noe i vegen for å prosjektere ulike deler av en konstruksjon i ulike miljøklasser. For eksempel kan en tenke seg:

- Konstruksjonsdeler over kote + 20 i klasse SA kan prosjekteres i klasse MMA.
- Konstruksjonsdeler i klasse MMA under kote + 5 bør prosjekteres i klasse SA.
- Konstruksjonsdeler som utsettes direkte for saltsprut fra veg (kantbjelker, søyler, vegger på rammebruer) prosjekteres i klasse MMA mens konstruksjonen forøvrig prosjekteres i klasse MA.

9.1 Materialvalg, betongsammensetning

Spesifikasjon for betongsammensetning for de mest værutsatte konstruksjonene må være gjenstand for nærmere vurdering i tiden som kommer. Samtidig ser en at det kanskje ikke vil være nødvendig å fortsette nåværende materialpraksis med masseforhold $m \leq 0.40$ i innlandsklima.

Et forslag til nye materialspesifikasjoner for bruer kan være:

Miljøklasse	SA	MMA	MA	NA
Sementinnhold min	400	380	350	320
Sementinnhold max	450	450	450	450
Silika, % av C min	12	4	3	2
Silika, % av C max	15	10	7	5
Masseforhold $m = \frac{V}{C + 2 \cdot Si}$	0,35	0,40	0,43	0,48
Luftinnhold	-	3-5%	3,5-6%	3,5-6,5%
Tilsetn.stoff(P + SP)min	0,5%xc + 5%xSi			
Tilsetn.stoff (P + SP)max	11	9	7	7

Problemene med å produsere betong etter disse spesifikasjonene illustreres av betongens vanninnhold:

Miljøklasse	SA	MMA	MA	NA
Vanninnhold min	174	164	160	160
Vanninnhold max	182	216	220	237

9.2 Overdekningskrav

Overdekning bør nyanseres både etter type konstruksjonsdel og etter miljøklasse. På vertikale konstruksjonsdeler som søyler, vegger og fundamenter vil ekstra kostnader med økt overdekning være meget beskjeden. På frittstående konstruksjonsdeler som plater og bjelker (bruoverbygninger) vil imidlertid ekstra kostnadene kunne bli betydelige. Økt armeringsoverdekning vil kunne begrense hvilke spennvidder det er mulig å benytte for bruoverbygninger.

Et forslag til ny overdeknings-praksis for bruer kan være:

Miljøklasse	SA	MMA	MA	NA
Fundamenter i/ved vann	200	150	100	100
Fundamenter på land	150	100	75	55
Søyler og tårn	100	75	55	55
Overflater med saltsprut fra veg	100	100	75	-
Landkar, støttemurer	100	75	55	55
Overbygning, sider og underside	75	55	55	40
Innside kassetverrsnitt	55	40	40	40
Overkant brudekke	75	55	55	40
Kantbjelke, betongrekkverk etc.	100	75	75	55

Angitte overdekninger er å forstå som avstand fra forskalingsoverflata til statisk virkende armering, uten hensyntagen til evt. overfalteporer og kammer på armeringen. I overdekningssjiktet kan det være lagt epoxybelagte monteringsstenger. Dimensjoner på armeringsstoler og monteringsjern bør være:

"Overdekning", mm	40	55	75	100
Høyde av arm.stoler	25	40	60	80
Epoxybelagt mont.stenger	12	12	12	16

10 AVSLUTNING

Det er svært mye vi ikke vet ^{med} enda hensyn til hvordan vi skal sikre bedre bestandighet av nye betongkonstruksjoner.

Likevel vet vi om en rekke effektive virkemidler, som ennå ikke benyttes i tilstrekkelig grad. Slike tiltak er:

- prinsipielle valg mht. brukonsept
- detaljer vedrørende geometrisk utforming
- konstruktive detalj-løsninger
- armeringstetthet
- armeringsoverdekning
- betongkvalitet

De seinere årene har det vært sagt og skrevet mye om kvalitetsikring, som et virkemiddel som skal kunne redde kvaliteten. Innholdet i ordet "kvalitetsikring" er ganske diffust for de fleste, det er sterkt behov for å konkretisere hva vi mener.

Jeg skulle ønske at vi kunne konsentrere oss om følgende konkrete saker i de kommende årene:

1. Heve kompetansen, definert som kompetanse = kunnskap + erfaring. Kompetanseheving er ønskelig i alle deler av bransjen.
2. Organisering av kompetansen, slik at den blir brukt systematisk i alle prosjekter.
3. Byggherrene klargjør hvilken teknisk standard de vil bygge etter, dvs. hvor mye de er villige til å investere i framtidig bestandighet.

Dersom vi ikke greier å gjøre noe med disse tre forholdene, vil det være meningsløst å snakke om kvalitetssikring.

- /1/ NS 3473
- /2/ NS 3420, 2. utgave 1986
- /3/ Prosesskode-2, 1988-utgaven. Vegvesenets Håndbok 026.
- /4/ Prosjektering med hensyn på holdbarhet. Foredrag av o.ing. G. Liestøl ved Vegvesenets SK-kurs Betongteknologi for prosjekterende ingeniører. Leangkollen 27.-29. april 1993.
- /5/ Prosjektering mhp. gjennomførbarhet og holdbarhet. Foredrag av siv.ing. Reidar Kompen ved vegvesenets SK-kurs. Betongteknologi for prosjekterende ingeniører Leangkollen 27.-29 april 1993.
- /6/ Veglaboratoriets Intern rapport nr. 1617:
Armeringsarbeid Del I: Armeringsstoler og avstandsholdere,
Del I: Armeringsbinding. Juli 1993.
- /7/ Veglaboratoriets oppdragsrapport, Oppdrag G-001, rapport nr. 01: Bruk av glideforskaling kontra klatreforskaling. Oktober 1993.
- /8/ Stål og Betong som bygningsmaterialer, fordeler og ulemper. Foredrag av kontorsjef Olav Gindland ved Vegdirektoratets kurs for kontrollingeniører og byggeledere 23.-25. november 1993.
- /9/ Aursundet bru. Foredrag av o.ing Tore Witsø ved Norsk betongdag 1993.
- /10/ Rissvidder, overdekning, armeringsføring, hva er viktigst for bestandighet?
Foredrag av Bjørn Vik ved Norsk betongdag 1993.
- /11/ Testing of Concrete cast with and without Zemdren liner on the formwork Sintef rapport STF65 F91044.



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen