

OPTIMALE BROLØSNINGER PÅ SKOGBILVEGER

OPTIMAL BRIDGE CONSTRUCTIONS FOR
FOREST TRUCK ROADS

FREDRIK CLARIN LØVENSKIOLD

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2006



FORORD

Det finnes mange broer i det norske skogsbilvegnettet i dag. En god del av dem er modne for utskifting, og det er flere ulike løsninger som kan erstatte en gammel bro.

Denne mastergradsoppgaven tar for seg ulike produkter som finnes på markedet og ser på hvilke løsninger som er mest gunstige for det enkelte tilfelle med tanke på økonomi.

Mastergradsoppgaven er det avsluttende arbeidet i min utdanning innen skog, miljø og industri ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap fag (UMB). Oppgaven er skrevet ved Institutt for Naturforvaltning (INA).

Jeg tok kontakt med førstekonsulent ved Ringerike Landbrukskontor, Terje Juelsrud, 15 april 2005. Ringerike er min hjemkommune og jeg syntes det kunne være interessant å skrive noe i forbindelse med dette. Juelsrud foreslo tema innenfor broer og opprusting. Hans ønske var om jeg kunne kikke på kostnader ved opprusting av relevante broer i Ringerike kommune, og se på skader og eventuelle utbedringsstiltak. Etter diskusjon med professor Reidar Skaar og førsteamanuensis Jan Bjerketvedt ved INA, kom vi frem til noen problemstillinger som var interessante å se nærmere på.

Det har blitt lagt ned mye arbeid i forbindelse med denne oppgaven, og jeg vil takke spesielt mine veiledere, førsteamanuensis Jan Bjerketvedt som har vært hovedveileder og professor Reidar Skaar som har vært biveileder.

Det er i tillegg mange personer som har kommet med verdifulle opplysninger som har gjort at gjennomføringen av denne oppgaven ble mulig. Noen av disse opplysningene har ikke direkte tilknytning til informasjonen i oppgaven, men har hjulpet meg til å finne personer og leverandører som har kommet med direkte informasjon som gjengis i oppgaven. Jeg takker dem for god hjelp, de er nevnt i egen liste etter personlige meddelelser.

Personene i listen over personlige meddelelser er mennesker som har gitt meg direkte informasjon. Disse retter jeg også en stor takk til.

FORORD

Jeg takker også Maren Sandbu for god hjelp med PDF - formatering.

Ås 13.05.06

Fredrik Clarin Løvenskiold

INNHold

1	SAMMENDRAG	5
1.2	Summary	6
2	INNLEDNING	8
2.1	Bakgrunn.....	8
2.2	Formål	10
3	TIDLIGERE UNDERSØKELSER	11
4	TEORI.....	13
4.1	Terminologi.....	13
4.1.1	Underbygning	13
4.1.2	Overbygning	14
4.1.3	Lastforskrifter	15
4.2	Dagens brotyper	20
4.2.1	Betongplatebro	20
4.2.2	Stålbjelkebroer med tredekke	21
4.2.3	Stålbjelkebroer med betongdekke	21
4.2.4	Betongbjelker med betongdekke	21
4.2.5	Broer av prefabriert betong	21
4.2.6	Limtrebroer.....	24
4.2.7	Svenske limtrebroer.....	25
4.2.8	Halvrørbro	26
4.3	Materialteknologi	31
4.3.1	Skadetyper og nedbrytningsmekanismer	31
4.3.2	Overbelastning	32
4.3.3	Utmatning.....	33
4.3.4	Trekonstruksjoner.....	33
4.3.5	Biologiske skadegjørere	34
4.3.6	Oppsprekking	36
4.3.7	Forbindelsesmidler	37
4.3.8	Betongkonstruksjoner.....	37
4.3.9	Korrosjonshindrende arbeid på stålkonstruksjoner	37
4.3.10	Vedlikehold trekonstruksjoner	38
4.3.11	Reparasjonsmetoder for betong.....	39
5	MATERIALE OG METODER	41
5.1	Litteratursøk.....	41
5.2	De registrerte broene	41
5.2.1	Bro 1	42
5.2.2	Bro 2	43
5.2.3	Bro 3	45
5.2.4	Bro 4	47
5.2.5	Bro 5	49
5.2.6	Bro 6	50
5.2.7	Bro 7	51
5.2.8	Bro 8	52
5.2.9	Bro 9	54
5.2.10	Bro 10	55
5.2.11	Bro 11	56
6	RESULTATER.....	58
6.1	Løsninger bro 7.....	59
6.1.1	Halvrørbro	59

INNHold

6.1.2	Elementbro fra Opplandske Betongindustri	66
6.1.3	Svensk limtrebro	69
6.2	Løsninger bro 8.....	71
6.2.1	Elementbro fra Spenncon	71
6.2.2	Limtrebro.....	73
6.2.3	Svensk limtrebro	77
7	DISKUSJON	81
8	KONKLUSJON	85
9	REFERANSER.....	87

PERSONLIGE MEDDELELSER/MØTER

VEDLEGG

1 SAMMENDRAG

Mange av dagens broer ble anlagt i 1950- og 60 årene og det bærer en del av dem preg av. Det var helt andre krav til aksellast og totalvekt på det tidspunktet, og dagens tømmertransporter er som regel for tunge for mange av broene. Det er derfor interessant å se på hvilke muligheter som finnes med tanke på utskifting og hvor store kostnadene vil bli ved anleggelse av ny bro. Det er i hovedsak dette oppgaven dreier seg om.

Det ble utført 2 befaringer på til sammen 11 broer i Ringerike og Modum kommune. 2 av broene er plukket ut for videre arbeid og det er satt opp kostnadsoverslag for ulike alternativer til eksisterende løsninger. Dette gjelder bro 7 og bro 8, med lysåpninger på henholdsvis 3,8 m og 10,3 m.

Broene som ble anlagt i ovennevnte periode har mange ulike løsninger, og de mest vanlige løsningene er presentert i denne oppgaven. Det er mange typer skader som oppstår på de ulike konstruksjonene og disse er beskrevet med bilder og forklaringer.

Broene har ulike konstruksjoner og er bygget i forskjellige materialer. Disse materialene er stål, tre og betong. Materialene har ulike reaksjoner på miljøet og dermed flere typer nedbrytningsmekanismer, noe som er forklart i oppgaven. Vedlikeholdsmetoder for materialene er også beskrevet.

Flere av konstruksjonene er i meget dårlig tilstand og noe av grunnen til dette er feil oppbygning av landkar og fyllinger. Det er meget viktig å kjenne til den geotekniske delen og hvilke skader som kan oppstå ved utførelse av en brokonstruksjon, og dette er omhandlet i oppgaven.

Bruk av halvrør som erstatning for mindre broer er et tema som er grundig gjennomgått. Bruk av halvrør i norsk skogsbilvegbygging er lite utbredt og er en meget interessant metode, både økonomisk og estetisk sett. Grunnen til at presentasjonen av halvrør er så nøye gjennomgått og såpass dekkende er fordi det ikke er skrevet noe om dette tidligere.

Det er også sett på hvordan anleggelse av halvrør vil slå ut økonomisk i forhold til andre alternativer som betongelementer og trebroer. Når det gjelder trebroer, så produseres disse både i Norge og Sverige.

For bro 7 ble det funnet at det gunstigste alternativet er å anlegge betongelementer fra Opplandske betongindustri. Denne løsningen har laveste anleggskostnad i tillegg til lang levetid.

For bro 8 vil det beste være å anlegge elementbro fra Spenncon. Anleggskostnaden er høyest, men når en tar levetid og vedlikeholdsbehov i betraktning, så er dette den beste løsningen.

1.2 SUMMARY

Many of the forest truck road bridges which exist today were built in the fifties and sixties. At that time, there were other demands for loads, and the vehicles we have got today are far too heavy for lots of these bridges.

Because of this, it is interesting to see what kind of opportunities there are for replacement of an old retired bridge, which is explained in this theme.

The different opportunities are expensive, that is why it is important to find the cheapest solution combined with quality and lifetime. This thesis is comparing building costs for different solutions of a new bridge.

The bridges have different constructions and are built of materials like steel, wood and concrete. The environmental influences are different of these materials, and there are many types of detrimental effects, which are explained in this statement. The maintenance of these materials is also mentioned.

Many bridges seem to be in bad condition. One of the reasons is erroneous execution because of bad knowledge of the geotechnical part. Important geotechnical elements are treated in the article.

There were performed two surveys for inspecting eleven bridges in the counties of Ringerike and Modum. Two of these bridges are taken out for further researches. The bridges are called bridge 7 and bridge 8.

SUMMARY

The use of half - round pipes in the forest truck roads is little. This product is an interesting element, and it is closely discussed. The building costs for half - round pipes are compared with other traditional solutions.

The best solution for bridge 7 is to lay down elements of concrete from Opplandske Concrete Factory. This solution has got the lowest build costs combined with a lifetime of approximately fifty years.

For bridge 8, the best solution will be concrete elements from Spenncon. It has got the highest build costs, but if you consider lifetime and need of maintenance, it will be the best solution. The lifetime is fifty years.

2 INNLEDNING

2.1 BAKGRUNN

Dagens skogsbilvegnett består av ca 48 400 kilometer veg (SSB 2006). Dette vil si at det er ca 7 000 broer på skogsbilvegnettet, en regner en bro for hver syvende kilometer med skogsbilveg (Skaar 2006). Byggingen av skogsbilvegene skjød fart i 1950 – og 1960 årene, og spiller fortsatt en stor rolle innenfor logistikken i norsk skogbruk. På dette tidspunktet var det helt andre krav til aksellaster og mye har forandret seg siden den gang innenfor utvikling av kjøretøyene.

Skogsbilvegnettet i Norge er skogens blodårer og er et viktig bindeledd mellom skog og fabrikk. For at dette skal fungere må standarden på vegnettet være tilstrekkelig. Vegene er som regel bra, men broer kan være et kritisk punkt og kan fort skape usikkerheter hos tømmertransportørene. Broene blir ofte oversett i forbindelse med opprusting av vegnettet. Dette kan få store konsekvenser, både materielle- og personskader.

Tabell 1: Utvikling av tømmerbiler og aksellaster fra 1960 og frem til i dag.

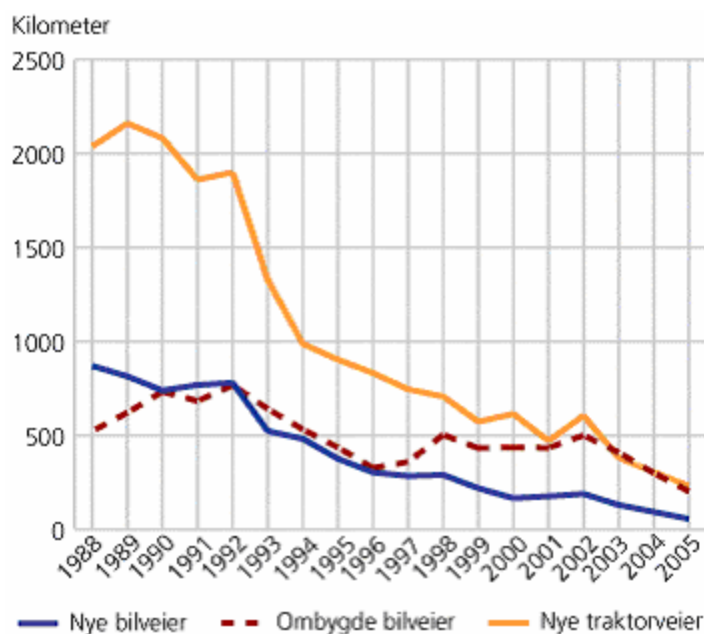
	Totalvekt i tonn	Vogntoglengde i m	Akseltrykk i tonn	
			Veg	Bro
1960	16	11	6	8
1970	19	11	8	10
1980	39	18	10	10
1990	50	22	10	10
1997 →	50	22	10	13

Siden 1997 har det ikke vært noen utvikling i hverken transportutstyret eller lastforskriftene når det gjelder totalvekt og aksellast. Men i 2003 ble Vegdirektoratet kontaktet av Transportforbundet i håp om å få departementet med på å øke tillatt totalvekt til 56 tonn for norske veger. Det ble utarbeidet en prioriteringsliste over diverse broer på Østlandet for å kontrollere om disse eventuelt ville tåle kjøretøyer på 56 tonn. Disse arbeidene ble utført i 2004 og begynnelsen av 2005. Den 22. august 2005 ga samferdselsministeren klarsignal om muligheter for å søke om å kjøre med totalvekt på 56 tonn på enkelte strekninger. Dette gjelder da tømmerbiler som har lengder på 22 m. Det er spesielt Norske Skog som ønsker å

søke om dispensasjon for utvalgte strekninger som ligger innenfor deres logistikkområde. Status for dette vedtaket pr. 15/4 – 2006 er uavklart, se vedlegg 1.

Med dagens avkastning fra skogen, er aktiviteten liten med tanke på nybygging av veg. Selv om det ytes tilskudd til nyanleggelse og opprusting av skogsveger ser ikke dette ut til å ha noen effekt på nybygging og opprusting av veger. Satsen er som regel 30 %, avhengig av hvilken kommune en befinner seg i. Det sier seg selv at det ikke er midler til å ruste opp hele dagens skogsbilvegnett.

I 2005 ble det ferdigstilt 56 km nye helårs- og sommerbilveger, og 305 km nye vinter- og traktorveger. Dette er en nedgang på henholdsvis 37 og 77 km fra året før (Statistisk Sentralbyrå 2006).



Figur 1: Nybygging og opprusting av skogsbil- og traktorveger (SSB 2006)

På dagens skogsbilvegnett eksisterer det mange stålbjelkebroer med dekke av armert betong. Det finnes også en del stålbjelkebroer med tredekke. Det er avhengig av spennvidder, men for kortere spenn, < 4 m, er det brukt mye betongplatebroer, altså plaststøpte broer. Trebroer har vært mindre aktuelt for større laster, men utbredelsen av limtre har gjort dette lettere. Prefabrikkert betong har også blitt mer utbredt, og dette er en aktuell måte å bygge bro på (Multiconsult 2003).

Det er også benyttet rør/kulverter i mange tilfeller hvor det før eksisterte broer. Dette er mer benyttet de senere år, ettersom kostnadene ved anleggelse av ulike typer broer er forholdsvis høye og rørene/kulvertene kan konkurrere på pris (S.K.I. 2003). Ved bruk av disse produkter må en ta hensyn til vannføring og høyde fra kjørebanen ned til vannspeilet, og eventuell fiskevandring. Det er skrevet lite om bruk av halv rør i skogsbilvegbygging, derfor er dette nøye beskrevet i oppgaven.

2.2 FORMÅL

Formålet med oppgaven er å se på hvilke løsninger som er aktuelle ved utskifting av en eksisterende bro. Det er satt opp kostnadskalkyler for å finne hvilken løsning som kommer billigst ut. Det skal også vurderes bruk av halv rør og hvordan denne løsningen slår ut økonomisk sett sammenliknet med andre alternativer.

Hovedproblemstillingen er:

- Hvilke løsninger er aktuelle ved utskifting av en eksisterende bro?

Denne problemstillingen skal besvares ved hjelp av noen underproblemstillinger som er:

- Hva er typiske nedbrytningsmekanismer for materialene stål, betong og trevirke?
- Hvilken type bro vil bli den rimeligste å anlegge i forskjellige tilfeller?
- Hvilke produkter finnes på markedet i dag som kan erstatte en dårlig bro?

3 TIDLIGERE UNDERSØKELSER

De ti siste årene har det blitt skrevet seks hovedfagsoppgaver ved UMB innen temaet vegbygging. Fire av disse oppgavene handler bare om broer på skogsbilveger, mens de to andre dreier seg om lønnsomhet og behov for opprusting av utvalgte vegnett. Disse to oppgavene nevner ikke noe om broer, derfor er de ikke nevnt i det følgende.

Når det gjelder bruk av halvrør er det utgitt få publikasjoner om dette området, spesielt for skogsbilvegbygging. Statens Vegvesen utga i 1993 publikasjon nr 69; Stål og betongelementer i løsmassetunneler. Den tar for seg bruk av større halvrør av stål og betong i vegbygging. Det er ikke publisert noe stoff om bruk av halvrør i skogsbilvegbygging.

I 1983 utga Halvor Høibø et forelesningshefte som tar for seg broer og stikkrenner for skogsbilveger. Det er utgitt ved institutt for bygningsteknikk, UMB. Heftet dreier seg om dimensjoneringsprinsipper for ulike bærekonstruksjoner. Det er også skrevet om dimensjonering av stikkrenner.

Audun Meland skrev i 1996 om dimensjonering av forskjellige typer broer på skogsbilveger. Hans arbeid ble utført som et kompendium til vegbyggingskurset som den gang het SD300 ved UMB. Formålet med oppgaven var å vise hvordan en dimensjonerer trebjelkebroer, stålbjelkebroer og betongplatebroer.

I 1996 ble det også utarbeidet en oppgave om trebroer for bruk på skogsbilveger. Denne oppgaven ble utført av Salvador Farre i Torra. Han dimensjonerte ulike trebroer med forskjellige bredder og spennvidder.

Arve R. Akervold leverte sin hovedfagsoppgave i 1998, og denne omhandler opprusting av broer på skogsbilveger. Oppgaven dreier seg om en tekniskøkonomisk analyse av fire ulike brotyper som hver har tre ulike spennvidder. De fire typene er betongplatebroer, betongelementbroer, stålbjelkebroer med tredekke og trebroer. Spennviddene er 4, 8 og 12 m. Han konkluderer med at byggekostnadene er lavest for betongplatebroene og høyest for trebroene.

TIDLIGERE UNDERSØKELSER

I 2004 skrev Kåre Gunnar Bergstøl en mastergradsoppgave om klassifisering av stålbelegbroer. Han lagde diagrammer som kan brukes til å klassifisere eldre broer.

Skogbrukets kursinstitutt (S.K.I.) har et prosjekt på gang angående nye typetegninger for broer. Prosjektet utføres i regi av en gruppe mennesker for Landbruksdepartementet. I september 2005 ble det registrert flere broer i Vegårshei og det ble diskutert aktuelle brotyper av stål, betong og tre. Det var også oppgradering av gamle typetegninger. Nye brotyper og aktuelle konstruksjoner innenfor trebroer ble også diskutert.

4 TEORI

4.1 TERMINOLOGI

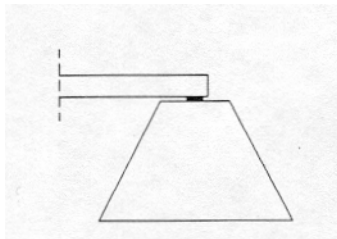
For å finne god og informativ litteratur har det blitt søkt mye på internett gjennom søkemotoren Google. Hovedbiblioteket ved UMB er også blitt brukt for å finne gamle hovedfagsoppgaver og informasjon som er utgitt tidligere. Dette er gjort gjennom søkemotoren Bibsys. Nasjonalbiblioteket i Oslo har også blitt brukt, men her var det ikke noe nevneverdig informasjon å hente. Biblioteket ved Norges Naturvitenskapelige Universitetet (NTNU) ble også undersøkt, men de hadde stort sett den samme informasjonen som ble funnet ved biblioteket på UMB.

I forbindelse med broer er det en del benevnelser som blir brukt. Disse er nevnt under:

4.1.1 Underbygning

Underbygning omfatter:

- Landkar, dette er opplagring for broen i hver ende. Brokar er betegnelse på opplagring i elveleiet mellom to spenn.



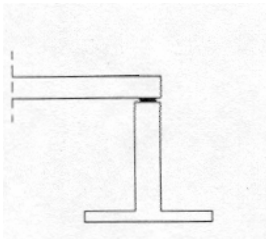
Figur 2: Eksempel på landkar (Bergstøl 2004)

- Steinkjegle, sidestøtte av murt stein, som oftest ved siden av murte landkar
- Pilar, søyleformet understøttelse for brokonstruksjonen



*Bilde 1: Eksempel på pilar
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

- Støttemur, utført i betong eller mur. Fungerer som mothold for bakenforliggende masser



Figur 3: Eksempel på støttemur (Bergstøl 2004)

- Pæler, søyler av betong, stål eller tre. Disse er rammet ned i grunnen for å forsterke bæreevnen under landkar/pilarer
- Spunt, en form for vegg som fungerer som støtte mot utglidninger i grunnen

4.1.2 Overbygning

Overbygning omfatter:

- Hovedbæresystem, dette er som regel bjelker som spenner fra landkar til landkar. For en betongplatebro vil dette være både bæresystem og slitedekke
- Sekundærbæresystem, understøttelse for selve brobanen, gjerne tredekke. For eksempel 4"4" eller grovere.



Bilde 2: Eksempel på hovedbæresystem og sekundærbæresystem (Fredrik C. Løvenskiold 2006)

- Lysåpning, lengden fra landkar til landkar
- Slitedekke, dette ligger på sekundærbæresystemet. Kan bestå av plank som ligger langs med kjøreretningen. Ved broplate av betong på stålbejelker, fungerer plata både som sekundærbæresystem og dekke. I noen tilfeller er det også lagt på grus som slitelag
- Skrensekant, betegnelse for kant langsmed kjøreretningen for å hindre utforkjøring. Det er ikke nevnt noe krav til høyde på disse i Normaler for Landbruksveger med Byggebeskrivelse 1997, men etter diskusjon med professor Skaar ble det diskutert at skrensekanten bør ha minimum høyde på 20 cm og ha 90° vinkel i forhold til broplata. Det er heller ingen krav til rekkverk, men det bør være 1 m høyt av sikkerhetsmessige årsaker. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

4.1.3 Lastforskrifter

Aksellast og totalvekt

Det er idag broer i vegnettet som ble tegnet for over hundre år siden. Noen av disse tjener fortsatt til dagens formål, og grunnen til dette er solid konstruksjon som tåler høye m^2 -laster. Ofte har det vært nok med enkle forsterkningsarbeider for å heve broene opp på høyde med nyere lastklasser (S.K.I. 2003).

