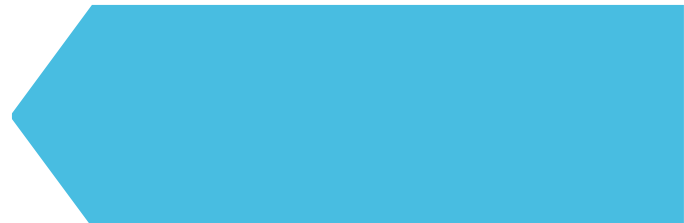




Tverrspente platebruer i limtre

Vurderinger av brukonseptet

Utgitt 02.05.2024



FORORD

Vegdirektør Ingrid Dahl Hovland uttalte til TU 19. januar 2024, <https://www.tu.no/artikler/vegvesenet-stopper-all-bygging-av-trebruer/542588>, at Statens vegvesen (SVV) stopper all trebrubygging inntil videre som følge av kollapsen av Tretten bru og påfølgende prosess.

Rådgivende ingeniørers forening (RIF) har fokus på at man skal kunne bruke rett materiale på rett sted og at man har tre som et av alternativene «i verktøykassa» når man skal designe og bygge en bru. Hva som er rett materiale er da en totalvurdering og må bl.a. sees opp mot konstruksjonssikkerhet, miljøpåkjenning, levetid og byggbarhet.

Med bakgrunn i det som har kommet opp i etterkant av kollapsen av Tretten bru tar dette notatet i hovedsak for seg temaene blokkutriving og utmatting, samt fukt og temperatur som laster for platebruer i tre. Målet er å gi et godt grunnlag for å kunne gjenåpne for bruken av platebruer i limtre ved å vurdere disse punktene spesifikt for konstruksjonstypen. Målet er ikke å belyse alle andre aspekter av platebruer i tre. For prosjektering, bygging og drift henvises det til Rapport 422 «Trebruer» av Statens vegvesen i tillegg til gjeldende regelverk.

Denne rapporten er utarbeidet av en arbeidsgruppe bestående av følgende personer;

- Magne Aanstad Bjertnes og Petter Juell Nåvik, Sweco (hovedforfattere)
- Kjell Arne Malo, NTNU
- Hannes Ludescher, Dr. Techn Olav Olsen AS
- Hans Arnslett, Rambøll
- Trond Eggen, Aas-Jakobsen AS
- Martin Cepelka, COWI
- Ari Soilammi, RIF (arbeidsgruppeleder og utgiver)

Det er gjort det ytterste for å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunktet redaksjonen ble avsluttet. Feil eller mangler kan likevel forekomme. Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF), rapportens forfattere, og forfatternes arbeidsgivere har intet ansvar for feil eller mangler i notatet og mulige konsekvenser av disse. Det forutsettes at rapporten blir benyttet av kompetente fagfolk med forståelse for begrensningene og forutsetningene som legges til grunn.

INNHOOLD

FORORD	2
INNHOOLD	3
Platebruer i limtre	4
Utmatting	5
Laster og lastsykluser	5
Utmatningsberegning	6
Dokumentasjon	9
Beregningsmodell	9
Resultater	10
Temperatur og fukt	13
Temperaturutvidelse	13
Fuktbeskyttelse	13
Kommentar fukt og temperatur	14
Konklusjon	14

Platebruer i limtre



Platebruer i limtre er relativt enkle konstruksjoner som er en bruplate satt sammen av limtrebjelker som spenner i én retning, og som er spent sammen sideveis med et spennsystem.

Platebruer i limtre

- spenner primært fritt over ett eller flere spenn
- er statisk bestemte
- er primært belastet av bøyning og skjær
- har ingen knutepunktforbindelser i selve bruplata
- har et spennsystem som sikrer samvirke mellom limtrebjelkene
- har dimensjoner som primært styres av bruksgrensekrav som nedbøyning og svingninger

Basert på dette kan man med en gang gjøre noen vurderinger om aktuelle bruddformer.

Blokkutrivning er ikke aktuelt da dette er en bruddform som er relatert til knutepunkter med strekkbelastning, mens en platebru i limtre ikke har slike knutepunkter.

Utmatting kontrolleres for kjørebruer da disse har kjøretøyslaster av vesentlig hyppighet og størrelse. G/S-bruer som kun er belastet for G/S-laster og servicekjøretøy vil ikke ha noe utmattingsproblematikk med mindre det er vesentlig dynamikk fra ganglast, og dette må evt. vurderes i spesielle tilfeller.