Når utviklingen av kjøretøyene skjer såpass raskt med tanke på totalvekt, har det vært behov for revisjoner av lastklassene. Derfor er det vanlig å skille mellom 8 forskjellige lastklasser og lastforskrifter (S.K.I. 2003):

Lastforskrifter før 1912

Vanligvis ble det kun benyttet en jevnt fordelt last på $300 - 500 \text{ kg/m}^2$, snølast inkludert. Det ble i noen tilfeller regnet med en aksellast på 2-3 tonn uten rystelsestillegg. Rystelsestillegg er et dynamisk tillegg på 40 % som legges til alle vertikale laster, og for å ta hensyn til ekstra belastninger som oppstår når bilene entrer broen (Bergstøl 2004). Dette er forklaringen på at større broer ble dimensjonert for en anselig totalvekt, men tålte mindre aksellaster. Et eksempel på dette er Glomma bro ved Rena. Den ble bygget i 1890, og etter forsterkning av dekkekonstruksjonen kunne den tillates for vogntog etter bruksklasse 8 (Bk 8). Det tilsvarer en totalvekt på ca 31 tonn og en aksellast på 8 tonn (S.K.I. 2003).

Lastforskrifter 1912-1920

Jevnt fordelt last på 400 eller 500 kg/m^2 eller enkelt to - akslet kjøretøy med enten 3,5 eller 10 tonn aksellast. 10 tonn var meget sjeldent. Her er ingen rystelsestillegg.

Lastforskriftene 1920

Lastklasse 2/1920 med aksellast 5 tonn ble stort sett benyttet. Ved dimensjonering i bystrøk ble lastklasse 1/1920 med 10 tonn aksellast benyttet. Denne 1920 klassen er som de to foregående så å si forsvunnet fra riksvegnettet, men finnes noe hyppigere i fylkes- og kommunalvegnettet. Heller ikke her er det noe rystelsestillegg. Broer med kjørebanebredde $F \geq 4 \text{ m}$ ble vanligvis regnet som to - sporet.

Lastforskriftene 1930

Lastklasse 2/1930 med 6 tonn aksellast utgjorde minst 75 % av broene bygd i perioden frem til 1947 og var inntil da den klassen som det ble konstruert flest broer etter. Denne klassen er også på retur, men fortsatt eksisterer en del av disse broene.

Lastklasse 1/1930 med 10 tonn aksellast og større totalvekt vil også på grunn av sitt krav til større kjørebanebredde ($F = 6$ m), ikke gjennomgå samme utskiftingstakt som klasse 2/1930. Broer med kjørebanebredde $F \geq 4$ m ble vanligvis regnet som to - sporet i klasse 2/1930, dette var alltid tilfelle for $F \geq 4,5$ m.

Lastforskriftene 1947

Disse er basert på 10 tonn aksellast. Lastklasse 1/1947 er ikke ulik klasse 1/1930, mens klasse 2/1947 ikke er mye høyere enn klasse 2/1930 for totalvektens vedkommende og vil derfor i mange tilfeller vise seg for svak i det tyngre vegnettet (Bk T8 og Bk T10-vegnettet). Broene ble regnet som to - sporet for $F \geq 5,5$ m.

Lastforskriftene 1958

Utgangspunktet for klassene 1/1958 og 2/1958 er 13 tonn aksellast. I tillegg regnes broene for en ekvivalentlast bestående av en jevnt fordelt last og en knivlast. Klasse 2/1958, beregnet på enssporede broer med $F = 4$ m, gir ved lengre spenn enn ca 10 m lavere dimensjonerende verdier enn bruksklasse Bk T8 og Bk T10, slik at broer innen denne kategori bør undersøkes spesielt. Lastklasse 1/1958 beregnet for to - sporede broer med $F \geq 6$ m kan regnes å dekke opp nevnte bruksklasse, slik at klassifisering til Bk10 kan skje uten at beregninger foretas for spenn mindre enn ca 21 m.

Lastforskriftene 1969

Denne forskrift har som basis 14 tonn aksellast og er bygget opp på samme måte som forskriften av 1958. Den ekvivalente belastning ligger noe høyere enn for klasse 1/1958. Broer konstruert etter disse forskrifter, kan uten videre klassifiseres til Bk10.

Lastforskriftene 1986 (1971)

Disse omfatter i hovedsak alle lastforskrifter mellom 1971 og 1986. Forskriftene er, når det gjelder kjøretøydelen, delt opp i flere typer ekvivalentlaster slik at de blant annet skal dekke opp kjøretøy med aksellast på 13 tonn og 65 tonn totalvekt eller tre 3-akslete kjøretøy å 30 tonn. Broer som er bygget etter disse forskrifter tåler uten videre Bk 10.

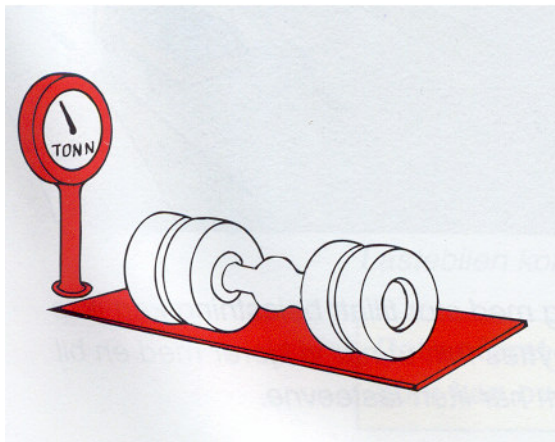
Normaler for landbruksveger med byggebeskrivelse 1997

”Normaler for landbruksveger med byggebeskrivelse” som ble utgitt av Landbruksdepartementet (LD) i 1997, erstatter ”Normaler for skogsveger” fra 1980. I denne normalen utvides tillatt akseltrykk for broer fra 10 tonn til 13 tonn. Tillatt akseltrykk for vegene er ikke utvidet. Det nevnes også at minste totalbredde for broer skal være 4 m, og at minste kjørebredde skal være 3,5 m.

Definisjoner i forbindelse med begrepet ”bruksklasse”

Bruksklasse er forklaring på bestemte aksellaster, boggilaster, trippelboggilaster og totalvekter som de ulike vegene tillates for (S.K.I. 2003). Forkortelsen for bruksklasse er Bk. Som eksempel så betyr Bk 10/50 en tillatt aksellast på 10 tonn og en tillatt totalvekt på 50 tonn (Lysenstøen & Stavik 2004).

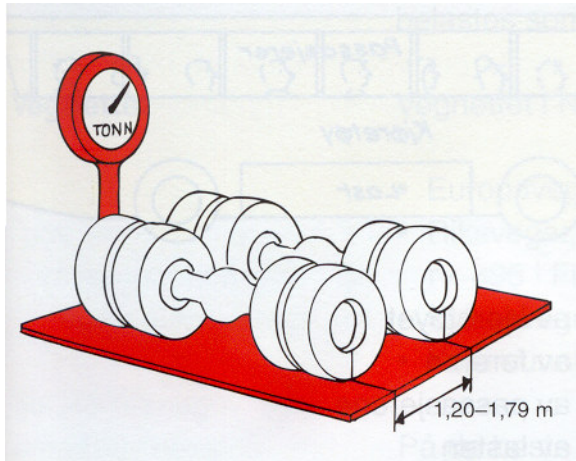
Aksellast



Figur 4: Enkelaksel (Lysenstøen & Stavik 2004).

Bilens egenvekt og last trykker hjulene mot vegbanen, og den vekten som hjulene på *en* aksel trykker mot vegbanen kalles aksellast (Lysenstøen & Stavik 2004).

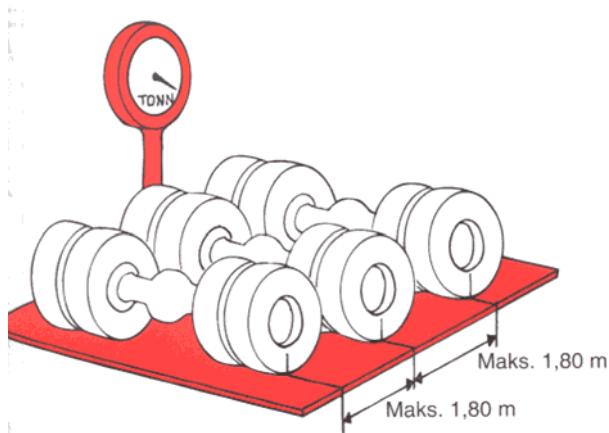
Boggilast



Figur 5: Boggiaksel (Lysenstøen & Stavik 2004).

Med boggi menes to aksler som står sammen og deler på belastningen. Den vekten som hjulene i en boggi til sammen trykker mot vegbanen kalles boggilast, hvis avstanden mellom akslene er mellom 1,2 – 1,79 m. Er avstanden over dette regnes akselkombinasjonen som enkle aksellaster (Lysenstøen & Stavik 2004).

Trippelboggilast



Figur 6: Trippelboggiaksel (Lysenstøen & Stavik 2004).

Her er det snakk om tre aksler som står sammen og deler på belastningen. Vekten som oppstår fra de tre akslene kalles trippelboggilast. Dette forutsetter at avstanden mellom hver aksel ikke overstiger 1,8 m. Også her gjelder regelen om at hvis avstanden er over dette, regnes

akselkombinasjonen som enkle aksellaster. Hverken for boggilast eller trippelboggilast tillates den samlede aksellast fra noen aksel å overskride vegens tillatte aksellast.

Hensikten med boggi og trippelboggi er å kunne kjøre med større last (Lysenstøen & Stavik 2004).

Totalvekt

Vekten av kjøretøyet, lasten og føreren samt eventuelle passasjerer (Lysenstøen & Stavik 2004).

Egenvekt

Vekten av kjøretøyet uten last og fører (Lysenstøen & Stavik 2004).

Bredde

Største tillatte bredde for kjøretøy er 2,55 m. Da er ikke speil regnet med (Lysenstøen & Stavik 2004).

4.2 DAGENS BROTYPER

Broer er betegnelse på konstruksjoner som anlegges for å krysse elveleier eller små bekker. Er lysåpningen for vannføringen større enn 2,5 m betegnes dette som bro. Hvis lysåpningen er mellom 1 og 2,5 m blir konstruksjonen regnet som kulvert, og hvis den er mindre enn 1 m regnes det som stikkrenne (Statens Vegvesen 2005).

Skogsbilvegbroer er som regel enkle konstruksjoner. Dette innebærer broer i ett spenn, i noen tilfeller to spenn. De brotypene som eksisterer i dag er:

4.2.1 Betongplatebro

Disse brotypene består av en betongplate som er støpt oppå landkarene. Dette blir som regel utført på stedet. Det kan være komplisert å finne ut hva som er av armering inne i betongplata. For å løse dette kreves teknisk utstyr og kompetanse, og det er ofte kostbart med slike undersøkelser.

Slike broer kan være bygget for mange år siden, og det er sjelden tegninger å oppdrive. Denne type bro er lite utbredt for spenn over 4 m.

4.2.2 Stålbjelkebroer med tredekke

Disse typene består vanligvis av ett spenn, men kan også bestå av to spenn med opplagring på midten. Hovedbærerne er av stål, som regel standard valseprofiler (H - bjelker). Det er minimum 2 hovedbærere og det kan være flere, avhengig av størrelsen på broen.

Sekundærbæresystemet består av et tredekke som ligger på tvers av hovedbærerne, ofte grovere plank slik som 4"4". Oppå dette er det ofte lagt mindre plank i kjøreretningen som fungerer som slidedekke, men også som lastfordeler og sideavstiving.

4.2.3 Stålbjelkebroer med betongdekke

Her består også hovedbæresystemet av H – bjelker i stål. Sekundærbæresystemet er et armert betongdekke som ligger oppå hovedbærerne. Dekket av betong kan lages før det løftes på plass, eller det kan forskales og armeres og støpes direkte på hovedbæresystemet. Slidedekket kan være påstøp av betong eller asfalt. I noen tilfeller treverk, men ytterst sjelden.

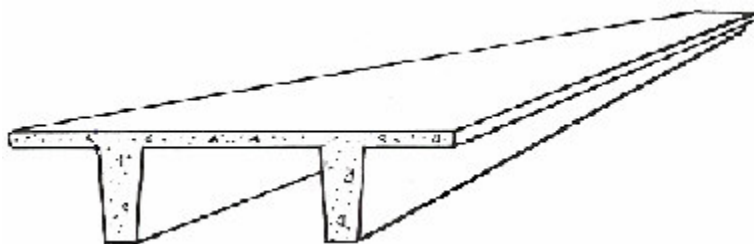
4.2.4 Betongbjelker med betongdekke

Dette er samme oppbygging som for brotypen nevnt over, bortsett fra at det her er snakk om betong. For denne type bro er bjelker og dekke støpt monolittisk sammen. Den bygges da på stedet med forskaling for hele konstruksjonen. Monolittisk sammenstøping vil si at hele konstruksjonen støpes i ett, slik at det ikke er noe fysisk skille mellom bjelker og betongplate.

4.2.5 Broer av prefabrikert betong

Disse brotypene er av nyere opprinnelse enn de som er nevnt over. Hovedbæresystemet og sekundærbæresystemet består av prefabrikert betong. Slidedekket kan være av betong eller asfalt. Det er flere typer av disse broene:

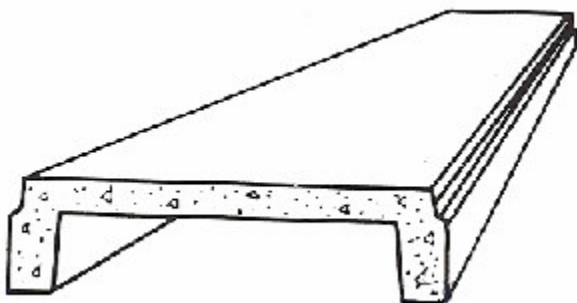
- DT – bro, spennvidde fra 0 – 5,25 m (Jacobsen 2006)



Figur 7: DT – elementer fra Opplandske Betongindustri (Jacobsen 2006)

Disse elementene legges ved siden av hverandre og støpes sammen med et påstøp av betong. Tykkelsen på dette påstøpet bør være minimum 25 cm. Grunnen til at de kalles DT – elementer, som står for dobbel T, er at de ser ut som to T`er ved siden av hverandre.

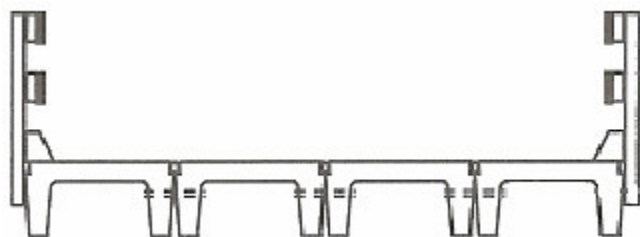
- DU – bro, spennvidde fra 0 – 9 m (Jacobsen 2006)



Figur 8: DU – elementer fra Opplandske Betongindustri (Jacobsen 2006)

Slike elementer legges også ved siden av hverandre med tilsvarende påstøp som for DT – elementene. Begge elementene leveres i standardbredder på 60, 120 og 240 cm (Jacobsen 2006). Høyden på dem varierer etter bredden. Elementene er dimensjonert for 13 tonns aksellast med en sikkerhetsfaktor på 1,5. Dette vil si at de i teorien tåler opp mot 19,5 tonn aksellast; $13 \text{ tonn} \times 1,5 = 19,5 \text{ tonn}$ (Jacobsen 2006). Sikkerhetsfaktoren er et uttrykk for overdimensjonering av elementene.

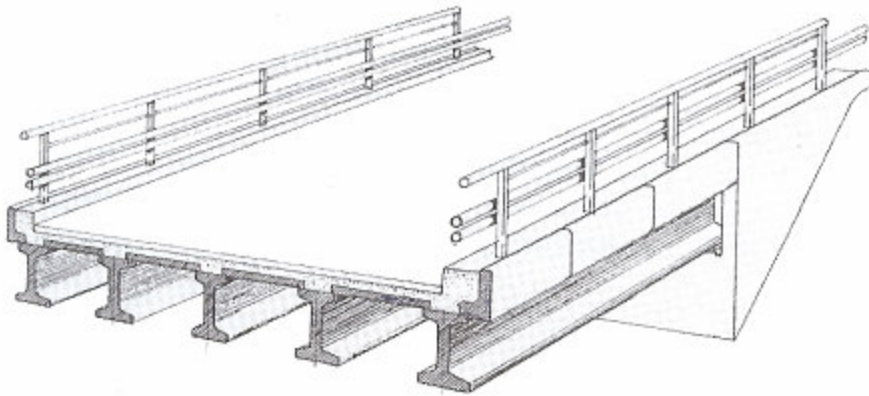
- Elementbro 1, spennvidde fra 0,8 – 15 m (Lindstadhagen 2006)



Figur 9: Tverrsnitt av Elementbro 1 (Akervold 1998)

Denne type bro minner om DU – bro, men her spennes elementene sammen med bolter i hver ende. Det bør støpes et påstøp på minimum 15 cm (Lindstadhagen 2006).

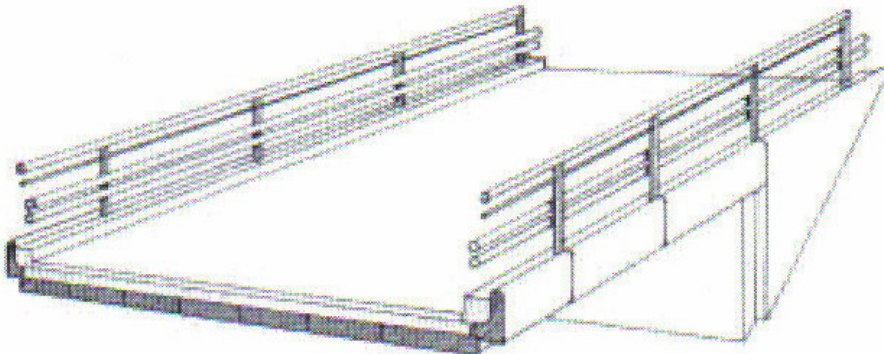
- MOT – bro, spennvidde fra 5 – 14,5 m (Lindstadhagen 2006)



Figur 10: Tversnitt av MOT – bro (Statens Vegvesen 2002)

MOT – bjelkene settes ved siden av hverandre og støpes sammen ved hjelp av påstøpet. Det legges forskalingsplater mellom bjelkene for å lage påstøpet på min..15 cm tykkelse (Lindstadhagen 2006).

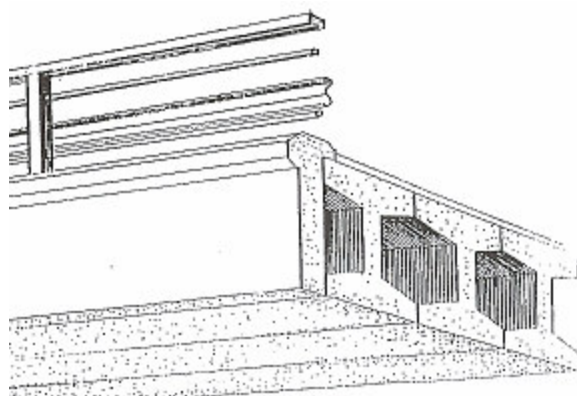
- PLA – bro, spennvidde fra 12 – 32 m (Lindstadhagen 2006)



Figur 11: Tverrsnitt av PLA – bro (Statens Vegvesen 2002)

For denne type bro legges elementene tett i tett og et påstøp på min. 15 cm holder dem sammen (Lindstadhagen 2006). Kantelementer kan monteres hvis det er behov for det.

- SUPER I – bro, dimensjoneres for hvert enkelt prosjekt (Lindstadhagen 2006)



*Figur 12: Tverrsnitt SUPER I bro
(Statens Vegvesen 2002)*

Prefabrikert brodekke av forspente bjelker som er montert tett inntil hverandre og sammenspent på tvers (Lindstadhagen 2006).

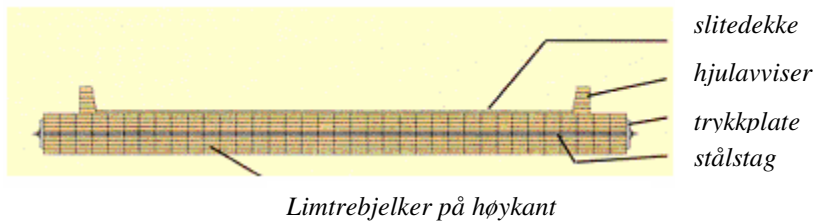
4.2.6 Limtrebroer

Dette er broer som består av limtrebjelker som er tverrspent med stålstag. Det er friksjonen mellom bjelkene som utgjør bæreevnen (Bjerke 2006). Disse broene produseres ved Moelven Limtrefabrikk i Moelv. Broene har stor styrke og er beregnet for 13 tonn aksellast. De er også miljøvennlige ettersom materialet stammer fra naturen. Energibehovet som er nødvendig for å fremstille trebroer i forhold til broer av stål og betong er lite. CO₂- utslippene vil være langt mindre ved fremstilling av trebroer enn ved fremstilling av stål- og betongbroer.

Trevirket som benyttes er furu som blir kreosotimpregnert. Kreosot er en oljebasert væske som blir fremstillet ved destillasjon av steinkulltjære (Eikenes 2002). Levetiden for dette trevirket vil være ca 50 – 60 år, litt avhengig av omgivelsene. Det er også muligheter for saltimpregnering. Dette vil forlenge levetiden med ca 20 år, men kostnaden er høy. En må regne en tilleggpris på 1500 – 2000 kr/m³ (Bjerke 2006).

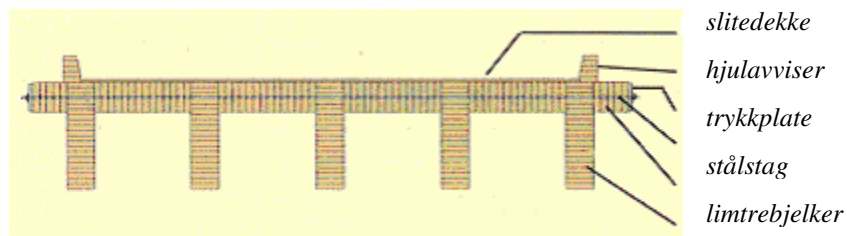
Det er tre typer av limtrebroene:

- Tverrspent platebro, spennvidde 5 – 10 m (Bjerke 2006)



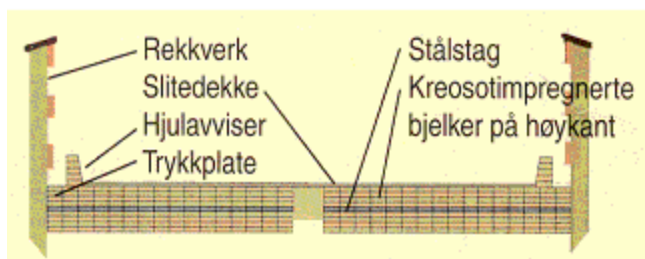
Figur 13: Tverrspent platebro (Moelven Limtre 2006)

- Tverrspent bro med ribbedekke, spennvidde 10 – 20 m (Bjerke 2006)



Figur 14: Tverrspent bro med ribbedekke (Moelven Limtre 2006)

- Todelt tverrspent platebro, spennvidde 5 – 10 m (Bjerke 2006)



Figur 15: Todelt tverrspent platebro (Moelven Limtre 2006)

4.2.7 Svenske limtrebroer

Det produseres også trebroer i Sverige, fra firmaet Svenske Trebroar. Det er samme prinsippet som for de norske limtrebroene, altså tverrspente platebroer. De er dimensjonert for 22 tonn boggilast. Materialet som blir brukt i produksjonen er ikke kreosotimpregnert slik som i de

norske broene. Svenske trebroer benytter furu som blir impregnert i klasse K 33 (Robert Holmberg 2006). De tverrgående stålstagene blir strammet med en kraft på 174 kN. Dette tilsvarer 17,4 tonn (Johannessen 1995). Ifølge Robert Holmberg er levetiden for disse broene 40 år.

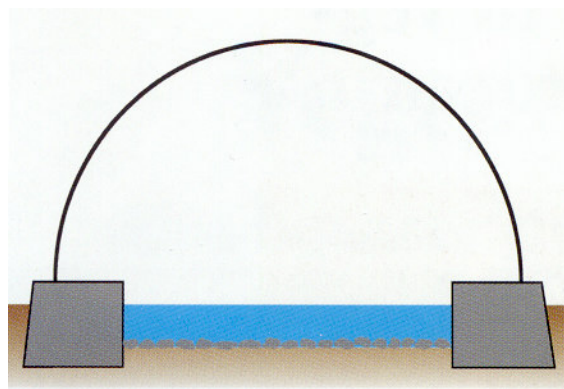
4.2.8 Halvrørbro

Presentasjonen av halvrørene er veldig omfattende og forholdsvis lang. Det er fordi det ikke er skrevet noe om disse produktene tidligere. Det er interessante løsninger og de er meget aktuelle i skogsbilvegbygging.

Det tar forholdsvis kort tid å legge et halvrør så lenge grunnarbeidet er ordentlig utført. Det som kan være tidkrevende er etterfylling og komprimering rundt røret. Det er meget viktig at dette blir utført på en kvalitets sikker måte, slik at det ikke blir setninger og skader på røret. Grunnarbeidet kan også være tidkrevende, men dette er avhengig av forholdene på stedet og i hvilken forfatning eksisterende løsning befinner seg i.

Ved anleggelse av halvrør vil lysåpningen bli redusert. Hvor stor betydning dette har i forbindelse med nedbørsperioder må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

Bruk av halvrør vil bevare den naturlige elvebunnen, noe som er positivt for dyrelivet og det biologiske mangfoldet. Fiskevandring er et viktig moment som skal tas hensyn til, og dette vil ikke være noe problem ved anleggelse av halvrør, se figur 16.



Figur 16: Ved bruk av halvrør bevarer man den naturlige elvebunnen (Viacon 2006)

Det er flere typer av disse halvrørene, alt avhengig av krav til lysåpning. De vanligste typene er **Trenchcoat** og **Helcor**. Rørene ble tidligere produsert i Norge, men blir nå produsert i

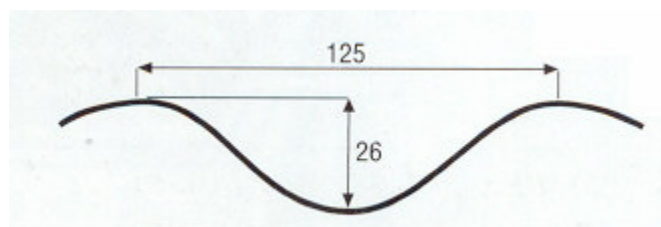
Sverige og andre steder i Europa. Dette er egentlig helrør som leveres med en diameter fra 1000 mm opp til 3400 mm for Trenchcoat og fra 200 mm til 3400 mm for Helcor (Viacon 2006). Men ved å skjære dem på langs får man to like deler og kan dermed benytte dem som halvrør.

Etter diskusjon med professor Reidar Skaar, kalles denne løsningen heretter for halvrørbro. Kriteriet for dette er at største bredde må minimum være 2,5 m, som er minstekravet til lysåpning for at betegnelsen bro skal kunne brukes.

Begge typer kan leveres i hele lengder opp til 12 m. De kan teoretisk leveres i lengre hellengder, men dette blir problematisk med tanke på transport langs veg (Viacon 2006).

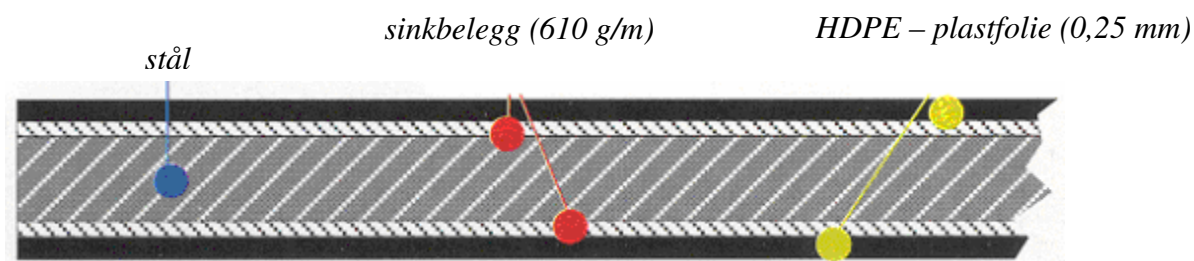
Det er korrugeringen som utnytter stålets holdfasthetsegenskaper og som gir halvrørene styrke til å motstå trafikkbelastninger ved mindre overfyllinger likeså egenvekten fra høye fyllinger (Viacon 2006). Hvis stålet ikke hadde gått gjennom korrugeringsprosessen, ville det tålt betydelig mindre belastning.

Korrugeringen er forskjellig for de ulike diametrene. Helcor har tre forskjellige korrugeringsstørrelser, avhengig av hvilken dimensjon det er snakk om. Jo større dimensjonene er jo større er korrugeringen. Figur 17 viser målene på korrugeringen, disse målene gjelder for halvrør med diameter på 3200 mm. Dette gjelder både for Helcor og Trenchcoat. Platetykkelsen for halvrørene varierer fra 1,2 mm til 3,5 mm, avhengig av dimensjonen. Egenvekten øker også proporsjonalt med økende størrelse på halvrøret. Som eksempel har Helcor et halvrør med største bredde på 1000 mm, en platetykkelse på 2,0 mm og en egenvekt på 31 kg/m. Et annet halvrør største bredde på 3200 mm, platetykkelse på 3,5 mm og egenvekt på 163 kg/m (Viacon 2006). Platetykkelsen har altså mye å si for rørets egenvekt og dets styrke.



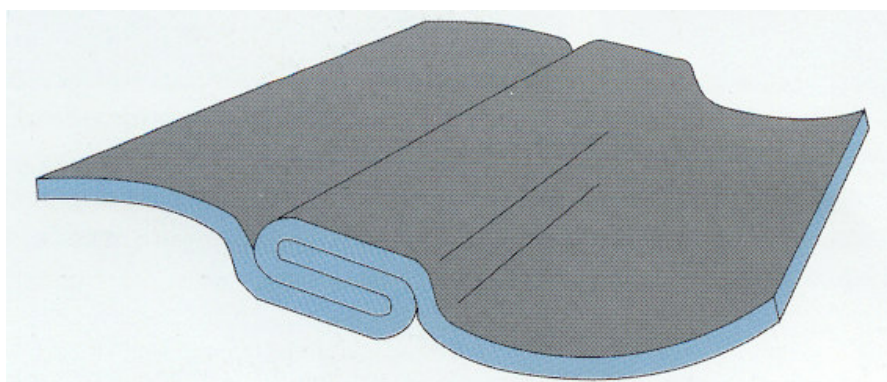
Figur 17: Målene på korrugering, tall i mm (Viacon 2006)

Trenchcoat er plastlaminerte rør av stål. Stålet galvaniseres med 610 g sink/m på begge sider. Galvanisering er elektrolytisk belegging av metaller med andre metaller (Cap Lex 1997:330). Deretter blir en plastfolie av typen HDPE laminert til stålet ved hjelp av varme. Tykkelsen på dette belegget er 0,25 mm (Viacon 2006). Denne prosessen blir også utført på begge sider. Se figur 18.



Figur 18: Tverrsnitt av stålet med galvanisering og plastfolie hos Trenchcoat (Viacon 2006)

Råvaren kommer ferdig galvanisert og laminert på rull. Deretter kjøres stålet inn i et korrugeringsverk som former stålet til riktige dimensjoner. Når stålet kjøres inn i verket har de en bredde på 70 cm, deretter falses de sammen til et spirallrør og kappes til slutt i aktuelle lengder. Falsen er dobbel, dette er en tett og sterk form for skjõt. Falsen er vist i figur 19.



Figur 19: Dobbelt fals på røret (Viacon 2006)

Trenchcoat har vært brukt i USA og Canada i mer enn 25 år, og erfaringer derfra sier at rørene har fremragende egenskaper mot korrosjon og abrasjon. Abrasjon er slitasje av materialet som oppstår ved erosjon (Viacon 2006).

Ifølge National Corrugated Steel Pipe Association (NCSPA), (Viacon 2006), kan Trenchcoat rørene brukes i korrosivt miljø. Korrosivt miljø er miljø hvor pH er under 5 og en resistivitet som er lavere enn 15 ohm - meter (Cap Lex 1997:542). Resistivitet er en materialegenskap

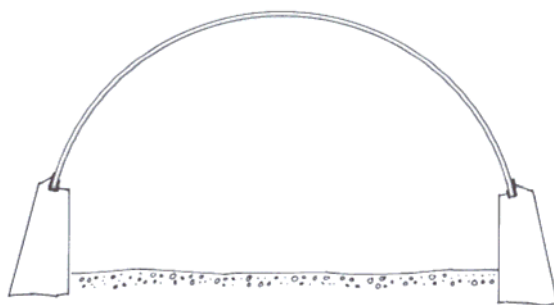
som er forholdet mellom elektrisk feltstyrke og strømtetthet i materialet. Tidligere ble dette kalt spesifikk elektrisk motstand (Cap Lex 1997:542).

Levetiden for Trenchcoat er beregnet til 70 år (Viacon 2006).

Helcor er også korrugerte rør som er galvanisert eller alusinkbelagt med tykkelser fra 1,2 – 3,5 mm. Rørene kan også leveres med en tilleggsbeskyttelse av epoxy i tykkelsene 240 eller 400 μm . Ifølge Johannesen (1995) er 400 μm = 0,4 mm. Epoxy er et produkt som er motstandsdyktig mot kjemikalier og fester seg godt til andre stoffer ved høy varme (Cap Lex 1997:257) Dette er med på å gi rørene lenger levetid, men prisen blir også høyere.

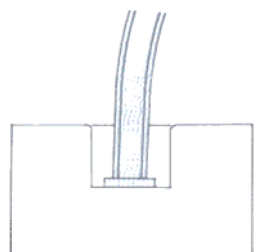
Rørene er beregnet for transport av sand og grus ved hastigheter opp mot 4,5 m/s (Viacon 2006). Norges jernbaneverk har godkjent disse rørene til bruk under høye jernbanefyllinger. Hovedforskjellen på Trenchcoat og Helcor er HDPE – belegget som smeltes på Trenchcoat rørene. Trenchcoat rørene leveres også med ferdig rullet duk rundt røret slik at HDPE – belegget beskyttes. Det er derfor prisen for Trenchcoat er 20% høyere enn for Helcor.

Det produseres også egne halvrør, ofte kalt hvelvbuer. Disse hvelvbuene kalles Multipel Trummor og kan fåes i bredder opp mot 10 m, noe som tilsvarer en lysåpning på 39,31 m² (Viacon 2006). Dette er halvrør som blir satt sammen av korrugerte plater i stål. Alle platene festes til hverandre ved hjelp av bolter. Monteringen kan skje ved fabrikk eller på anleggsplassen, dette avhenger av størrelsen på hvelvbuen som igjen begrenser transportmulighetene. Hver plate er 90 cm bred og 1 m lang og har en buet form. Slike plater boltes sammen og danner en hvelvbue. Hvelvbuene lages i Sverige og vil ha en langt høyere kostnad enn Helcor og Trenchcoat på grunn av monteringsarbeidet. Stålet i slike hvelvbuer er i første omgang bare varmforsinket, men kan også behandles med samme metoder som for Helcor og Trenchcoat. Hvis den enkleste varianten velges, altså bare varmforsinking, vil levetiden for stålet ved denne overflatebehandlingen være rundt 20 år, uansett vannets egenskaper (Viacon 2006). Hvis vannet har pH høyere enn 6,5 og vannhastigheten ved middelvannføring er mindre enn 0,5 m/s, vil stålet ha en levetid på nærmere 40 år (Viacon 2006). Bildet under viser hvordan hvelvbuen kan anlegges, slik at stålet ikke er i kontakt med vannet. Dette forlenger levetiden betraktelig.

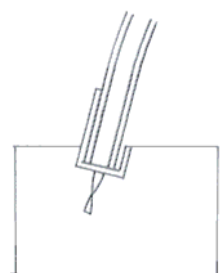


Figur 20: Skisse av Multipel hvelvbue (Viacon 2006)

Fundamentene for anleggelse av hvelbuen er av betong og finnes i to forskjellige typer fra fabrikk:



*Figur 21: Fundament 1
(Viacon 2006)*



*Figur 22: Fundament 2
(Viacon 2006)*

Fundament 1 er støpt med utsparing slik at hvelvbuen plasseres nede i dette sporet. Det er påsveist et flattjern i hver ende av buen slik at hvelvbuen ligger stødig nede i fundamentet. Denne typen fundament anbefales for bredder over 6 m (Viacon 2006).

Fundament 2 er også støpt med en slags utsparing hvor hvelvbuen skal ligge an. I utsparingen blir et vinkeljern forankret i fundamentet under støping. Hvelvbuen skrues deretter fast i vinkeljernet ved montering. Denne typen anbefales for bredder under 6 m (Viacon 2006). Det skal ikke gåes nærmere inn på dette produktet.

Det er flere momenter som gjør at korrugerte halvrør av stål er en god løsning ved erstatning av plasstøpte betongbroer eller kulverter. Punktene er hentet fra Statens Vegvesen 1993a:

- Enkel anleggelse og forholdsvis lav egenvekt krever ikke så store maskiner
- Konvensjonell overfylling kan brukes når veg går over halvrøret. I forhold til konvensjonell bro unngås da problemer med vedlikehold av brodekket, og vegen får jevn overbygning

- Korrugerte stålrør med tilstrekkelig overdekning (minimum 60 cm) kan bære meget store trafikklaste
- Estetisk sett kan bueformene på konstruksjonene gi gode løsninger, spesielt hvor det er viktig å ta vare på eksisterende terreng

Generelt er slike løsninger gode der grunnforholdene og bæreevnen er for dårlig til anleggelse av brofundamenter.

4.3 MATERIALTEKNOLOGI

4.3.1 Skadetyper og nedbrytningsmekanismer

Stålkonstruksjoner er mye benyttet i dagens skogsbilvegbruer. Stålet er ofte utsatt for nedbrytningsmekanismer, og den mest vanlige skadeårsaken er korrosjon. Korrosjon er en fysisk - kjemisk prosess eller reaksjon mellom et materiale og dets omgivende medium, som fører til forandringer i materialets egenskaper (Rescon 2002). Men det finnes også andre årsaker som mekaniske skader og utmatning. Mekaniske skader innebærer påkjørsler og overbelastning. Rekkverk er som oftest utsatt ved påkjørsler og dette går sjelden utover den bærende konstruksjonen.

Overbelastning kan derimot gi en varig deformasjon i den delen av broen som er bærende. Nedbryningskrefter vil ha en påvirkning her. Dette er krefter som oppstår når vekten er for stor i forhold til hva hovedbæresystemet er beregnet for. Påkjenninger som er dynamiske over lenger tid kan føre til utmatning av stålet, i verste fall ender det med sammenbrudd (S.K.I. 2003). Dynamiske krefter er for eksempel krefter som oppstår når en lastebil bremses på broen (S.K.I. 2003).

Da de fleste broene ble anlagt, var det liten kunnskap om korrosjon og det ble derfor lite omfang av beskyttelse av stålet i form av overflatebehandling. Dette er et viktig moment som er en av grunnene til redusert levetid for broene.

Utbredelsen av korrosjon forekommer ved ulike steder i konstruksjonen. Rundt brokar hvor stålbjelkene ligger an vil det ofte samle seg sand/jord som over tid vil bli dekket av vegetasjon (S.K.I. 2003). Gress og jord holder godt på fuktigheten samtidig som surhetsgraden (pH) vil være lav på slike steder, noe som fører til et aggressivt miljø.

Ved flenser, som er en form for skjøl, vil det også dannes korrosjon, spesielt på oversiden hvor ansamling av smuss vil forekomme.



*Bilde 3: Korrosjon som har oppstått i sveiseforbindelse
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

Sveiseforbindelser er et meget utsatt punkt, dette fordi det oppstår en omstrukturering av stålet under sveiseprosessen, se bilde 3. Denne prosessen er veldig ømfintlig for korrosjon. Knutepunkter er områder hvor det ofte benyttes bolter, skruer eller tømmerbindere (S.K.I. 2003). Tømmerbindere er store kramper som lages av armeringsjern. De er som regel 25 – 30 cm lange og har en vinkelspiss i hver ende som er ca 6 – 7 cm lange. Disse bankes inn i treverket for å holde for eksempel jernbanesviller sammen. I forbindelsespunktene for eventuelle tømmerbindere, bolter eller skruer kan det samle seg vann og over tid vil dette føre til korrosjonsangrep.

4.3.2 Overbelastning

Overbelastning av bærekonstruksjonene på broer er mer utbredt enn hva man tror. Denne type skade kan oppdages ved å registrere nedbøyninger på hovedbærerene. En slik nedbøyning registreres ved å måle pilhøyden. Pilhøyden er den største avstanden mellom sentrumslinja og den rette linja mellom midtpunktene i endeflatene til bjelken, målt over hele stokklengden. Dette oppgis i % av stokklengden (Eikenes 2002). Stål har den egenskapen at fastheten øker når flytegrensen i stålet overskrides (S.K.I. 2003). Flytegrensen er benevnelse for hva stålet

tåler. Dette vil si at konstruksjonene har ”noe å gå på”. De kan i teorien utsettes for mer enn hva som er oppgitt fra leverandør eller tabeller. Dette omtales senere som sikkerhetsfaktor.

4.3.3 Utmatning

Utmatning kan oppstå på steder hvor utformingene er uheldige eller feilaktige som fører til høye spenninger i stålet, dette kan rett og slett føre til brudd og få store konsekvenser. Grunnen til at dette skjer er stadige gjentatte høye spenninger som fører til strekkrikk (S.K.I. 2003). Strekkrikk er sprekker som oppstår i stålet. Når slike riss først har oppstått vil de bli større og større og til slutt ende opp i brudd. Korrosjon vil oppstå i rissene, noe som vil føre til hurtigere nedbrytning av stålet enn på resten av konstruksjonen. Steder hvor strekkrikk oppstår, kan være opplagring av bærebjelkene på landkarene. Ved lengre spenn bør det legges lagre mellom bærebjelkene og landkarene slik at det ikke oppstår gnisninger mellom materialene. Hovedbæresystemet bør også ha noe å gå på ved dynamiske krefter.