Det at bruksgrensekrav som regel er styrende for dimensjoner gir en økt sikkerhet mot kollaps.

Utmatting

Dette er et generelt kapittel om utmatting for trebruer, spesifikke beregninger for platebruer er vist i et senere kapittel.

Utmatting er en fysisk prosess der gjentakende lastvekslinger kan føre til brudd for lavere laster enn for enkeltlaste. Det er derfor viktig å vurdere utmattingskapasiteten for vegbruer siden disse har gjentakende varierende store laster.

Utmatting av tre skal kontrolleres etter NS-EN 1995-1-1 og NS-EN 1995-2, og med trafikkklaster fra NS-EN 1991-2. Disse er for tiden under revidering på europeisk nivå. Det er valgt å gjøre vurderinger av utmattingskapasitet basert på kommende oppdaterte versjoner av Eurokoden for tre prEN 1995-1-1 og trebruer prEN 1995-2 som er under ferdigstilling.

prEN 1995-2 anbefaler at utmattingslast 4 (FLM4) skal brukes for trebruer. Det påpekes at for stålnutepunkter så kan det være aktuelt med andre vurdering f.eks. etter NS-EN 1993-1-8. prEN 1995-2 1.3(2)a angir egentlig at platebruer i limtre ikke er særlig utmattingsutsatt, og som regel kan unntas vurdering om utmatting. I dette dokumentet så viser vi beregninger for dette likevel, med realistiske dimensjoner og laster, for å vise faktisk hva disse konstruksjonene tåler av utmatting.

Laster og lastsykluser

Lastfaktor

Det skal iht. EN 1990:2023 8.3.3.6 NOTE 2 brukes en lastfaktor ved utmatting på 1.1.

Lastsykluser

Antall lastsykluser per år bestemmes etter NS-EN 1991-2:2003/NA:2010 NA.4.6.1, og er avhengig av ÅDT og tungbil-andel α . NS-EN 1991-2:2003/NA:2010 NA.4.6.1 angir en tungbil-andel på 2% av totaltrafikken, mens prEN 1991-2 foreslår en andel på 10%. Det er stor variasjon i ÅDT og tungtrafikkandel for alle veier i Norge. I Statens Vegvesen sitt [vegkart](#), så kan man finne tall for spesifikke lokasjoner. Basert på dette kan man da regne ut antall lastsykluser:

$$n_{OBS} = 365 \times \alpha \times \text{ÅDT}$$

Vi har da valgt å bruke Statens Vegvesen sitt vegkart sine verdier for våre utmattingsbetraktninger. Verdier for noen lokasjoner av trebruer:

- Moumbekken bru: ÅDT = 10000 og $\alpha = 12\% \rightarrow n_{OBS} = 438000$
- Norsenga bru: ÅDT = 6732 og $\alpha = 12\% \rightarrow n_{OBS} = 295000$
- Tveit bru: ÅDT = 1617 og $\alpha = 21\% \rightarrow n_{OBS} = 124000$
- Tømte bru: ÅDT = 3500 og $\alpha = 8\% \rightarrow n_{OBS} = 102200$

Det skal bemerkes at de færreste platebruene som er bygd i dag har tilsvarende trafikkbelastning som Moumbekken bru.

Laster

Dagens regelverk sier ikke noe spesifikt om hvilken utmattingslastmodell som er mest aktuell for trebruer. Derimot i den kommende nye versjonen av trebru-Eurokoden prEN 1995-2:2024 så er det angitt at utmattingslast 4 er anbefalt. Denne beskriver laster fra 5 forskjellige faktiske vogntog der prosentandelen av hver av dem er avhengig av trafikktype. Det er angitt 3 trafikktyper, en for langdistansetraffikk, en for mellomdistanse, og en for lokaltraffikk. For utmattingsberegningene har vi derfor valgt å vise resultater for utmattingslast 4 siden dette er anbefalingen fra kommende Eurokode.

Normalt kan det regnes med en fordeling av trafikklasten med 50% i hver kjøreretning da ÅDT er totalt antall kjøretøy som passerer en bru.

Utmattingslast 4 (FLM4)

NS-EN 1991-2:2003/NA:2010 Table 4.7 angir hvilke laster man skal bruke for utmattingslast 4 med andel av totale lastsykluser per last basert på trafikktype, og Figure 4.8 angir plassering av lastene.