4.3.4 Trekonstruksjoner

Trekonstruksjoner er også utsatt for skader. Råte er den vanligste årsaken. Korrosjon vil også forekomme hos broer av trevirke, men selvfølgelig bare i forbindelsesmidlene (skruer, bolter, tømmerbindere) som er av stål. Selv om boltene og skruene som regel er galvaniserte, vil det over lengre tid oppstå korrosjon (Statens Vegvesen 1993b). Mekaniske skader går også her stort sett utover rekkverk.

Trekonstruksjon beskriver som regel sekundærbæresystemet som består av tverrbjelker som ligger på kant oppå hovedbærene (S.K.I. 2003). Tverrbærere er bjelker som er plassert på tvers av bærebjelkene og som ligger under slitedekket. Toppdekke er slitelag som også består av trevirke. Dette ligger enten med – eller på tvers av kjøreretningen (S.K.I. 2003). Brudekket kan være gamle jernbanesviller eller plank. Disse bør være impregnerte.

Hovedbærene er som regel av stål, men de kan også forekomme i tre. Dette vil omtales senere. Slitelaget vil også bestå av et tredekke som ligger i kjøreretningen. Det er i noen tilfeller bygget rene trebuer, men forbindelsesmidlene er fortsatt av stål. Det er liten utbredelse av forbindelsesmidler i tre, spesielt i større konstruksjoner hvor det er mange typer krefter som er innvirkende (S.K.I. 2003).

En vanlig skadetype hos treverk er oppsprekking som oppstår ved gjentatt oppfukting og uttørking (S.K.I. 2003). Denne type skade er omfattende, men i mange tilfeller blir den oversett på grunn av manglende kunnskap.

4.3.5 Biologiske skadegjørere

Råtesopper er avhengig av spesifikke vekstvilkår for å utvikle seg og produsere enzymsystemer som gjør at trevirket brytes ned. Sukker oppstår fra spaltet trevirke. Dette pluss oksygen er soppene avhengig av for sitt livsopphold (Statens Vegvesen 1993b). Begrensningene på veksten hos soppene er faktorer som fuktighet, temperatur og lys.

Det er mange ulike arter av sopper og hvem av dem som angriper, avhenger av fuktinnhold og temperatur i trevirket. Er fuktigheten i trevirket høyere enn 20 % (av tørrvekt), og sporene har god tilgang på vann, er det ”gunstige” forhold for spiring og videre vekst. Tørrvekt er forholdet mellom massen i tørr tilstand og volumet i tørr tilstand (Eikenes 2002).

Dersom trevirket som har blitt angrepet tørker ut, vil soppen gå i dvale. Råtesoppene kan overleve en periode med tørke, men vil fortsette å vokse så fort fuktigheten øker. Den øvre fuktighetsgrensen er ca 80% for de vanligste sopparter. Noen arter kan angripe over denne grensen, men ytterst få (Statens Vegvesen 1993b).

Temperatur er også en avgjørende faktor. Råtesoppene vil vanligvis vokse i et temperaturområde fra 0° C til 40° C. Soppene vil igjen gå i dvale så fort temperaturen synker under frysepunktet. Blir temperaturen over 40° C vil råtesoppene dø ut. En annen faktor som lys er ikke nødvendig for vekst, men viktig for at det skal dannes et frukt - legeme (Statens Vegvesen 1993b).

Råteskader

Dette er skader som særlig oppstår på brodekke og rekkverk. Disse er spesielt utsatt for fuktighet, og tidligere ble det brukt mye uimpregnert treverk. Dette gjelder for tverrbærere og slidedekke. Det sier seg selv at skadene som oppstår er omfattende ved bruk av uimpregnert virke. Skadene vil lett oppdages i slidedekket, men tverrbærerne vil ofte bli glemt og virkningene av dette vil være mer betydelig enn for slidedekket. Det kan ende med at en tverrbærer svikter og at hele dekket raser sammen.

Det har blitt brukt mer impregnert virke etterhvert, noe som har ført til mindre råteskader, men en betydelig høyere anleggskostnad.

Brunråde

Sopparter som utvikler cellulase, men ikke ligninase har bare evnen til å bryte ned cellulose og cellulose lignende stoffer i treet (Statens Vegvesen 1993b). Lignin vil ikke bli berørt og dette resulterer i en mørk farge rundt angrepet område. Det angrepne trevirket vil brytes opp i kubiske felter, og dette er grunnen til at det kalles brunråde (Statens Vegvesen 1993b).

Hvitråde

Råtesopper som utvikler enzymer som spalter både cellulose og lignin vil medføre at trevirket brytes opp i lange løse cellulosefibre samtidig som trevirket blekes i farge (Statens Vegvesen 1993b).

Disse soppene kalles for hvitråde.

Soft - rot

Dette er et engelsk navn på en gruppe råtesopper som utvikler cellulase. Mykråde eller gråråde er det norske navnet, men blir lite brukt. Soppen krever meget fuktige og varme omgivelser for at den skal angripe trevirket (Statens Vegvesen 1993b). Soppen er funnet i noen trykkimpregnerte stolper hvor opptak av trykkimpregneringsmiddel har vært for lavt.

Cellulosen i trevirket brytes ned av råtesoppene, noe som fører til redusert styrke. Å oppdage råteangrep uten mikroskop kan være vanskelig på et tidlig stadium. Men etterhvert som angrepet utvikler seg, vil brunfarging av trevirket forekomme. Det vil bli tverrbrudd i fibre og som regel vil det oppstå en emmen lukt (Statens Vegvesen 1993b). Når trevirket er såpass råttent at det kan tas ut med fingrene, er styrkeegenskapene sterkt svekket.

Insekter

Det er idag tre insekter som kan gjøre store skader på trekonstruksjoner i Norge. Disse kalles husbukk, stripet borebille og stokkmaur. Angrepsmønstrene er forskjellige for de tre.

Husbukk og stripet borebille borer ut trevirket og benytter det som næring og bolig, mens stokkmauren borer det ut og bruker det kun som bolig (Statens Vegvesen 1993b).

Husbukk og stripet borebille

Disse insektene har en lang utviklingstid. Det tar ca 5 år fra de er larver til de er ferdig utviklet, og det er i denne perioden de gjør mest skade på trevirket (Bakke *et al.* 1998). Det er yteveden av furu som stort sett blir angrepet, men gran kan også være utsatt. Yteved er den ytre delen av stammetverrsnittet, og det er her vann- og næringstransporten foregår (Eikenes 2002). Dette gjelder for trær i vekst, men angrepene forekommer også i konstruksjoner. Konstruksjoner av furu kan beskyttes mot angrep ved impregnering med et egnet middel. I tillegg finnes bestrykningsmidler for bruk mot insekter som alternativ for trykkimpregnert tre, men disse er lite brukt i Norge hvor insektproblemene er mindre enn i sørlige deler av Europa.

Stokkmaur

Kjennetegnet for denne insektarten er uregelmessige ganger og kamre i trevirket som den benytter som bolig. Fordi stokkmauren ikke benytter virket som næring, vil trykkimpregnering med giftstoffer ikke ha noen virkning. Det er tidligere funnet reder av stokkmauren i kreosotimpregnerte stolper. En befruktet hunn kan danne et samfunn i en råteangrepet bjelke. Etterhvert som dette samfunnet vokser i størrelse, vil maurene okkupere friskt trevirke (Bakke *et al.* 1998). Bruken av kontaktgifter er effektivt, men det er strenge restriksjoner på slike midler (Statens Vegvesen 1993b).

4.3.6 Oppsprekking

Sprekker vil oppstå i trevirket selv om det benyttes impregnert virke. Trevirket vil ta til seg vann i nedbørsmengder, og ved tørrvær vil dette forsvinne. Disse endringene i vanninnhold vil føre til volumendringer i virket (S.K.I. 2003). Dette vil føre til sprekkdannelser over lengre tid. Tverrsnittet vil få en redusert bæreevne enn hva som var lagt til grunn for dimensjoneringen. Når bæreevnen skal beregnes må en derfor ha i bakhodet at impregnert virke ikke er evigvarende.

4.3.7 Forbindelsesmidler

Bolter, skruer og tømmerbindere som er av ubehandlet stål vil være utsatt for korrosjonsangrep. Derfor har alle typer forbindelsesmidler som blir benyttet idag tilfredsstillende korrosjonsbeskyttelse (S.K.I. 2003).

4.3.8 Betongkonstruksjoner

Skader og nedbrytninger vil også forekomme på betong. Denne type byggemateriale har som oftest lenger levetid enn treverk, og stål kan stilles nærmere betong enn trevirke når det gjelder levetid. Typiske skader på betong er risskader, altså "sår" som kan oppstå i betongen ved uforsiktighet med redskaper etc. Treffer rissene armeringen kan dette få alvorlige følger. Konsekvensene av disse rissene avhenger av størrelsen på "sårene". Normale riss er 0,15 – 0,35 mm (S.K.I. 2003). Disse vil "gro igjen" av seg selv ved at smuss og rust dannes i risset og det vil lukkes etterhvert. Korrosjonsprosessen som oppstår vil kunne stoppe helt opp. Skadene vil også avhenge av tykkelsen på betongoverdekningen. Jo lenger avstanden inn til armeringen er, jo mindre er sjansene for korrosjonsdannelse (S.K.I. 2003).

Rissene kan enten krysse - eller forekomme langs armeringen. Korrosjonen som oppstår ved kryssende riss berører et mindre område og faren for utsprenging av betongoverdekningen er mindre. Langsgående riss blottet som regel et større område av armeringen, som vil føre til kraftigere angrep (S.K.I. 2003). Betongens overdekning er derfor meget viktig i denne sammenheng.

4.3.9 Korrosjonshindrende arbeid på stålkonstruksjoner

Korrosjonsangrepene kan være massive i stålkonstruksjoner, men det er noen tiltak som kan utføres for å øke levetiden for stålet betraktelig. Hvis disse arbeidene blir utført før montering vil det gå lenger tid før behovet for vedlikehold oppstår. Blir det utført etter montering vil behandlingen være mindre effektiv. Overflatebehandlingene er:

- Varmforsinking
- Sprøytetforsinking
- Malingsbehandling

Varmforsinking foregår ved at stålet rengjøres grundig og senkes ned i et bad bestående av smeltet sink, derfor navnet varmforsinking. Belegget som oppstår, danner et sjikt med tykkelse på 80 - 120 my, dette tilsvarer 0,08 - 0,12 mm (S.K.I. 2003). Resultatet er en sterk korrosjonshindrende effekt. Det må ikke utføres arbeid som sveising eller boring etter forsinkingen, da dette vil svekke rustbeskyttelsen på slike steder. Denne operasjonen kan bare utføres før monteringen. Konstruksjonen må kunne deles opp i mindre deler, da størrelsen på sink - karene er begrenset (S.K.I. 2003).

Sprøyteforsinking utføres ved sprøyting av ett eller flere lag med smeltet sink (S.K.I. 2003). Konstruksjonen kan ha ubegrenset størrelse, da anleggene for denne type arbeid er både stasjonære og mobile. Denne utførelsen har også best virkning dersom den utføres før montering, slik at alle flater kan få utført nøyaktig behandling. Eksisterende konstruksjoner kan bare få behandling på steder som er eksponert (S.K.I. 2003).

Malingsbehandling er den operasjonen som lettest kan utføres etter montering. Som regel er det vanlig å male før montering, men det kan også utføres etter anleggelse. Kravene til helse og miljø har blitt strengere de siste årene, derfor er noen tidligere malingstyper blitt utelukket, for eksempel blymønje. Epoxy - baserte malinger er produkter som er mer miljøvennlige og som har tatt over markedet (S.K.I. 2003). Effekten av disse er også bedre.

4.3.10 Vedlikehold trekonstruksjoner

Som for stål kan også treverk beskyttes med overflatebehandling. Dette betyr påføring av forskjellige typer treoljer eller maling.

Aktuelle metoder er:

- Trykkimpregnering
- Overflatebehandling
- Tildekking med beslag

Etter 2002 ble det forbudt med bruk av Arsenikk i trykkimpregnering (S.K.I. 2003), og dette er erstattet med en impregnering som er mer miljøvennlig. Effekten av denne nye metoden er ikke fullt så god som den forrige, levetiden for trevirket blir noe kortere. Trykkimpregnering

er en vedlikeholdsmetode som bare er aktuell i forbindelse med nyanleggelse av bro eller utskifting av eksisterende broer.

Overflatebehandling foregår ved påføring av olje eller andre oljebaserte produkter, noe som vil forlenge trevirkets levetid. Denne behandlingen vil hindre vann i å trenge inn i trevirket, noe som også vil redusere oppsprekking. Trykkimpregnert trevirke vil også nyte godt av en slik behandling (S.K.I. 2003). Denne metoden bør utføres før eller under byggefasen.

Legging av beslag på utsatte steder er en annen mulighet for å hindre nedfukting. Med beslag menes her bruk av kobber. Bruk av beslag er lite utbredt på skogsbilvegbruer, det er kostbart og lite estetisk, men det er en metode som er interessant. For eksempel kan det også være en fordel å legge en pappstrimmel oppå hver tverrbærer, under slitedekket, slik at nedfuktingen av tverrbærerne blir redusert.

Et sentralt moment når det gjelder broer er FDV. Dette står for forvaltning, drift og vedlikehold, som betyr å ha et systematisk tilsyn med et objekt ut ifra økonomi, bruk og funksjonsdyktighet (S.K.I. 2003). Hensikten med dette er å sikre at broene er i forsvarlig stand og at de tåler påkjenningene de utsettes for.

4.3.11 Reparasjonsmetoder for betong

Disse reparasjonsmetodene kalles mekanisk reparasjon og består av følgende operasjoner: (Alle punkter er hentet fra S.K.I. 2003).

1. Merking av skadene
2. Rengjøring av korrodert armering og sårflater
3. Forsterking/innlegging av ny armering
4. Påføring av korrosjonsbeskyttelse
5. Påføring av heftbro/forvanning
6. Mørtling/utstøping
7. Etterbehandling

- 1) Å merke skadene som er oppstått er entreprenørens oppgave dersom arbeidet settes bort. Entreprenøren skal vurdere skadeårsaker og skadeomfanget. Dette foregår gjennom tilstandsanalyser.
- 2) Er armeringen korrosjonsangrepet skal denne rengjøres til blank armering. Graden av rengjøring kan variere, dette avhenger av skadeårsak og om mekanisk reparasjon er en del av annen reparasjonsmetode (elektrokjemisk metode).
- 3) Er armeringen svekket (tverrsnittsreduksjon), eller korrodert bort, må dette erstattes med ny armering. Armeringen må være av samme diameter som opprinnelig armering. Hvis armeringen i bærende elementer er svekket må statiske vurderinger gjennomføres.
- 4) Korrosjonsbeskyttelsen må påføres på rengjort armering. Beskyttelsen bør være sementbasert, og det er viktig at denne også blir påført på baksiden av armeringen. Rengjort armering må snarest mulig bli påført beskyttelse. Er det snakk om sprøytebetong, kan korrosjonsbeskyttelsen utelates.
- 5) Poenget med forvanningen er å gi en betongoverflate som er svakt sugende når heftbroen påføres. Heftbro er en form for lim som binder reparasjonsmaterialet og underlaget sammen (Rescon 2002). Heftbroen skal smøres inn i underlaget, og denne må ikke tørke/herde før påføring av ny mørtel.
- 6) Reparasjonsmørtelen må legges vått i vått med heftbroen, og påføres lagvis hvis dette er nødvendig. Hele såret må fylles, og det er viktig å fylle bak armeringen. Pussing/slamming kan utføres hvis det er estetiske behov.
- 7) Straks etter reparasjonen er utført må flatene beskyttes mot uttørking. Enten ved hjelp av ettermanning, tildekking med plastfolie eller med en membran herder.

5 MATERIALE OG METODER

5.1 LITTERATURSØK

Mye av informasjonen som er gitt i materiale - og metode delen kommer gjennom telefonsamtaler og personlige møter med leverandører og folk som har erfaring på områdene. Disse personene er nevnt i personlige meddelelser og møter etter referanser.

5.2 DE REGISTRERTE BROENE

Det ble utført befaringer på 7 broer i Ringerike kommune 24/10 - 2005 etter anbefaling fra førstekonsulent ved Ringerike Landbrukskontor, Terje Juelsrud. I tillegg ble det utført en befaring på 4 broer i Modum kommune 27/2 - 2006 etter anbefaling fra skogsjefen i kommunen, Dag Præsterud. Alle broene ble nøye inspisert, spesielt i underkant, da det er her skadene som regel oppstår. Det ble tatt bilder, og diverse registreringer og målinger ble notert ned. Tilstand og eventuelle skader blir omhandlet under punktene.

Registreringene er som følger:

- Hvilken type konstruksjon, både hovedbæresystem og sekundærbæresystem
- Hvilken type landkar

Målingene er som følger:

- Broens lysåpning
- Broens totalbredde
- Broens kjørebredde
- Tykkelsen på sekundærbæresystemet
- Høyden på eventuelt rekkverk/skreensekant

Under presenteres alle broene med de ovennevnte registreringene og målingene.

Bro 1 - 7 tilhører Ringerike kommune, mens bro 8 - 11 tilhører Modum kommune.

5.2.1 Bro 1

Prefabrikerte betongbjelker med støpt betongplate



Bilde 4: Bro 1, prefabrikerte betongbjelker med betongplate (Fredrik C. Løvenskiold 2006)

- 4 stk prefabrikerte bjelker med betongdekke
- Støpt landkar begge sider
- 8 m lysåpning
- 3,3 m totalbredde
- 3,3 m kjørebredde
- 18 cm støpt betongplate
- Ingen rekkverk/skrensekant

Det er ingen form for rekkverk eller skrensekant, noe som bør utbedres. Det er i dag ingen krav til høyde på skrensekant eller rekkverk. Brobredden er 3,3 m, dette holder ikke mål til dagens krav for broer (LD 1997).

Broen er i bra forfatning, bortsett fra noen sprekker i landkar og bjelker. Det finnes også enkelte støpesår i landkarene, og det er flere steder hvor overdekningen er for tynn slik at armeringen kommer til syne. Dette bør utbedres, se bilde 5.



Bilde 5: Støpesår og for liten overdekning. Det resulterer i korrosjon på armeringen (Fredrik C. Løvenskiold 2006)

5.2.2 Bro 2

H – bjelker av stål med tredekke



Bilde 6: Bro 2, H – bjelker av stål med tredekke (Fredrik C. Løvenskiold 2006)

- 4 stk H – bjelker av stål med tverrliggende tredekke
- Støpt landkar på fjell ene siden, mens det andre landkaret er laget av tømmer og stein
- 8 m lysåpning
- 3 m totalbredde
- 2,7 m kjørebredde
- 15 cm tykt tredekke, 3 cm mellomrom

- 1 m høyt rekkverk av trevirke

Denne type bro er en meget vanlig konstruksjon og en grei måte å bygge bro på.

Det er mye overflaterust på stålbjelkene og tredekket har antydninger til misfarging og råte.

Landkaret på den ene siden er av støpt betong på fjell, mens på den andre siden er det satt opp en støttevegg av rundvirke og fylt stein bak. Rundvirke er tømmer som bare er kappet i passende lengder, men ikke behandlet på noen annen måte. Det sier seg selv at levetiden for dette virket blir kort. Rundtømmeret er angrepet av råte, og det kan være fare for at bakfyllingsmaterialet trenger seg gjennom støtteveggen, se bilde 7. Rekkverket og hjulavviser er også angrepet av råte. Det er ytterst sjelden at det finnes både rekkverk og hjulavviser på samme konstruksjon, men i dette tilfellet bør det være slik da det er forholdsvis høyt fall ned til elven. Selve hovedbæresystemet virker solid, men landkaret av stein og rundvirke bør absolutt revurderes.



*Bilde 7: Landkar av rundvirke med bakfylling
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

5.2.3 Bro 3

H – bjelker av stål med tredekke



*Bilde 8: Bro 3, H – bjelker av stål med tredekke
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

- 3 stk H – bjelker av stål med tredekke
- Støpt landkar begge sider
- 11 m lysåpning med opplagring i elveleiet
- 4 m totalbredde
- 3,3 m kjørebredde
- 10 cm tykt tredekke, ingen mellomrom
- 1 m høyt rekkverk av trevirke

Dette er en spesiell brokonstruksjon fordi den har to spenn. En slik brotype er det ikke mange av på norske skogsbilveger.

Selve hovedbæresystemet er i god forfatning, bortsett fra at det er mye overflaterust på bjelkene, se bilde 9. Sekundærbæresystemet er også i grei tilstand. En ulempe her er at tredekket ikke er lagt med mellomrom. Dette fører til at organisk materiale, grus og støv blir liggende slik at det blir ansamling av vann. Over tid vil dette bli et yndet voksested for gress, og trevirket vil fort bli angrepet av råte.

Ved opplagringen på landkarene ligger endene på H – bjelkene i kontakt med jord. Dette vil, som nevnt i kapittel 4.4.1 fort føre til korrosjon og redusere levetiden for stålet, se bilde 10.

Pilarene i elveleiet er fortsatt dekket av forskaling, og disse bør vurderes med tanke på undergraving.



*Bilde 9: Hovedbæresystem med opplagring på pilarer
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*



*Bilde 10: H – bjelkene ligger i kontakt med jord
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

5.2.4 Bro 4

Prefabrikerte betongbjelker med tredekke



Bilde 11: Bro 4, prefabrikerte betongbjelker med tredekke (Fredrik C. Løvenskiold 2006)

- 2 stk H – bjelker av betong med tverrliggende tredekke
- Støpt landkar begge sider
- 8,5 m lysåpning med opplagring i elveleiet
- 3 m totalbredde
- 3 m kjørebredde
- 15 cm tykt tredekke, ingen mellomrom
- Ingen rekkverk/skrensekant

Denne broen er i meget dårlig forfatning. Det er betydelige sprekker i betongbjelkene, se bilde 13. Avstanden ned til vannføringen er liten og ved flom kan det være fare for at broen forsvinner. Brokaret som fungerer som opplagring i elveleiet er på vei til sammenbrudd. Det er tydelige spor etter undergraving og sprekker i betongen, se bilde 12. Brokaret er forsterket i senere tid, men dette ser ut til å være av liten betydning.



Bilde 12: Brokar i dårlig forfatning, sprekker og undergraving (Fredrik C. Løvenskiold 2006)

Sekundærbæresystemet som består av gamle jernbanesviller er sterkt angrepet av råte. Tredekket er lagt uten mellomrom.



Bilde 13: Her er tydelige sprekker i de prefabrikerte betongbjelkene (Fredrik C. Løvenskiold 2006)

5.2.5 Bro 5

Plasstøpt betongplatebro



*Bilde 14: Plasstøpt betongplatebro
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

- Plasstøpt betongplatebro
- Støpt landkar begge sider
- 2,5 m lysåpning
- 3,4 m totalbredde
- 3 m kjørebredde
- 26 cm tykk betongplate
- 10 cm høy skrensekant

Denne broen har liten lysåpning og er på grensen til hva man betegner som bro. Landkarene er i grei forfatning, de er støpt i betong og sprengstein er fylt inntil. Det er ingen antydninger til sprekker eller skader i konstruksjonen. Dette er en brotype hvor hovedbæresystemet og sekundærbæresystemet inngår i samme konstruksjon. Landkaret på den ene siden er forsterket, noe som fører til mindre lysåpning.

5.2.6 Bro 6

H – bjelker av stål med tre- og betongdekke



Bilde 15: H – bjelker av stål med tre- og betongdekke (Fredrik C. Løvenskiold 2006)

- 2 stk H – bjelker av stål med tre- og betongdekke
- Landkar av fjell begge sider, ene landkar utvidet i betong
- 4,5 m lysåpning
- 5,1 m totalbredde
- 4,5 m kjørebredde
- 50 cm tykt sekundærbæresystem av trevirke og betong
- 40 cm skrensekant

Dette er en tradisjonell brotype som hovedsakelig består av H – bjelker i stål med tredekke, men som har blitt utvidet i bredden i senere tid. Breddeutvidelsen er utført i betong. Det ene landkaret er utvidet med 1,5 m, og det er støpt ny betongplate over hele det gamle sekundærbæresystemet av trevirke. Det vil si at den opprinnelige broen i treverk hadde en totalbredde på 3,6 m. Broen har ingen tegn til ytre skader og hele konstruksjonen er godt utarbeidet og er meget solid.



*Bilde 16: 1,5 m breddeutvidelse utført i betong
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

5.2.7 Bro 7

Plasstøpt betongplatebro



*Bilde 17: Plasstøpt betongplatebro
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

- Plasstøpt betongplatebro
- Støpt landkar begge sider
- 3,8 m lysåpning
- 3,8 m totalbredde
- 3.8 m kjørebredde
- 23 cm tykk betongplate

- Ingen rekkverk/skrensekant

Dette er også en bro hvor sekundær- og hovedbæresystem inngår i samme konstruksjon.

Brokarene her er støpt i betong på begge sider og de er i grei tilstand.

5.2.8 Bro 8

H – bjelker av stål med betongdekke



*Bilde 18: 5 stk H – bjelker av stål med betongplate
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

- 5 stk H – bjelker av stål med støpt betongplate
- Landkar av tørrmur begge sider
- 10,3 m lysåpning
- 4,15 m totalbredde
- 3,95 m kjørebredde
- 10 cm tykk betongplate
- 1,1 m høyt rekkverk av stål

Dette er en bro som har et prekært behov for vedlikehold. Bjelkene av stål er sterkt angrepet av korrosjon. Dette er ikke bare overflaterust. På toppen av bjelkene begynner stålet å gå i oppløsning. Det er også kraftige nedbøyninger i bjelkene. Sveisepunktene for tverrstagene er preget av korrosjon, se bilde 19, og H – bjelkene ligger direkte i kontakt med jord på landkarene.



*Bilde 19: Kraftig angrep av korrosjon på H – bjelkene
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

Sveiseforbindelsene mellom bjelkene og tverrstagene er også angrepet av korrosjon, se bilde 20.



*Bilde 20: Sveiseforbindelsene mellom H - bjelker og
tverrstag er også preget av korrosjon
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

Sekundærbæresystemet av betong er i meget dårlig forfatning. Overdekningen er for liten, og i underkant av betongplata trenger armeringen gjennom betongen. Enkelte steder henger armeringsjernet i fri luft, se bilde 21. Landkarene av tørrmur er solide og har ingen synlige skader.



*Bilde 21: Armeringen trenger gjennom betongen
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

5.2.9 Bro 9

Plasstøpt betongplate



*Bilde 22: Plasstøpt betongplate
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

- Plasstøpt betongplatebro
- Landkar av tørrmur begge sider
- 3,6 m lysåpning
- 4 m totalbredde
- 3,8 m kjørebredde
- 15 cm tykk betongplate

- 33 cm skrensekant

Landkarene i tørrmur har blitt forsterket med sement i senere tid. Det har oppstått noe undergraving slik at deler av sementbelegget er borte. Noen av steinene i tørrmuren blir presset ut og dette bør utbedres snarest.

Noe dårlig overdekning på undersiden av broplata, armeringen kommer til syne og den er angrepet av korrosjon.



*Bilde 23: Lite overdekning fører til korrosjon
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

5.2.10 Bro 10

Plasstøpt betongbro



*Bilde 24: Plasstøpt betongbro
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

- Monolittisk sammenstøping av konstruksjonen
- Landkar av fjell ene side, tørrmur andre siden
- 7,7 m lysåpning
- 4,5 m totalbredde
- 4 m kjørebredde
- 16 cm tykk betongplate
- 0,5 m rekkverk

Meget solid og kraftig konstruksjon. Broen har noe kuv i kjøreretningen, dette er laget for å tåle høyere laster.

5.2.11 Bro 11

Plasstøpt betongplate



*Bilde 25: Plasstøpt betongplate
(Fredrik C. Løvenskiold 2006)*

- Plasstøpt betongplatebro
- Støpt landkar begge sider
- 3,7 m lysåpning
- 3,5 m totalbredde
- 3,1 m kjørebredde
- 27 cm tykk betongplate
- 18 cm skrensekant

Den tilhørende skogsbilvegen skal rustes opp til vegklasse 3, derfor er det viktig at denne broen utbedres eller skiftes ut slik at dagens krav blir overholdt. Broen i seg selv virker solid og trygg, bortsett fra at innkjøringsvinkelen er feil, se bilde 26.



Bilde 26: Innkjøringsvinkelen er feil i forhold til vegen (Fredrik C. Løvenskiold 2006)

RESULTATER

6 RESULTATER

Tabell 2: De registrerte broene

	TYPE KONSTRUKSJON	LYSÅPNING (m)	GODKJENT TOTAL- BREDD (min 4,0 m)	GODKJENT KJØRE- BREDD (min 3,5 m)	TYKKELSE SEKUNDÆR- SYSTEM (cm)	SKRENSE- KANT (cm)	REKK- VERK (cm)	LANDKAR
BRO 1	Prefabr. betongbjelker med betongplate	8	nei	nei	18	nei	nei	støpt begge sider
BRO 2	H – bjelker av stål med tredekke	8	nei	nei	15	nei	100	støpt ene side, stein andre side
BRO 3	H – bjelker av stål med tredekke	11 med brokar i elveleiet	ja	nei	10	nei	100	støpt begge sider
BRO 4	Prefabr. betongbjelker med tredekke	8,5 med brokar i elveleiet	nei	nei	15	nei	nei	støpt begge sider
BRO 5	Plassstøpt betongplate	2,5	nei	nei	26	10	nei	støpt begge sider
BRO 6	H – bjelker av stål med tre- og betongdekke	4,5	ja	ja	50	40	nei	fjell begge sider
BRO 7	Plassstøpt betongplate	3,8	nei	ja	23	nei	nei	støpt begge sider
BRO 8	H – bjelker av stål med tredekke	10,3	ja	ja	10	nei	110	tørrmur begge sider
BRO 9	Plassstøpt betongplate	3,6	ja	ja	15	33	nei	tørrmur begge sider
BRO 10	Plassstøpt betongplate	7,7	ja	ja	16	nei	50	fjell ene side, tørrmur andre side
BRO 11	Plassstøpt betongplate	3,7	nei	nei	27	18	nei	Støpt begge sider

Ut fra de elleve broene som er presentert over er to av dem plukket ut for videre beregninger. Dette gjelder bro nr 7 og bro nr 8. Grunnen til at disse er valgt ut er først og fremst prekært behov for utskifting, og at de er i aktiv bruk.

Bro nr 7 tilhører en skogsbilveg som brukes jevnlig til transport av tømmer. Broen ble bygget i 1970, og sannsynligvis etter datidens gjeldende lastforskrift, se side 15. Broen ligger 20 m fra riksveg så det er viktig å ta estetiske hensyn i betraktning. Eierne av denne broen er interessert i mulige løsninger. De er presentert under.

6.1 LØSNINGER BRO 7

6.1.1 Halvrørbro

Brokarene er i grei forfatning så de kan bli værende. Betongplata må fjernes og dermed kan halvrøret slippes pent ned mellom brokarene. Høyden fra elvebunn til oppunder betongplata er 2,1 m. Høyden fra normal vannstand til betongplata er 1,8 m. Spennvidden er 3,8 m. Dette gir areal på: $1,8 \text{ m} \times 3,8 \text{ m} = 6,84 \text{ m}^2$.

Halvrøret har største bredde på 3,4 m. Dette gir et areal beregnet ut fra formelen:

$(\pi r^2 / 2)$, som blir: $(3,14 \times (1,7\text{m})^2) / 2 = 4,53 \text{ m}^2$. Differansen i areal for fri sikt blir: $6,84 \text{ m}^2 - 4,53 \text{ m}^2 = 2,31 \text{ m}^2$.

Det er viktig å ta dette i betraktning når en vurderer bruk av halvrør. Hvis vannføringen ved flomperioder kan bli høy må dette tas med i vurderingen av bruk av halvrør. Det kan ha stor betydning å miste noe av lysåpningen hvis en blir utsatt for flom.

Halvrøret må legges på fundamenter som tar opp trykket fra rørets egenvekt, fylling og eventuell aksellast. Det er flere muligheter for slike fundamenter, alt avhengig av priser. Det er mulig å bestille ferdigfundamenter fra Østbye Betong ved Elverum. En annen mulighet er å anlegge halvrøret på Svalbard – rekkverk. Dette er rette føringsskinner av stål som brukes til rekkverk ved fylkesveger. Disse har en buet form som gjør at halvrøret vil ligge stødig nede i buen. Rekkverkene leveres i bredder på 160 og 310 mm. Det er viktig at rekkverkene legges på flat elvebunn slik at lasten fordeles jevnt og at det ikke forekommer deformasjoner.

Godstykkelser er 6 mm, og de er varmgalvanisert med en tykkelse på 0,08 mm. I følge senioringeniør Frode Oset ved Statens Vegvesen vil disse rekkverkene ha en levetid på ca 20

år når de ligger under vann. Dette er avhengig av vannets surhetsgrad (pH) og abrasjon. Er det mye frakt av sand og småstein langs elvebunnen vil dette være med å slite ned galvaniseringsbelegget, og dermed forkorte levetiden. I dette tilfellet er det lite fall og abrasjonen er av liten betydning. Rekkverkene kan også legges over normal vannstand, slik at levetiden forlenges. De kan legges på en tørrmur bygget av stein. Det er da viktig at steinene har god form slik at de blir liggende godt og stødig.

Det er også mulig å bruke gamle impregnerte jernbanesviller som fundamenter som legges direkte på elvebunnen. Disse vil også ha en begrenset levetid ettersom de blir liggende under vann. Rekkverkene kan da legges direkte på svillene. Bruk av slike sviller er en meget billig løsning, men levetiden er deretter.

Det er selvsagt også mulig å lage slike fundamenter selv. Dette kan enten gjøres på stedet ved hjelp av forskaling og sement eller støpe dem under tak og frakte dem til stedet.

Svalbard – rekkverkene er langt rimeligere i innkjøp, og de er enklere å arbeide med enn fundamenter av betong. De behøver ikke noe forankring i elvebunnen da egenvekten fra halvrøret og etterhvert overfylling vil holde dem på plass. Det er fundamentene av stål og betong som tas med i videre beregninger.

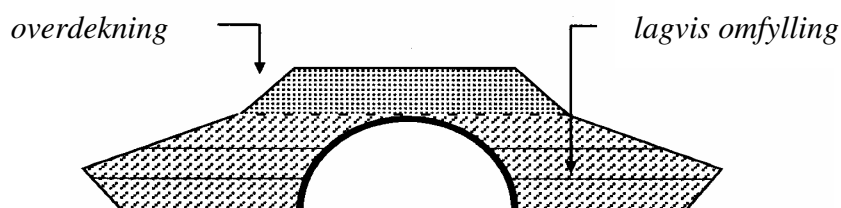
I dette tilfellet er vannføringen forholdsvis liten, så det vil ikke være noe problem med anleggelsen av fundamentene. Brokarene blir som sagt stående, så fundamentene legges inntil karene langsmed bekkens lengderetning. Svalbard – rekkverkene produseres i 6 m lengder, så det er ikke noe behov for skjøting av disse. Betongfundamentene produseres i 1 m lengder så de må legges etter hverandre slik at hele anleggsbredden blir dekket. Slike fundamenter trenger ikke å festes eller forankres i hverandre (Viacon 2006).

Totalbredden på dagens bro er 3,8 m. Kjørebredden blir den samme da det ikke er noen form for skrensekant eller rekkverk. Gjeldende minstekrav til kjørebredde er 3,5 m for broer. Dagens krav til vegbredde er minimum 4 m for vegklassene 3, 4 og 5, dette er inkludert vegskuldre (LD 1997).

Da bredden mellom brokarene (lysåpningen) er 3,8 m, vil det være mest gunstig å velge et halvrør med største bredde på 3,4 m. Alle beregninger som er satt opp i det følgende er for denne dimensjonen. Da halvrøret legges midt mellom brokarene vil det gjenstå 20 cm på hver side mellom brokaret og halvrøret. Dette er en gunstig bredde med tanke på komprimering av omfyllingsmaterialet. Denne bredden vil bli større jo lenger opp mot kjørebanen en

kommer. Så fort det er bredde nok kan omfyllingsmaterialet komprimeres med en platevibrator. Det er også muligheter for komprimering med skuffen på gravemaskinen, men dette kan fort føre til skader på halvrøret. Det vil bli en mer nøyaktig og skånsom komprimering med platevibrator, men her må en ta priser for leie av slikt utstyr i betraktning. Gravemaskin er man avhengig av i dette tilfellet for å fjerne dagens betongplate, eventuelt renske/planere elvebunnen der fundamentene skal ligge og for å løfte på plass halvrøret.

Omfyllingsmaterialet skal legges ut lagvis med maksimal lagtykkelse på 0,3 m i en sone på 1,5 m fra halvrøret. Utenfor denne 1,5 m sonen kan maksimal lagtykkelse være 0,6 m. Maksimal nivåforskjell på hver side av halvrøret skal være 0,3 m innenfor 1,5 m sonen. Utenfor 1,5 m sonen skal maksimal nivåforskjell være 0,6 m (Viacon 2006). Dette vil si at lagene skal legges ut jevnt på begge sider av halvrøret med en maksimal høydeforskjell på 0,3 og 0,6 m ettersom lagene komprimeres (Statens Vegvesen 2005), se figur 23.



Figur 23: Omfylling og overdekning av halvrør (Viacon 2006)

Omfyllingsmaterialet må ikke ha kornstørrelse over 80 mm (Viacon 2006). Det er også meget viktig at massene ikke har skarpe kanter slik at de kan deformere eller skade stålet. Massene må heller ikke inneholde frosne materialer. Slike masser vil oppta et mindre areal når de tiner. Og det kan føre til luftlommer og i verste fall setninger. Setning er massenes evne til å pakkes og dermed innta den tetteste struktur (LD 1997). Hvis ikke omfyllingsmaterialet komprimeres godt nok vil det føre til setninger som fører til dumper i vegbanen og i verste fall deformasjoner i røret.

Et godt egnet omfyllingsmateriale er puk. Pukk er knust steinmateriale som har fraksjonen 4 – 80 mm. Et vanlig sortiment for puk er 32 – 63 mm (LD 1997). Dette materialet legges da i en sone på 0,3 m fra halvrøret. Utenfor denne sonen kan omfyllingsmaterialet ha større fraksjon, for eksempel kult. Kult er knust steinmateriale som har fraksjonen 80 – 300 mm.

RESULTATER

85 – 150 mm er et vanlig sortiment (LD 1997). Dette laget komprimeres og vil primært være bærelaget. Slitelaget legges på toppen av dette og består som regel av grus i fraksjonen 0 – 32 mm. Dette laget komprimeres og skal da ha minimum tykkelse på 10 cm (LD 1997). Så en god fordeling rundt halvrøret vil være et lag på 30 cm med pukk, et lag med kult på 20 cm og et slitelag av grus med 10 cm tykkelse ferdig komprimert. Dette er tykkelsen slitelaget skal ha i henhold til LD 1997.

Hvis det er behov kan det legges en tørrmur av steinblokker som følger halvrørets form. En slik tørrmur kan vurderes der det er stor fare for flom, slik at ikke vannmassene drar med seg omfyllingsmaterialet. Tørrmuren må da bygges i hver ende av røret (Oset 2006).

Behovet for omfyllingsmasser blir som følger:

0,3 m tykkelse av grus (32 – 64 mm); $0,3 \text{ m} \times 3,8 \text{ m} \text{ lengde} \times 4 \text{ m bredde} = 4,6 \text{ m}^3$, egenvekt 1500 kg/m^3 . $1500 \text{ kg/m}^3 \times 4,6 \text{ m}^3 = \mathbf{7 \text{ tonn (32 – 64 mm)}}$

0,2 m tykkelse av kult (100 – 200 mm); $0,2 \text{ m} \times 3,8 \text{ m} \text{ lengde} \times 4 \text{ m bredde} = 3 \text{ m}^3$, egenvekt 1500 kg/m^3 . $1500 \text{ kg/m}^3 \times 3 \text{ m}^3 = \mathbf{4,5 \text{ tonn (100 – 200 mm)}}$

0,1 m tykkelse av slitelag (0 – 32 mm); $0,1 \text{ m} \times 3,8 \text{ m} \text{ lengde} \times 4 \text{ m bredde} = 1,5 \text{ m}^3$, egenvekt 1850 kg/m^3 . $1850 \text{ kg/m}^3 \times 1,5 \text{ m}^3 = \mathbf{2,8 \text{ tonn (0 – 32 mm)}}$

Alle egenvekter er hentet fra Myrvang AS 10/3 – 2006.

Behovet for omfyllingsmaterialet blir likt for begge rørtyper, og totalprisen for massene er vist i tabell 2. Denne kostnaden vises igjen i tabellene for anleggskostnadene.

Tabell 3: Kostnader for omfyllingsmaterialer, priser er hentet fra Myrvang 10/3 - 2006

	Enhet	Enhetskostnad	Total mengde	Totalkostnad
Grus (32 – 64 mm)	tonn	80 kr/tonn	7 tonn	560 kr
Kult (100 – 200 mm)	tonn	77 kr/tonn	4,5 tonn	347 kr
Slitelag (0 – 32 mm)	tonn	99 kr/tonn	2,8 tonn	277 kr
Transport *	tonn	100 kr/tonn	14,3 tonn	1 430 kr
			Sum kostnader	2 614 kr

*: Forutsetter en distanse på 4 mil

RESULTATER

Priser på produkter

Tabell 4: Pris fundament av stål, priser er hentet fra Jan Kuraass, Norsk Stål AS 8/3 - 2006

Fundamenter av stål	
Svalbard – rekkverk 310 mm	
6 mm godstykkelse	
Varmgalvanisert 0,08 mm belegg (sink)	
Leveres i 4 m lengder	
Pris pr m: 840kr / 4 m = 210 kr	
Leveres i 4 m lengder	
Behov; 10 m totalt	
210 kr x 10 m	2 100 kr
Sum kostnad	2 100 kr

Tabell 5: Pris fundament av betong, priser er hentet fra Roger Myrvold, Østbye betong AS 8/3 - 2006

Fundamenter av betong	
5 m lengder	
5000 mm x 800 mm x 220 mm	
Pris pr m: 4250 kr / 5 m = 850 kr	
Leveres i 5 m lengder	
Behov; 10 m totalt	
850 kr x 10 m	8 500 kr
Sum kostnad	8 500 kr

RESULTATER

Tabell 6: Pris Trenchcoat halvrør, priser er hentet fra Sten Grosberghaugen, Viacon AS 8/3 - 2006

Trenchcoat halvrør 3400 mm største bredde 3,5 mm ståltykkelse 177,5 kg/m Korrugering 125 x 26 mm Pris pr m ferdig levert Nes i Ådal: 4 330 kr Behov; 5 m lengde rør 4 330 kr x 5 m:	21 650 kr
Sum kostnad	21 650 kr

Tabell 7: Pris Helcor halvrør, priser er hentet fra Sten Grosberghaugen, Viacon AS 8/3 - 2006

Helcor halvrør 3400 mm største bredde 3,5 mm ståltykkelse 346 kg/m Korrugering 125 x 26 mm Pris pr m ferdig levert Nes i Ådal: 3 460 kr Behov; 5 m lengde rør 3 460 kr x 5 m	17 300 kr
Sum kostnad	17 300 kr

Tabell 8: Pris arbeid og transport, priser er hentet fra Samuelsen og Reiersgård 12/3 - 2006

Pris arbeid og transport Pris gravemaskin (8 tonn) m/fører pr time: 550 kr Riving av eks. betongplate: 3 timer x 550 kr Pris transport/rigging Nes i Ådal Arbeid: 15 timer x 550 kr	1 650 kr 2 000 kr 8 250 kr
Total pris	11 900 kr

RESULTATER

Prisene er hentet fra to entreprenører i Ringerike kommune; Jan Samuelsen, Fossum AS og Kjell Olav Reiersgård. De opererer med like priser. Prisene for maskin m/fører avhenger av størrelsen på gravemaskinen, i dette tilfellet er det tilstrekkelig med en 8 tonns gravemaskin. Skulle det være behov for en større maskin, < 20 tonn, vil prisen øke til 625 kr time (Fossum AS & Reiersgård AS 2006). Alle ovennevnte priser er gitt 12/3 - 2006 og er eksklusiv merverdiavgift.

Tabellene under viser alle kostnader knyttet til anleggelse av halvrørene med forskjellige fundamenter. Det er disse kostnadene som er verdt å sammenlikne.

Tabell 9: Totalkostnad Trenchcoat, fundamenter av stål

Anleggelse av Trenchcoat med fundamenter i stål	
Pris rør:	21 650 kr
Fundamenter i stål (Svalbard - rekkverk):	2 100 kr
Omfillingsmateriale:	2 614 kr
Arbeid:	11 900 kr
Sum kostnad	38 264 kr

Tabell 10: Totalkostnad Trenchcoat, fundamenter av betong

Anleggelse av Trenchcoat med fundamenter i betong	
Pris rør:	21 650 kr
Fundamenter i betong:	8 500 kr
Omfillingsmateriale:	2 614 kr
Arbeid:	11 900 kr
Sum kostnad	44 664 kr

RESULTATER

Tabell 11: Totalkostnad Helcor, fundamenter av stål

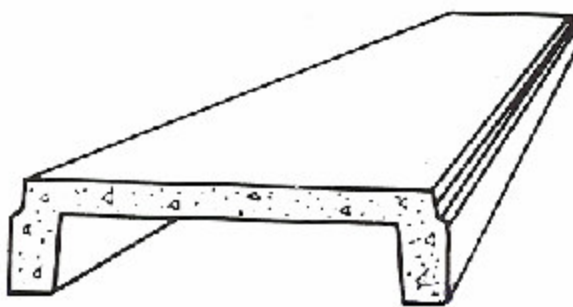
Anleggelse av Helcor med fundamenter i stål	
Pris rør:	17 300 kr
Fundamenter i stål (Svalbard-rekkverk):	2 100 kr
Omfyllingsmateriale:	2 614 kr
Arbeid:	11 900 kr
Sum kostnad	33 914 kr

Tabell 12: Totalkostnad Helcor, fundamenter av betong

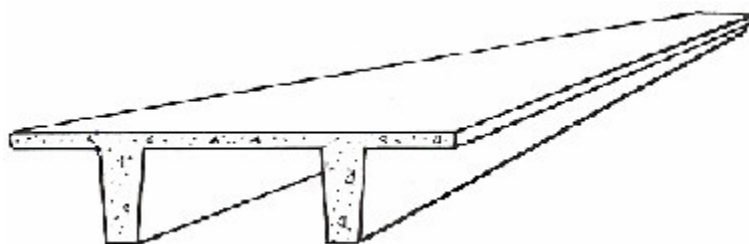
Anleggelse av Helcor med fundamenter av betong	
Pris rør:	17 300 kr
Fundamenter i betong:	8 500 kr
Omfyllingsmateriale:	2 614 kr
Arbeid:	11 900 kr
Sum kostnad	40 314 kr

6.1.2 Elementbro fra Opplandske Betongindustri

En annen løsning for denne broen er å legge elementer av betong. Slike elementer finnes i flere typer, DU – element og DT – element, se figur 24 og figur 25. I dette tilfellet er det DU – elementet som bør benyttes..



*Figur 24: DU – element
(Opplandske Betongindustri 2006)*



*Figur 25: DT – element
(Opplandske Betongindustri 2006)*

I følge Tore Jakobsen fra Opplandske Betongindustri vil det være lettere å tilpasse DU - elementer i henhold til broens bredde i dette tilfellet. Da broen i dag har en bredde på 3,8 m, vil det beste være å legge 6 elementer á 60 cm bredde og et element på 20 cm bredde. Elementet på 20 cm bredde vil da tilpasses spesielt, dette vil gi en merpris på 20 % pr. m² (Jaobsen 2006).

DT – elementene vil være mere komplisert å tilpasse fordi de har utstikkende ”vinger”, se figur 25.

Ved anleggelse av elementene trenger en ikke å fjerne den eksisterende broplata. Broplata vil være et forsterkende moment, og en kan legge de nye elementene rett oppå broplata. Det er meget viktig at det blir lagt gummibelegg mellom broplata og anleggsflatene for elementene, slik at det ikke oppstår gnisninger. Gnisningene vil føre til sår i betongen, noe som kan resultere i korrosjonsangrep i armeringen over lenger tid. Gummibeleppet leveres fra Otto Olsen AS, og kan lages og bestilles etter ønske. I dette tilfellet vil det være tilstrekkelig med 15 cm bredde og 4,3 m lengde. Tykkelsen på gummibeleppet bør minimum være 1 cm (Jakobsen 2006). Dette gir et areal på 0,645 m². Det trengs 6 stk av denne typen. Arealet totalt blir da: 0,645m² x 6 stk = 3,87 m². Dette er vist i kostnadstabellen. Da elementene legges på broplata ved siden av hverandre, vil anleggsflata bli ca 15 cm bred, derfor er gummibeleppet oppgitt med 15 cm bredde og lik lengde som elementene.

Elementene legges ut med kran fra fraktbilen, dette vil ta ca en time (Jacobsen 2006).

Dagens løsning har ingen form for rekkverk eller skrensekant. Dette er noe risikabelt, og det er muligheter for å sette opp begge deler. I noen tilfeller kan begge typer monteres, men i dette tilfellet vil kjørebredden bli for smal i henhold til kravene fra LD 1997 hvis skrensekanten anlegges. Skrensekanten har en bredde 20 cm, kjørebredden vil da bli 40 cm mindre når skrensekantene monteres på begge sider av broplata. Derfor er dette utelukket.

RESULTATER

Rekkverket vil bli montert utenfor broens kjørebredde, altså på siden av de ytterste elementene, og vil ikke redusere kjørebredden. Rekkverksstolpene har en høyde på ca 1 m og dimensjon på 80 x 80 mm (Jacobsen 2006). Disse leveres i stål og skal monteres for hver 1,5 m. Det blir da 3 stolper på hver side. Rekkverksstolpene festes ved hjelp av bolter som skrues inn i gjengehylser som støpes inn i betongpåstøpet (Jacobsen 2006).

Som langsgående bord på rekkverket kan det brukes plank i dimensjonen 22 x 148 mm. Det er tilstrekkelig med 3 bord på hver side. Lengden på disse bør være 4,5 m. Slitedekket består av et påstøp av betong med en tykkelse på 8 cm og har betegnelsen B 30, gamle C 35 betegnelsen (Jacobsen 2006). Armeringsnettet som brukes har godstykkelse på 6 - 7mm, og har betegnelsen CK 131 (Jacobsen 2006). Påstøpet fungerer også som bindeledd for elementene når dette tørker.

Elementene, påstøpet og slitelaget bygger til sammen ca 0,5 m i høyden. For å kompensere for dette må det kjøres på grus i inn- og utkjøringen på broen. Det vil være tilstrekkelig med 6 m³ grus av fraksjonen 32 – 64 mm. Egenvekten for denne fraksjonen er 1500 kg/m³ (Myrvang 2006). Dette blir totalt; $6 \text{ m}^3 \times 1500 \text{ kg/m}^3 = 9\,000 \text{ kg}$ grus (32 – 64 mm).

Slitelaget må være av fraksjonen 0 – 32 mm, og bør ha en tykkelse på 15 cm etter anbefaling fra professor Skaar. Behovet for grus til dette blir; $(B_{\text{kjørebane}} \times L_{\text{elementer}} \times T_{\text{slitelag}})$, som gir: $3,8 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 2,5 \text{ m}^3$. Egenvekten for dette materialet er 1 500 kg/m³. Dette blir da: $2,5 \text{ m}^3 \times 1500 \text{ kg/m}^3 = 3\,750 \text{ kg}$ grus (0 – 32 mm).

RESULTATER

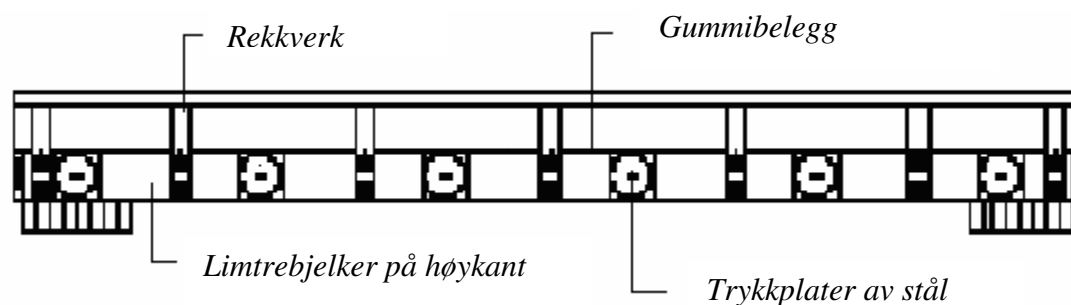
Tabell 13: Kostnader for løsning fra Opplandske Betongindustri

	Enhet	Enhetspris	Total mengde	Total kostnad
Elementer 60 cm	m ²	598 kr/m ²	15,5 m ²	9 269 kr
Elementer 20 cm	m ²	718 kr m ²	0,9 m ²	646 kr
Rekkverksstolper	stk	400 kr/stk	6 stk	2 400 kr
Gummibelegg	m ²	910 kr/m ²	3,9 m ²	3 549 kr
Armeringsnett	m ²	30 kr/m ²	16,4 m ²	492 kr
Betong	m ³	978 kr/m ³	1,3 m ³	1 271 kr
Rekkverksbord	m	18,5 kr/m	27 m	500 kr
Slitelag (0 – 32 mm)	m ³	99 kr/tonn	3,8 tonn	377 kr
Grus (32 – 64 mm)	m ³	80 kr/tonn	9 tonn	720 kr
Arbeid	t	400 kr/t	15 t	6 000 kr
Transport elementer + rekkverksstolper	mil	330 kr/mil (t/r)	7 mil	2 310 kr
Transport armeringsnett + rekkverksbord	t	300 kr/t	2,5 t	750 kr
Transport betong	m ³	216 kr/ m ³	6 m ³	1 296 kr
Transport grus *	tonn	100 kr/tonn	12, 8 tonn	1 280 kr
			Sum kostnader	30 860 kr

*: Forutsetter at distansen er 4 mil

6.1.3 Svensk limtrebro

Det er også muligheter for å anlegge en limtrebro fra Svenske Trebroar. Etter diskusjon med konstruktør Robert Holmberg, anbefaler han en limtrebro som vist i figur 26 og figur 27.

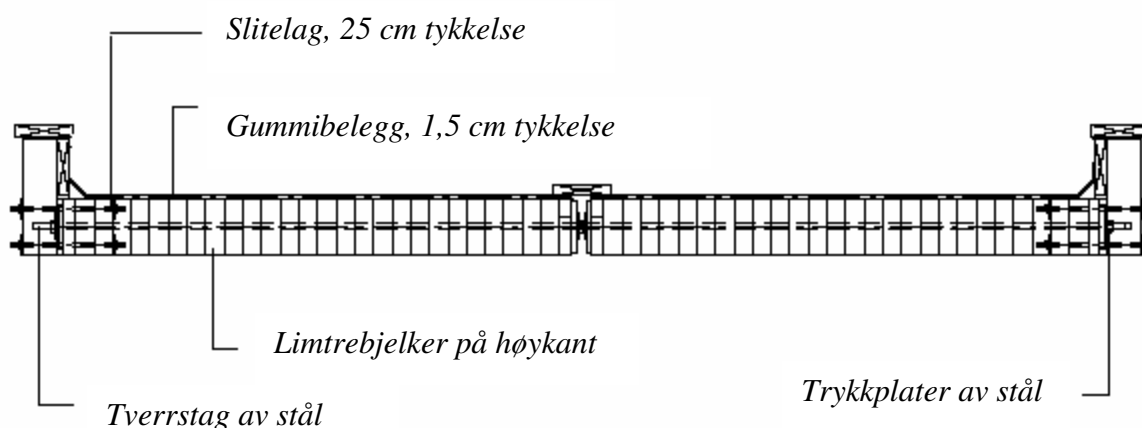


Figur 26: Slik vil limtrebroen se ut fra siden (Svenske Trebroar 2006)

Denne type bro vil bli levert i Norge i løse deler. Alt som beskrives i figur 26 er inkludert i prisene som er gitt i tabell 13.

RESULTATER

Prisene som nevnes er hentet fra Robert Holmberg i Svenske Trebroar 27/4 – 06. Alle priser er regnet om til norske kroner ut fra en kronekurs pr. 29/4 – 2006, der 100 svenske kroner tilsvarer 83,44 norske kroner. Transporten av broen vil koste ca 16 500 kr. Da regner en Østlandsområdet som leveransested. Alle priser er eksklusiv merverdiavgift



Figur 27: Tverrsnitt av limtrebro fra Svenske Trebroar (Svenske Trebroar 2006)

Gummibelegget som legges på selve broplata har en tykkelse på 1,5 mm. Det bør også legges et slitelag av sams grus med fraksjonen 0 – 32 i 15 cm tykkelse over gummibelegget. Dette blir til sammen: $(B_{kjørebane} \times L_{broplate} \times T_{slitelag})$; $4 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 2,7 \text{ m}^3$. Broens kjørebane er 4 m og lengden på den blir 4,5 m. Egenvekten av slik grus er $1,85 \text{ tonn/m}^3$, som blir: $2,7 \text{ m}^3 \times 1,85 \text{ tonn/m}^3 = 4,9 \approx 5 \text{ tonn}$.

Tabell 14: Kostnader for løsning fra Svenske Trebroar

	Enhet	Enhetspris	Total mengde	Totalkostnad
Riving av eks broplate				
Leie av graver 8 tonn	time	550 kr/time	3 timer	1 650 kr
Transport/rigg graver				2 000 kr
Broplate, alt inkl.				50 064 kr
Transport broplate				16 688 kr
Montasje	time	334 kr/time	30 timer	10 020 kr
Slitelag, grus (32 – 64 mm)	tonn	80 kr/tonn	5 tonn	400 kr
Transport grus	km	12,5 kr/km	100 km	1 250 kr
Sum kostnader				82 072 kr

6.2 LØSNINGER BRO 8

Bro nr 8 befinner seg i Modum kommune og skogsjefen i kommunen, Dag Præsterud, ønsker å se hvilke muligheter som finnes som erstatning for gjeldende konstruksjon. Det er til tider mye trafikk på denne broen, og tømmertransportørene vil ikke lenger kjøre over den.

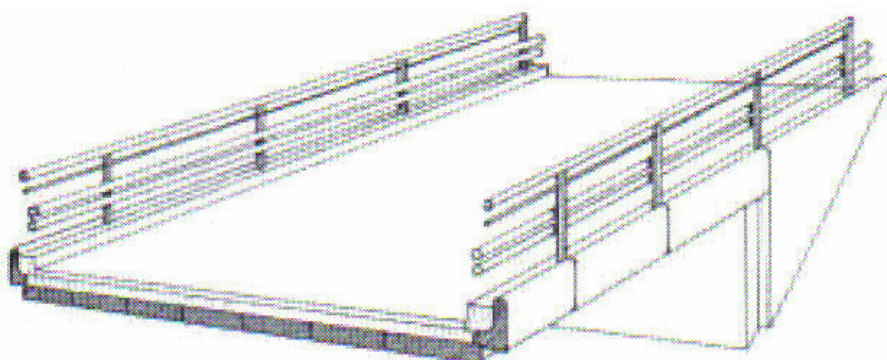
Ved riving av eksisterende broplate bør det brukes en mobilkran for å løfte bort hele konstruksjonen i en operasjon. Dette er kostbart, men effektivt. Prisene for dette arbeidet er hentet 3/5 – 2006 fra firmaet BULL T. O. AS, avd Hønefoss. Kostnadene er satt opp i tabell 14. Denne kostnaden vil være den samme for alle 3 tilfeller og vises derfor før beregningene.

Tabell 15: Rivningskostnader av eksisterende konstruksjon

	Enhet	Enhetskostnad	Total mengde	Totalkostnad
Fjerning av eks. broplate ved hjelp av mobilkran (50 tonn)	time	2255 kr/time	8 timer	18 040 kr
			Sum kostnader	18 040 kr

6.2.1 Elementbro fra Spenncon

I dette tilfellet vil det beste være å anlegge en PLA bro. Det er en bro som dannes ved hjelp av elementer som legges ved siden av hverandre, se figur 27. Det finnes forskjellige typer av disse elementene, og etter diskusjon med kundeansvarlig i Spenncon, Per Lindstadhagen, kom vi frem til PLA 300 elementer.

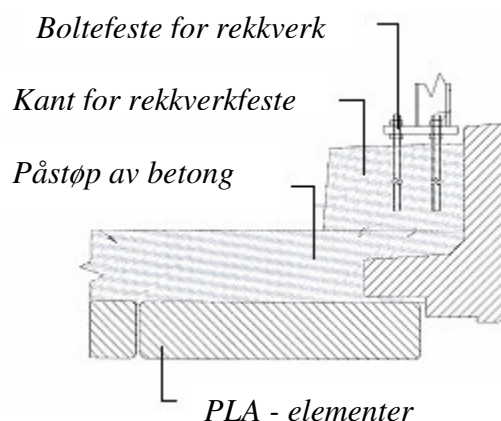


Figur 27: PLA – elementer (Statens Vegvesen 2002)

PLA - elementene dekker spennvidder fra 5 – 14,5 m, og som monteres inntil hverandre og støpes sammen med et påstøp. Benevnelsen 300 betyr at de har en høyde på 300 mm.

RESULTATER

Elementene er dimensjonert for 13 tonn aksellast (Lindstadhagen 2006). Det kreves en mobilkran på 50 tonn for å løfte på plass elementene. Et element har et areal på $10,7 \text{ m}^2$, og egenvekten er 750 kg/m^2 . Dette gir en totalvekt på $8\,025 \text{ kg/element}$. Prisen for elementene er 3500 kr/tonn . Et element har bredde på 1 m , og for å få minimum kjørebredde på $3,5 \text{ m}$ trengs det 5 elementer. $5 \text{ stk} \times 10,7 \text{ m}^2 = 53,5 \text{ m}^2$ totalt. $53,5 \text{ m}^2 \times 750 \text{ kg/m}^2 = 40\,125 \text{ kg}$. Dette gir en totalpris for elementene på; $40,13 \text{ tonn} \times 3500 \text{ kr/tonn} = 140\,455 \text{ kr}$. I tillegg kommer kantelementer som monteres sammen med påstøpet. Disse leveres i 2 m lengder og har en meterpris på $2\,800 \text{ kr}$ (Lindstadhagen 2006). Total lengde for konstruksjonen blir 11 m , og da kantelementene monteres på begge sider blir lengden totalt på 22 m . Dette blir da; $2800 \text{ kr/m} \times 22 \text{ m} = 61\,600 \text{ kr}$ for kantelementene. Utover dette må det også støpes et dekke med tykkelse på 25 cm for å holde konstruksjonen sammen og som kan fungere som slitelag. Mengde påstøp som trengs blir; $(B_{\text{kjørebane}} \times L_{\text{broplate}} \times T_{\text{påstøp}})$. Dette gir; $5 \text{ m} \times 11 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 13,75 \text{ m}^3$ betong. For å lage fester til rekkverk må det støpes en kant som vist i figur 28.



Figur 28: Kantelementer og rekkverkfeste for PLA – elementer (Statens Vegvesen 2002)

Målene på denne kanten vil være ca; $0,3 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 11 \text{ m}$. Kanten vil ha et volum på $1,32 \text{ m}^3$ og må multipliseres med 2 ettersom den blir laget på begge sider. Betongmasse for kant blir da; $1,32 \text{ m}^3 \times 2 = 2,65 \text{ m}^3$. Når denne utføres må det støpes inn gjengehylser som blir feste for boltene til eventuelle rekkverksstolper. Det må vurderes ut fra hvert enkelt tilfelle hvorvidt det skal monteres rekkverk eller om det er tilstrekkelig med skrensekant. Kantelementene som støpes inn i påstøpet pluss kanten som blir støpt for rekkverkfeste vil utgjøre en skrensekant som bør være tilstrekkelig.

RESULTATER

Levetiden for en slik bro er dimensjonert ut fra 50 år (Lindstadhagen 2006). Kostnader for anleggelse av en slik bro er vist i tabell 15:

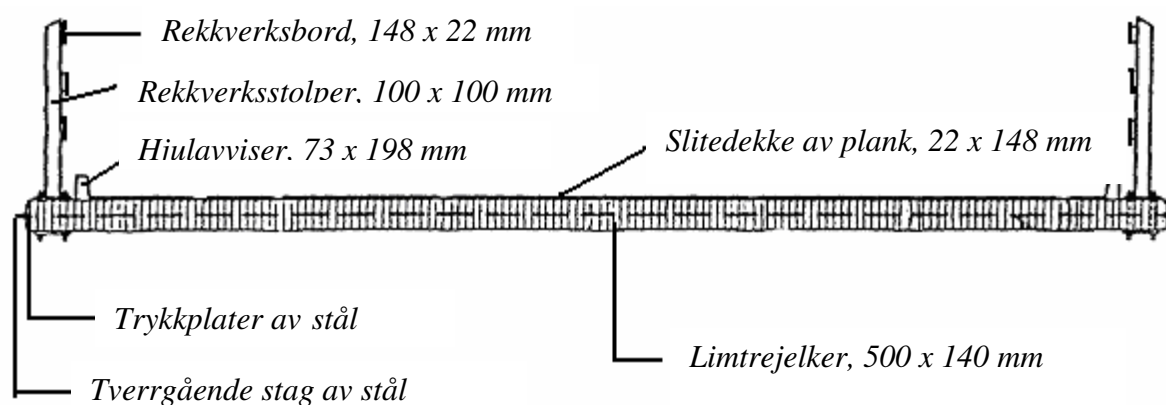
Tabell 16: Kostnader for løsning fra Spenncon

	Enhet	Enhetspris	Total mengde	Total kostnad
Fjerning av eks. broplate	kr/time	2 255 kr/time	8 timer	18 040 kr
PLA- elementer	kr/tonn	3 500 kr/tonn	5 stk (40,13 tonn)	140 455 kr
Kantelementer	kr/m	2 800 kr/m	22 m	61 600 kr
Påstøp av betong	m ³	978 kr / m ³	17 m ³	16 626 kr
Armeringsnett	m ²	30 kr/ m ²	55 m ²	1 650 kr
Transport PLA – elementer *	kr/t	80 kr/tonn	40,13 tonn	3 210 kr
Transport kantelementer *	kr/t	80 kr/tonn	9,3 tonn	744 kr
Transport betong *	kr/ m ³	216 kr/ m ³	17 m ³	3 672 kr
Mobilkran 50 tonner	kr/time	2 255 kr/time	15 timer	33 825 kr
Sum kostnader				279 822 kr

*: Transportkostnadene er forutsatt en distanse på 5 mil

6.2.2 Limtrebro

Etter diskusjon med ingeniør Harald Bjerke hos Moelven Limtre, er det mest gunstig å anlegge en tverrspent platebro. Tverrsnittet vises i figur 29.



Figur 29: Tverrsnitt av limtrebro (Neskværn 2006)

Dimensjonene på bjelkene må være 500 x 140 mm (Bjerke 2006). De er da beregnet for akseltrykk på 13 tonn og en totalvekt på 50 tonn.

For å anlegge en slik limtrebro trenger en følgende produkter:

RESULTATER

- Limtrebjelker
- Trykkplater i stål
- Stålstag (tverrstag)
- Materialer til slitedekke
- Materialer til hjulavviser
- Materialer til rekkverk, stolper og langsgående bord

Limtrebjelkene er i dimensjonen 500 mm x 140 mm (20" 5,5") og vil være 11 m lange. Bredden pr bjelke er da 140 mm og høyden er 500 mm. Broens totale bredde blir 4300 mm. Antallet blir da: **$4300 \text{ mm} / 140 \text{ mm} = 30,7 \approx 31$ limtrebjelker**. Som nevnt tidligere bør limtrebjelkene anlegges på en sville eller en form for lager på landkarene. Dette vil forlenge levetiden med tanke på råde og skader.

Trykkplatene er av galvanisert stål. Disse plasseres med en avstand på 60 cm senter til senter langsmed bjelkene. Det må multipliseres med 2 siden trykkplatene monteres på hver side av broplata. Egenvekten til stålet i trykkplatene er 8 kg/dm^3 . En trykkplate har følgende mål: 200 mm x 250 mm x 25 mm. Dette blir $1,25 \text{ dm}^3$. En trykkplate vil da veie; $1,25 \text{ dm}^3 \times 8 \text{ kg/dm}^3 = 10 \text{ kg}$. Kiloprisen for dette stålet er 40 kr (Bjerke 2006).

Antall plater blir: **$11 \text{ m} / 0,6 \text{ m} = 18,3 \approx 19 \text{ stk} \times 2 = 38$ trykkplater**.

Stålstagene må være 5 m lange. De vil da ha en utstikkende ende på 0,3 m på hver side av broplata. Dette er tilstrekkelig for å få montert mutterene og å stramme tverrstagene. Prisen for stålstagene er 100 kr/m.

Antallet blir: **$11 \text{ m} / 0,6 \text{ m} = 18,3 \approx 19$ stålstag**

$19 \text{ stk} \times 5 \text{ m} = 95 \text{ m}$ tilsammen.

Prisene for følgende trelastprodukter er regnet som gjennomsnittspriser fra trelastkjedene Maxbo og Byggmakker og gjelder pr løpemeteter. Det må fortutsettes en viss usikkerhet i prisene med tanke på rabatter for entreprenører. Alle priser er eksklusiv merverdiavgift.

Slitedekket må være impregnert, og tykkelsen bør minimum være 20 mm (Bjerke 2006). En grei dimensjon er 22 mm x 148 mm.

For å dekke hele arealet av broplata må bordene ha en lengde på 11 m. Prisen for slike bord er 18,25 kr/m.

RESULTATER

Da kjørebredden blir 3,5 m, vil antall bord bli:

$$3500 \text{ mm} / 148 \text{ mm} = 23,64 \approx 24 \text{ bord} \times 11 \text{ m} = 264 \text{ m bord slitedekke.}$$

Hjulavviserene må også være impregnerte. Dimensjonen her kan være 73 mm x 198 mm (Bjerke 2006). Disse må ha en lengde på minimum 11 m, og bør skråskjæres i hver ende for å unngå skarpe hjørner. Dette er også nødvendig med tanke på redskap som brukes ved snøbrøyting etc. Det er en hjulavviser på hver side av broplata, derfor multipliseres det med 2. Prisen for denne dimensjonen er 66,2 kr/m.

Totalt blir det: **11 m x 2 = 22 m bord hjulavviser.**

Rekkverket vil bestå av impregnerte materialer. For rekkverksstolpene vil dimensjonen være 100 mm x 100 mm (Bjerke 2006). De bør være 1,2 m høye for å ha et riktig estetisk utseende i forhold til broens bredde og for å være tilstrekkelig høye nok sikkerhetsmessig sett.

Rekkverkstolpene boltes fast til trykkplatene. Stolpene monteres på annenhver trykkplate, avstanden mellom dem blir da 1,2 m. Disse skal også monteres på begge sider av broplata og multipliseres med 2. Prisen for slikt virke er 44,6 kr/m.

Totalt trengs det:

$$11 \text{ m} / 1,2 \text{ m} = 9,16 \approx 9 \text{ stk} \times 2 = 18 \text{ rekkverkstolper} \times 1,2 \text{ m} = 21,6 \approx 22 \text{ m rekkverkstolper.}$$

Langsgående bord på rekkverket må også være impregnerte. Her bør dimensjonen være 148 mm x 22 mm (Bjerke 2006). Det er tilstrekkelig med 3 langsgående bord for hvert rekkverk. De skal minimum ha en lengde som tilsvarer lengden på limtrebjelkene. Dette avhenger også av forholdene på stedet, i dette tilfellet vil det være nok med 11 m lengder. Dette gjelder for begge sider av broplata, og multipliseres derfor med 2. Prisen er 18,25 kr/m.

Totalt blir det: **3 stk x 11 m = 33 m x 2 = 66 m bord rekkverk.**

RESULTATER

Tabell 17: Kostnader for løsning med limtrebro fra Moelven Limtre

	Enhet	Enhetspris	Total mengde	Total kostnad
Fjerning av eks. broplate	kr/time	2 255 kr/time	8 timer	18 040 kr
Trykkplater	kg	40 kr/kg	38 stk (380kg)	15 200 kr
Stålstag	m	100 kr/m	95 m	9 500 kr
Slitedekke	m	18,5 kr/m	264 m	4 884 kr
Hjulavviser	m	66 kr/m	22 m	1 452 kr
Rekkverksstolper	m	45 kr/m	22 m	990 kr
Rekkverksbord	m	18,5 kr/m	66 m	1 221 kr
Pris broplate	m ³	8 000 kr/ m ³	24 m ³	192 000 kr
Transport limtrebro	km	12,5 kr/km	270 km	3 375 kr
Montering ^{*1}	time	400 kr/time	45 timer	18 000 kr
Leie av gravemaskin (8 tonn) ^{*2}	time	550 kr/t	7,5 timer	4 125 kr
Rigg og transport gravemaskin				2 000 kr
			Sum kostnader	270 787 kr

^{*1}: Antall timer for montering er oppgitt av ingeniør Bjerke 2/3 – 2006

^{*2}: Gravemaskin må brukes for å løfte på plass bjelkene, timeprisen er hentet fra entreprenør Kjell Olav Reiersgård, 12/3 – 2006, Hønefoss

En limtrebjelke har dimensjonen: 500 mm x 140 mm x 11 000 mm, noe som gir et volum på 0,77 m³.

Totalt volum for hele broplata: 31 limtrebjelker x 0,77 m³ = 23,87 ≈ **24 m³**. Prisen for limtre fra fabrikk er 6 000 kr/m³. Kreosotimpregneringen kommer i tillegg, dette vil koste kr 2000 pr m³. Totalpris pr m³ blir da kr 8 000 (Bjerke 2006). Saltimpregnering vil utføre en merkostnad på ca 1 750 kr/m³ (Bjerke 2006). Kostnadene for saltimpregneringen er ikke tatt med i beregningene.

Totalpris for broen blir: **270 787 kr**. Dette gir en m² – pris på: 270 787 kr/47, 3 m² = **5 725 kr/m²**.

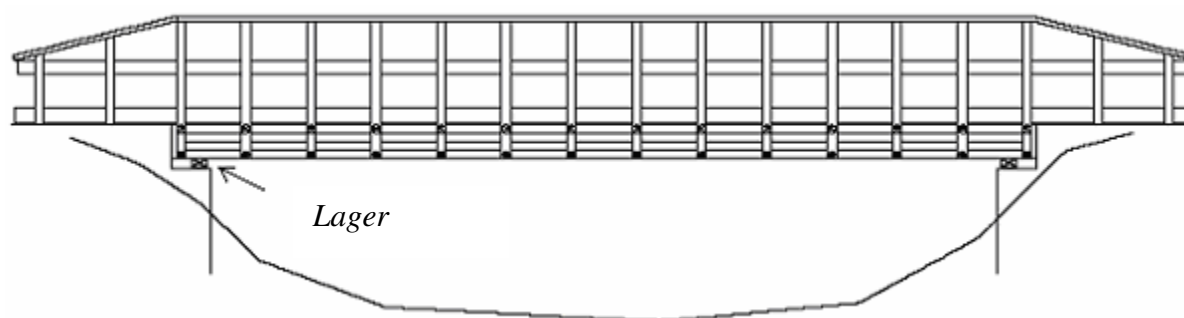
Ifølge ingeniør Bjerke kan det være lurt å legge en membran oppå broplata slik at ikke vannet kommer i direkte kontakt med trevirket. Dette vil forlenge levetiden noe, men prisen er forholdsvis høy. Johnny Bekk ved Kolo Veidekke, avd Hønefoss, ga en pris på 350 kr/m² for membranen ferdig utlagt, inkludert transport. Dette vil føre til en merpris på: 47,3 m² x 350 kr/m² = 16 555 kr. Det er et kostnad - nytte spørsmål om dette er økonomisk forsvarlig. En bør ta faktorer som nedbørsintensitet, miljø, trafikkbelastning og øket levetid i betraktning ved vurdering av dette. Levetiden for en slik bro uten saltimpregnering vil være ca 60 år

(Bjerke 2006). Ved anleggelse av en slik bro er det viktig at tverrstagene etterstrammes et par ganger de første årene for å opprettholde friksjonen (Bjerke 2006).

6.2.3 Svensk limtrebro

Det vil i dette tilfellet også være mulig å anlegge en limtrebro fra Svenske Trebroar. Broen vil bli levert på stedet i løse deler og monteres av to mann fra firmaet. Monteringsarbeidet vil ta ca 3 dager (Holmberg 2006). Den kan monteres av vegeier, men konstruktør Holmberg anbefaler å bruke deres egne monteringseksperter. Dette mener han fordi det er meget viktig å montere delene på riktig måte og ikke minst stramme tverrstagene med riktig trykk. Trykket er det samme som beskrives i kapittel 4.3.7, altså 17,4 tonn. Det kreves spesialutstyr for å utføre dette på en riktig måte, og produsentene opererer med slikt utstyr.

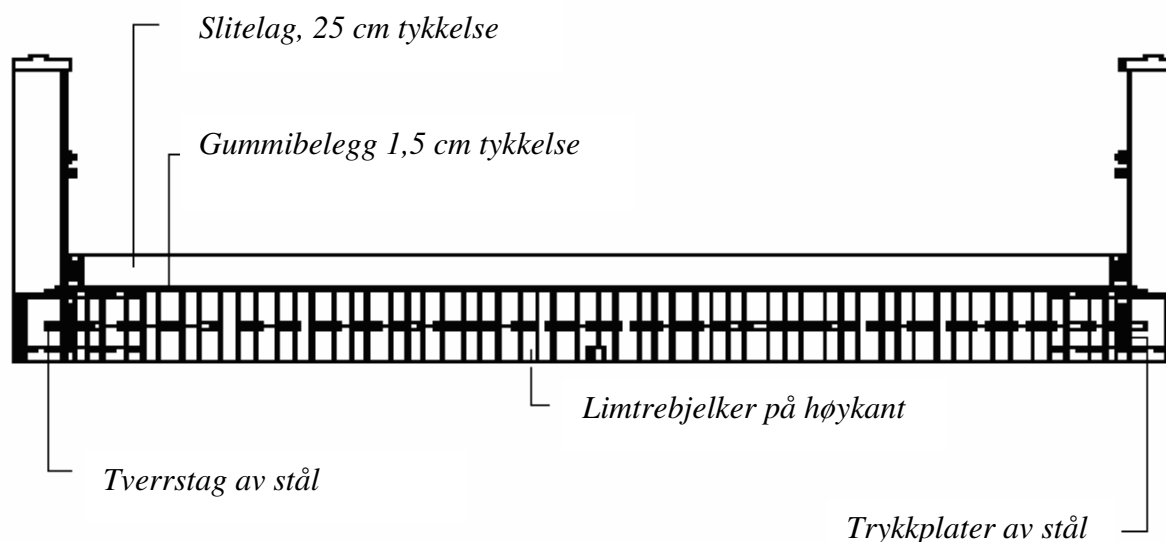
Konstruksjonen vil bestå av en tverrspent broplate med gummibelegg over bjelkene slik at ikke vannet kommer i kontakt med trevirket. Et slitelag av grus eller asfalt legges over gummibelegget igjen, dette bør ha en tykkelse på 15 cm (Holmberg 2006). Det er billigere å legge grus enn asfalt. Slitelaget bør derfor være sams grus med fraksjonen 0 – 32 mm (Skaar 2006). Delene som er inkludert i prisen er vist i kapittel 6.1.3, figur 26. Broen er vist i figur 30 og figur 31.



*Figur 30: Limtrebroen sett fra siden, lysåpning 10,3 m
(Svenske Trebroar 2006)*

Som figuren viser må broen anlegges på lagre mellom broplate og landkar. Dette er viktig slik at det ikke blir sår i betongen på landkarene dersom eventuelle gnisninger oppstår. Slike gnisninger kan forekomme ved dynamiske krefter. Lagrene vil også sørge for at det blir luftig, slik at det ikke blir ansamling av vann og dermed skader som dette vil føre med seg.

RESULTATER



Figur 31: Tverrsnitt av limtrebroen (Svenske Trebroar 2006)

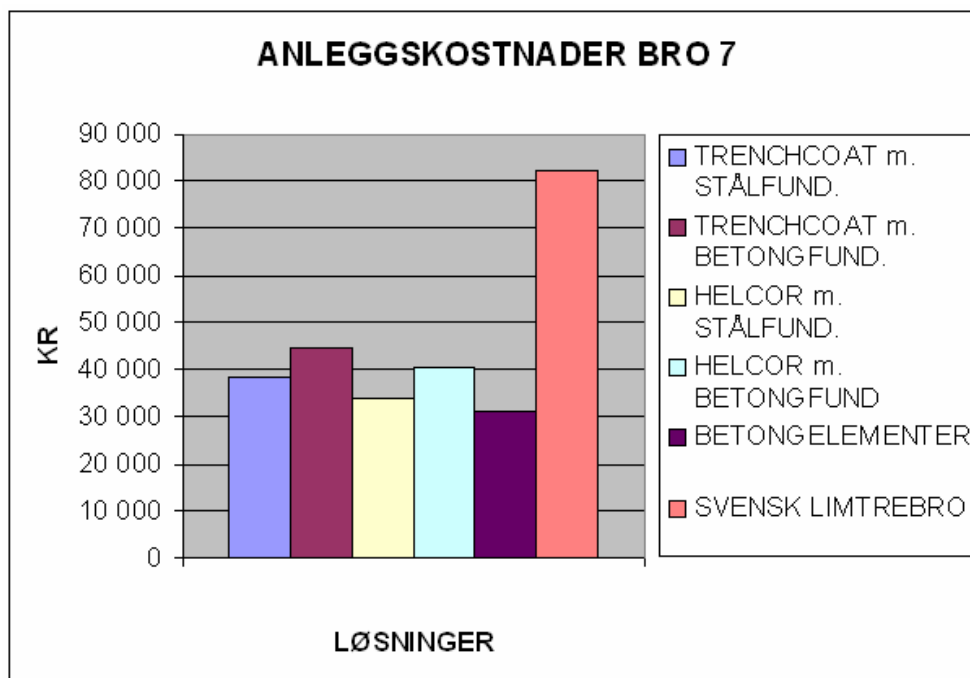
Tabell 18: Kostnader for løsning med limtrebro fra Svenske Trebroar

	Enhet	Enhetskostnad	Total mengde	Totalkostnad
Fjerning av eks. broplate	kr/time	2 255 kr/time	8 timer	18 040 kr
Broplate, alt inkludert				216 944 kr
Transport broplate				16 688 kr
Montasje	time	334 kr/time	60 timer	20 040 kr
Slitelag grus	tonn	99 kr/tonn	12,5 tonn	1 238 kr
Transport grus	tonn	100 kr/tonn	12,5 tonn	1 250 kr
Sum kostnader				274 200 kr

Levetiden for denne type bro vil være ca 40 år (Holmberg 2006).

Alle priser er regnet om til norske kroner ut fra en kronekurs der 100 svenske kroner tilsvarer 83,44 norske kroner. Timeprisene for montasje er gitt fra Holmberg 31/3 – 2006.

Også her må tverrstagene etterstrammes slik som limtrebroen fra Moelven Limtre.

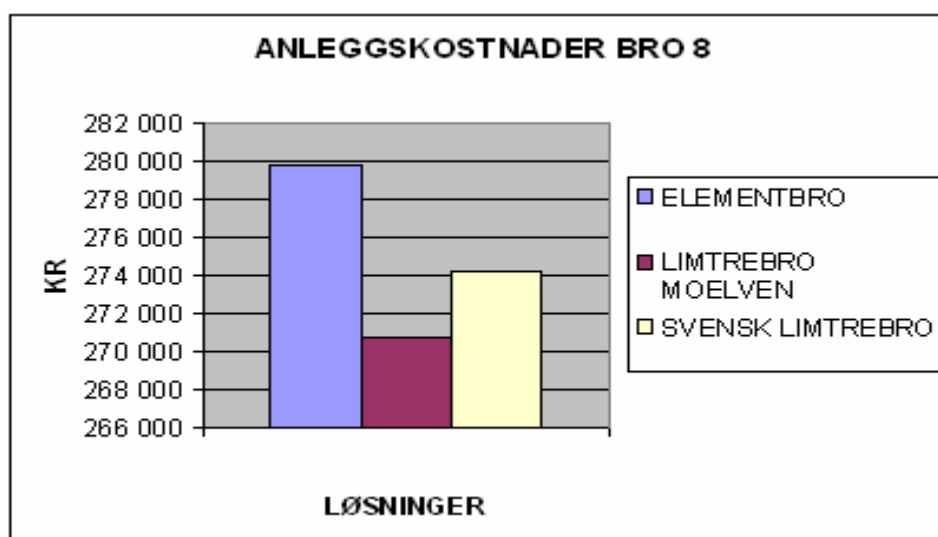


Figur 32: Anleggskostnader bro 7

Tabell 19: Anleggskostnader bro 7

LØSNINGER BRO 7	ANLEGGSKOSTNADER
BETONGELEMENTER	30 860 KR
HELCOR m. STÅLFUND.	33 914 KR
TRENCHCOAT m. STÅLFUND.	38 264 KR
HELCOR m. BETONGFUND.	40 314 KR
TRENCHCOAT m. BETONGFUND.	44 664 KR
SVENSK LIMTREBRO	82 072 KR

RESULTATER



Figur 33: Anleggskostnader bro 8

Tabell 20: Anleggskostnader bro 8

LØSNINGER	ANLEGGSKOSTNADER
LIMTREBRO MOELVEN	270 787 KR
SVENSK LIMTREBRO	274 200 KR
ELEMENTBRO	279 822 KR

7 DISKUSJON

Av de 11 registrerte broene er det 6 av dem som er plasstøpte betongplatebroer, 3 av dem består av stålbjelker med tredekke eller betongdekke, en av dem er prefabrikerte betongbjelker med tredekke og en er utført i prefabrikerte betongbjelker med betongplate. Mange av disse er nok anlagt av vegeieren selv og det er vanskelig å vite om de er bygget etter tegninger eller forskrifter. En kan derfor si med sikkerhet at en stor del av dem ikke holder mål til dagens krav for broer.

Det er bare 4 av dem som tilfredsstiller både krav til kjørebredde og totalbredde, se vedlegg 2. Det er 3 av broene som ikke har noe behov for utbedringstiltak. 2 broer har prekært behov for utskifting, hovedsakelig fordi de er mye brukt og benyttes til jevnlig tømmertransport. Av alle broene er det 8 stykker som trenger utbedringer. Det er breddeutvidelse som er mest prekært.

Typiske skader og nedbrytningsmekanismer er forskjellige for de ulike konstruksjonene. For de 6 plasstøpte betongplatebroene er sprekker i betongen en vanlig skade. Støpesår ble observert i 4 av dem. En annen feil som ble observert er for liten overdekning av betong. Dette gjelder både for landkar og for betongplatene. Denne type feil ble observert på 3 av de 6 betongbroene. Korrosjonsangrep på armering ble også registrert på de samme 3 broene.

Broene som består av stålbjelker med tre- og betongdekke er preget av skader som korrosjon, nedbøyning, råte og for liten overdekning. Korrosjonsangrepene er stort sett utbredt som overflaterust, men det er registrert ett tilfelle av alvorlig gravrust. Nedbøyning av stålbjelkene er registrert hos en bro, her er spennvidden 10,3 m.

For de broene hvor sekundærbæresystemet består av tredekke, er dette preget av misfarging og råte. Det gjelder alle broene med tredekke. Når trevirket begynner å bli dårlig må en tenke på at en ikke bør plassere kjøretøyet utenfor bjelkene som fungerer som hovedbæresystem dersom disse ikke er plassert helt ytterst. Det er en bro som består av stålbjelker med betongdekke og her er det registrert for liten overdekning slik at det har oppstått korrosjon i armeringen.

Det er 2 broer som består av prefabrikerte betongbjelker. Hos begge disse er det observert betydelige sprekker.

For landkarene er det undergraving, støpesår, korrosjon og utglidning av stein som er observerte skader. Dette er registrert hos 5 av de 11 broene.

En annen feil som er observert for 2 av de 4 broene med stålbejelker er at de er anlagt i kontakt med jord.

Av alle broene er det bare 2 som har skrensekant med høyde over 20 cm. Det er 7 av broene som ikke har noen form for skrensekant. Rekkverk finnes i flere varianter, og det er bare 3 broer som har rekkverk ≥ 1 m. Spennvidden varierer fra 2,5 m til 10,3 m for broene uten opplagring i elveleiet, det vil si for 9 av broene. Gjennomsnittet for spennvidden for disse broene er 5,8 m.

Som figur 32 og tabell 18 viser, vil anleggelse av elementbro fra Opplandske Betongindustri komme billigst ut for bro 7. Denne løsningen får en anleggskostnad på 30 860 kr. Løsningen med limtrebro fra Svenske Trebroar blir klart den dyreste med en anleggskostnad på hele 82 072 kr. Grunnen til dette er først og fremst en høy pris på selve broplata og transporten til Norge. Transportkostnadene utgjør 20 % av totalkostnaden, noe som er relativt høyt. Dette må tas i betraktning ved vurdering av løsningene.

Løsningen med halvrør slår ikke stort ut på noen måte. Den billigste muligheten er Helcor med stålfundamenter som har en anleggskostnad på 33 914 kr. Den dyreste løsningen innenfor halvrør blir Trenchcoat med betongfundamenter med en anleggskostnad på 44 664 kr.

Det er løsningen med betongelementer fra Opplandske Betongindustri som kommer billigst ut, med en totalkostnad på 30 860 kr.

Løsningen fra Svenske Trebroar er den klart dyreste med en totalkostnad på 82 072 kr.

Kostnaden for betongelementene utgjør 38 % av kostnadene for den svenske limtrebroen.

Det som er avgjørende for totalkostnaden i dette tilfellet er kostnadene ved fjerning av eksisterende løsning. Denne kostnaden spares ved valg av løsningen fra Opplandske Betongindustri. Det er selvfølgelig muligheter for å fjerne den gamle broplata ved valg av denne løsningen, men det var interessant å se hvordan det slo ut prismessig ved ikke å fjerne den. Ved de 2 andre alternativene må broplata fjernes og dette gjenspeiles med en høyere totalkostnad.

Løsningen med halvrør slår ikke spesielt ut økonomisk sett, men anleggelse av Helcor på stålfundamenter vil være det billigste alternativet. Trenchcoat ligger 20 % høyere i pris fra fabrikk enn Helcor, det er derfor denne løsningen slår ut som den gjør. Trenchcoat vil ha en levetid på ca 70 år, mens Helcor vil ha en levetid på ca 50 år. Dette gjelder selve røret, men det er fundamentene som vil begrense levetiden.

Stålfundamentene vil ha en levetid på 20 – 30 år hvis de ligger under vann.

Betongfundamentene vil ha en betraktelig lenger levetid, så det vil være en bedre løsning å velge dem. Et gunstig valg er å legge Trenchcoat på betongfundamenter, da vil en ha en solid konstruksjon i minst 40 – 50 år. Det vil fortsatt være betongfundamentene som er det kritiske punktet, disse vil maksimalt ha en levetid på 50 år.

Selv om anleggelse av Helcor på stålfundamenter er den billigste løsningen innenfor halvrør, vil det være ugunstig å velge dette. Det vil være bedre å legge Helcor på betongfundamenter, en vil da få en lenger levetid.

Denne broen ligger tett inntil riksvei og en bør derfor ta estetiske hensyn. En limtrebro er flott å se på, men med en slik anleggskostnad er det ikke verdt det. Levetiden er satt til ca 40 år uten videre vedlikehold og dette er ikke lenge i forhold til andre alternativer. Derfor vil det være ugunstig å anlegge en slik bro. Man kunne selvfølgelig lagt broen på eksisterende løsning, men da mister en preget av trebroens estetikk.

Elementene fra Opplandske Betongindustri legges over dagens broplate. Estetisk sett er ikke dette noe vakkert syn, men en grei og solid løsning. Spesielt når en tar totalcostnaden i betraktning. Produktene er dimensjonert ut fra en levetid på 50 år. Denne type bro krever minst arbeid ved anleggelse, det er også en av grunnene til at den blir såpass rimelig.

Anleggelse av halvrør vil være den mest naturlige løsningen. Konstruksjonen vil få en naturlig bueform og det vil bli et pent syn med en eventuell tørmur rundt røret. Dette vil se ut som en gammel steinbro. Ved valg av denne løsningen vil vedlikeholdet være minimalt. Så lenge overdekningen er 60 cm trenger ikke halvrøret noe videre vedlikehold. Det eneste som trengs er normal vegbehandling slik som grusing og skraping. Det vil også være muligheter for å legge stabbesteiner langs vegkanten som sikkerhet mot utforkjøring. Bruk av slik stein vil gjøre hele anleggelsen mer naturlig og gi det et mer estetisk syn.

For bro 8 er det limtrebroen fra Moelven Limtre som har den laveste anleggskostnaden på 270 787 kr, se figur 33 og tabell 19. Limtrebroen fra Svenske Trebroar vil koste 274 200 kr å anlegge, mens løsningen med betongelementer fra Spenncon vil komme på 279 822 kr som er det dyreste av de undersøkte alternativene. Det som er interessant er at alle løsningene ligger i forholdsvis samme prisklasse. Før analysen var i gang var det tvil om at limtrebroene kunne konkurrere på pris i forhold til elementbroen, men dette er en hypotese som kan forkastes. Rivningskostnaden for eksisterende løsning vil være 18 040 kr og er lik for alle løsninger. Dette er en forholdsvis høy kostnad som må tas i betraktning ved vurdering av løsningene.

Limtrebroen fra Moelven Limtre vil være et godt alternativ, både fordi den er billigst og fordi levetiden er beregnet til ca 60 år. Levetiden for limtrebroen fra Sverige er opplyst å være ca 40 år, mens elementbroen fra Spenncon er dimensjonert ut fra 50 års levetid. Levetiden for limtrebroen fra Moelven Limtre kan forlenges med ca 20 år hvis en velger å saltimpregnere konstruksjonen fra fabrikk, noe som også bør tas i betraktning ved vurdering av løsningene. Som nevnt så ligger også denne broen tett inntil riksvegen og da bør en igjen ta estetiske hensyn. Dette er nok en grunn til å vurdere limtrebroen fra Moelven Limtre.

Limtrebroen fra Sverige er også et godt alternativ prismessig, men når levetiden er såpass kort i forhold til de andre alternativene vil det ikke være forsvarlig å velge denne løsningen.

Elementbroen fra Spenncon er en god løsning selv om den kommer dyrest ut. Men forskjellen i total kostnaden på ca 8 000 kr er ikke mye i denne sammenhengen. En må huske på at en slik bro ikke har noe vedlikehold. Limtrebroene må etterstrammes noen ganger de første årene etter anleggelsen. Dette er ikke en stor kostnad, men viktig å tenke på ved vurdering av alternativene.

8 KONKLUSJON

Det som er karakteristiske skadetyper for broene som består av stålbjelker med tre- og betongdekke er korrosjon og råde.

Når det gjelder de plastøpte betongbroene er disse preget av støpesår, for liten overdekning, korrosjon i armering og sprekker.

Typiske skader for landkarene er sprekker og undergraving.

Ved utskifting av en eksisterende bro er det flere løsninger som er aktuelle.

Dette er:

- Plastøpt betongplatebroer
- Stålbjelker med tredekke
- Stålbjelker med betongdekke
- Betongbjelker med betongdekke
- Prefabrikerte betongbroer (elementer)
- Limtrebroer
- Halvrørbro

Dagens broer har som regel ligget noen år og dette fører til ulike former for nedbrytning og skader på forskjellige konstruksjonsmaterialer. Disse er nevnt under.

Typiske former for nedbrytning og skader for konstruksjonsmaterialene stål, tre og betong er:

Stål:

- Korrosjon
- Mekaniske skader
- Utmatning

Trevirke:

- Brunråde
- Hvitråde
- Soft - rot
- Husbukk og stripet borebille
- Stokkmaur
- Oppsprekking

Betong:

- Risskader
- Sprekkdannelse
- Støpesår

For bro 7 vil det beste være å anlegge elementbroen fra Opplandske Betongindustri. Den har lavest anleggskostnad og vil kreve minst vedlikehold og ettersyn i fremtiden, samtidig som den vil ha en levetid på ca 50 år.

For bro 8 er det mest gunstig å anlegge elementbroen fra Spenncon. Denne har høyest anleggskostnad, men langsiktig sett er dette en god løsning på grunn av lite vedlikehold og ettersyn.

To av de elleve broene ble plukket ut for videre arbeid, og disse broene er representative for det norske skogsbilvegnettet. Grunnen til at disse ble plukket ut er prekært behov for utskifting og at de er i aktiv bruk.

En slik oppgave krever mye tid og det er ikke alle momenter en rekker å se på. Denne oppgaven har tatt for seg noen ulike løsninger ved utskifting av broer. Men det kunne vært interessant å se på andre muligheter også. Problemstillinger som er interessante å se videre på er:

- I hvilken grad kan glassfiber erstatte rør av stål?
- Hvordan vil bruk av glassfiber komme ut økonomisk i forhold til tradisjonelle løsninger?
- Kan Multipel Trummor erstatte elementbroer ved større lysåpninger?

Svenske Trebroar produserer en flyttbar tverrspent trebro. En slik løsning har ikke kommet på markedet i Norge. Derfor ville det være interessant å se hvordan denne fungerer og om mulig undersøke kostnader rundt en slik løsning.

9 REFERANSER

AKERVOLD, A. R., 1998. Opprusting av bruer på skogsbilveger. Mastergradsoppgave ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskapelige fag, Ås. 66 pp + vedlegg.

BAKKE, A. & CHRISTIANSEN, E. & AUSTARÅ, Ø. & ØKLAND, B., 1998. Forstentomologi, om insekter i skogbruk og bevaringsbiologi. Kompendium 74 pp.

BERGSTØL, K. G., 2004. Klassifisering av stålbjelkebruer. Mastergradsoppgave ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskapelige fag, Ås. 86 pp + vedlegg.

CAPPELEN Leksikon, 1997. 1247 pp.

EIKENES, B., 2002. Virkeskvalitet og virkesomsetning. Lærebok. 304 pp.

JOHANNESSEN, J., 1995. Tekniske tabeller, Cappelen forlag. 141 pp.

LYSENSTØEN, E. & STAVIK, A. J., 2004. Veien til førerkortet. 404 pp.

RESCON MAPEI AS 2002. Aasen, H. & Ruud, A., 2002. Faghefte betongrehabilitering. 20 pp.

S.K.I. - SKOGBRUKETS KURSINSTITUTT 2003. Fagsamling veg, kurs nr 450308

STATENS VEGVESEN 1993. Publikasjon nr. 69; Stål- og betongelementer i løsmassetunneler. 54 pp.

STATENS VEGVESEN 1993. Vegbruer i tre. Rapport nr 19. 133 pp.

STATENS VEGVESEN 2002. Elementbruer. Bruhåndbok-3. 47 pp.

STATENS VEGVESEN 2005. Vegbygging. Håndbok nr 18. 416 pp.

STATISTISK SENTRALBYRÅ 2006. www.ssb.no/emner/10/04/20/skogsvei

REFERANSER

PERSONLIGE MEDDELELSER / MØTER

BEKK, J., Kolo Veidekke avd. Hønefoss 12/3 – 2006

HOLMBERG, R., konstruktør Svenska Trebroar AB, Skellefteå, 3/3 – 2006

JACOBSEN, J., Opplandske betongindustri, 20/1 – 2006

JØRGENSEN, J., ingeniør Multiconsult, 13/1 - 2006

KURAASS, J., salgskonsulent Norsk Stål, 15/3 – 2006

MYRVOLD, R., salgskonsulent Østbye Betong, 10/3 – 2006

NESKVÆRN, O., ansvarlig for trebroprosjekt i Odal, 27/1 - 2006

PRÆSTERUD, D., fagleder skogbruk Modum kommune, 10/2 – 2006

REIERSGÅRD, K. O., entreprenør Ringerike, 13/3 – 2006

SAMUELSEN, J., Fossum A/S, entreprenør Ringerike, 13/3 - 2006

PERSONLIGE MØTER

BJERKE, H., trebrokonsulent Moelven Limtre AS, Moelv, 2/3 – 2006

GROSBERGHAUGEN, S. & DALSJØ, M. I., salgskonsulenter Viacon AS, Matrand, 6/3 -
2006

HAGEN, A., prosjektleder fra Ringerike Landbrukskontor. Brobefaring i Modum kommune,
27/2 – 2006

JACOBSEN, T., salgskonsulent Opplandske Betongindustri, Ås 30/3 - 2006

REFERANSER

LINDSTADHAGEN, P., kundeansvarlig Spenncon, 9/1 – 2006 og 3/5 – 2006

VEUM, V. R., senioringeniør, OSET, F., senioringeniør og VASLESTAD, J., sjefingeniør,
Statens Vegvesen, avd. Oslo, 10/3 - 2006

PERSONER SOM HAR BIDRATT MED INDIREKTE INFORMASJON:

BERGSUND, J., tidligere fylkesskogmester Buskerud, 25/1 – 2006

BJØRE, E., skogbrukssjef Krødsherad kommune, 27/1 – 2006

GRINDLAND, O., sjefsingeniør Statens Vegvesen, 24/2 – 2006

JOHNSRUD, T.E., Skogbrukets Kursinstitutt (S.K.I.), 10/1 – 2006

KORNKVEEN, E., landbrukskontoret Drammen, 30/1 – 2006

LESKOVSKY, H., salgskonsulent APS Norway AS, 23/3 – 2006

OLSEN, D., skogleder Hedmark fylke, 27/1 – 2006

RINGNES, P., skogeier Krødsherad, erfaring med bruk av rør i vegbygging, 23/2 – 2006

SJØRAAS, D., avdeling for skog og ressurspolitikk, Hedmark fylke, 24/2 – 2006

STENSLAND, S., salgskonsulent Betonor AS, 8/3 – 2006

WÆRSTED, H. O., landbrukskontoret Drammen, 10/2 – 2006

VEDLEGG 1



Skal vi endelig få 56 tonn?

Skal det nå endelig være mulig å få gjennomslag for å øke totalvekta på tømmertransporten i Norge? Norges Skogeierforbund har jobbet aktivt for å få til dette over mange år, i nært samarbeid med andre aktører. Senest i begynnelsen av april var Skogeierforbundet i møte med politisk ledelse i Samferdselsdepartementet for å fremme saken. Vi opplevde at en lydhør politisk ledelse, og med Senterpartiet i førersetet håper vi nå at det skal være politisk klima for å ta dette enkle grepet for å bedre næringens rammevilkår.

Det som forundrer meg, er at dette ikke er gjort for lenge siden. Det er så mange gode argumenter for å innføre økt totalvekt: Nedenfor følger noen av dem.

Skog- og trenæringen er en viktig distriktpolitisk næring. I hele 3 av 4 norske kommuner finnes det en form for treindustri. Total verdiskapning i næringen er på ca 40 milliarder i året – det er mye penger, og ikke minst mange arbeidsplasser.

60 tonn i Sverige og Finland

Samtidig vet vi alle at skog- og trenæringen er en konkurranseutsatt næring, og at forholdene i Sverige og Finland virker direkte inn på våre markeder. Det er viktig at vi har noenlunde likeverdige rammevilkår for at vi skal være konkurransedyktige. Det har vi ikke på transportsida. Både Sverige og Finland har i mange år tillatt transporter på 60 tonn og 25,25 meters lengde.

Disse faktorene gjør tømmer-

Av Ellen Alfsen

transporten atskillig rimeligere i våre naboland enn hos oss. Skogeierforbundet har tidligere opplevd at det har vært vanskelig å få gjennomslag for å øke vekten til 60 tonn. Vi har derfor redusert noe på ambisjonsnivået, og jobber for å få gjennomslag for en økning til 56 tonn. Det ville hjulpet betraktelig på situasjonen. Transportbrukernes Fellesorganisasjon (TF) har gjort beregninger som viser at transportutgiftene ville bli redusert med 40 mill. kroner pr. år dersom vekten økte til 56 tonn. Det er et viktig bidrag for en konkurranseutsatt næring.

Mange biler tar 60 tonn

De økonomiske forholdene er selvfølgelig viktige – det er nå engang penga vi lever av. Men det er samtidig mange andre gode argumenter for å tillate 56 tonn.

Vi kan i stor grad bruke dagens materiell, ca. 60 % av dagens vogntog kan ta en last på 56 tonn. Vogntog på 22 meter med en last på 56 t er faktisk sikrere enn vogntog på 18,75 m med 50 tonn. Det er nemlig slik at tyngdepunktet kommer lavere på et 22 m vogntog, og tyngden blir jevnere fordelt. Stabilitets- og kjøreegenskapene blir vesentlig bedret for vogntog på 22 meter.

Vi reduserer kjøredistansen betydelig, det ville blitt kjørt hele 2,3 mill. km mindre dersom vi fikk vektøkningen, og dermed også reduserte CO₂-utslipp.

I tillegg vil slitasjen på vegdekket bli mindre! Det må jo være et argument som vegmyndighetene burde sette pris på – da kan de spare inn på vedlikeholdsbudsjettet.

Riksveiene tar 22 m

TF har gjort beregninger som viser at 95-100 % av alle riksveiene er tillatt for vogntog på 22 m. I store deler av landet vil også fylkesveiene kunne tåle dette. Det er laget flere oversikter og bergninger fylkesvis/regionvis over flaskehalsar, for eksempel bruer som må forsterkes.

Den seneste rapporten på dette området er nok rapporten fra Transportfelleskapet Østlandet, som har sett på forholdene i Hedmark. Rapporten er lagt ut på hjemmesidene til Tretorget, og burde gi et godt grunnlag for videre beslutninger.

Vi kjenner dessuten til eksempler på at annen tungtransport får transportere last på opptil 70 tonn på de samme strekningene der tømmerbilene må kjøre med 50 tonn. Da blir det rett og slett meningsløst å hindre næringen vår i å utnytte kapasiteten i transporten på en bedre måte enn det som gjøres i dag.

Er det politisk mot til stede?

Som kjent har Stortinget bedt om at regjeringen utarbeider en strategi for økt avvikling og presenterer dette i forbindelse med budsjettet for 2007. Det er Landbruks- og matdepartementet som har hovedansvaret for saken, men i realiteten ligger flere av de viktigste tiltakene under andre departementers ansvarsområder.

Et konkret og viktig tiltak i avviklingsstrategien burde etter vår mening være å innføre en 56 tons grense for tømmertransportene. Det ville være et konkret tiltak som syntes, som ble lagt merke til av næringen og som ville være svært etterlengtet.

Den forrige samferdselsministeren var i ferd med å åpne opp for et prøveprosjekt da regjeringsskifte kom. Skogeierforbundet håper den sittende regjering vil følge opp ideen, og at det vil være nok politisk mot i Samferdselsdepartementet til endelig å få gjort noe med denne saken! ■

Figur xx: Artikkel angående økning av totalvekt (Skogeieren nr. 4 – 2006, side 7)