Table 4.7 - Set of equivalent lorries

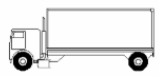

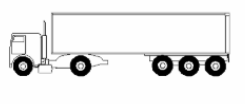


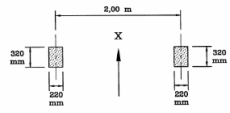
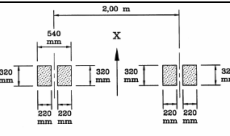
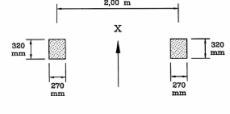
VEHICLE TYPE			TRAFFIC TYPE			
1	2	3	4	5	6	7
			Long distance	Medium distance	Local traffic	
LORRY	Axle spacing (m)	Equivalent axle loads (kN)	Lorry percentage	Lorry percentage	Lorry percentage	Wheel type
	4,5	70 130	20,0	40,0	80,0	A B
	4,20 1,30	70 120 120	5,0	10,0	5,0	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	70 150 90 90 90	50,0	30,0	5,0	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	70 140 90 90	15,0	15,0	5,0	A B B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	70 130 90 80 80	10,0	5,0	5,0	A B C C C

Table 4.8 - Definition of wheels and axles

WHEEL/ AXLE TYPE	GEOMETRICAL DEFINITION
A	
B	
C	

Utmattingsberegning

Utmattingskapasiteten regnes etter prEN 1995-1-1 og prEN 1995-2 (som er identisk med gjeldende NS-EN 1995-2 bortsett fra partialfaktor som er økt til tilsvarende materialfaktor), og under er det satt opp nødvendig formel for beregning av utmattingskapasitet. Belastningen skal være mindre enn kapasiteten.

$$\sigma_{d,max} \leq f_{fat,d}$$

Kapasiteten reduseres med en faktor, k_{fat} , som er avhengig av spenningsratioen, R_T , som er laveste spenning delt på største spenning, antall lastsykluser (n_{OBS}), dimensjonerende levetid (T_{Lf}), konstanter som bestemmes basert på spennings situasjon (trykk/strekk, langs/tvers av fiberretning og skjær) (a_{fat} og b_{fat}) og en faktor for konsekvensen av brudd (β).

$$k_{fat} = 1 - \frac{1 - R_T}{a_{fat}(b_{fat} - R_T)} \log(\beta n_{OBS} T_{Lf})$$

For strekk parallelt med fiberretning så har man iht. prEN 1995-1-1 Table 10.1 a og b er 9.5 og 1.1 for strekk. β er en sikkerhetsfaktor og er knyttet til konsekvens av skade og for skader som medfører kollaps så er den lik 3. R_T er forholdet mellom største og minste spenning. Siste ledd er da å multiplisere reduksjon for utmatting med kapasitet og dividere med materialfaktor.

$$f_{fat,d} = k_{fat} \frac{f_k}{\gamma_{M,fat}}$$

Om aktuelt så skal f_k for konstruksjoner i klimaklasse 3 reduseres med 33%, prEN 1991-1-1 10.2(4).

Beregningsgangen over kan brukes rett frem om det er kun en dimensjonerende situasjon. Om det er flere laster og lastsykluser så man kombinere disse. En måte å gjøre dette er å anvende Palmgren-Miners hypotese (prEN 1995-1-1:2024 10.3(2) / prEN 1995-2:2023 10.2(2) Note 1) som bl.a. brukes i Eurokode for stål.

Palmgren-Miner

Palmgren-Miners hypotese er brukt for utmatting bl.a. i Eurokode for stål NS-EN 1993-1-9:2005+NA:2010 Tillegg A. Vi velger derfor å følge dette formelverket for at metoden er etterprøvd og åpent tilgjengelig for alle.

Skaden D_d i den dimensjonerende levetiden bør beregnes ut fra (A.1 og A.2):

$$D_d = \sum_i^n \frac{n_{Ei}}{N_{Ri}} \leq 1$$

- n_{Ei} er antallet spenningsvekslinger knyttet til bånd i spenningsnivået i spekteret og beregnes med bruk av partialfaktorer
- N_{Ri} er antall spenningsvekslinger til brudd oppnådd fra kurven med bruk av partialfaktor for kapasitet.

Med bakgrunn i dette må man reformulere formlene fra Eurokode tre slik at man finner N_{Ri} . Metoden kan brukes med både spenning, aksialkrefter, moment eller annet, men i utledningene under så bruker vi spenninger.

Om man først setter k_{fat} inn i ligning for utmattingskapasitet:

$$f_{fat,d} = \left(1 - \frac{1 - R_T}{a_{fat}(b_{fat} - R_T)} \log(\beta n_{OBS} T_{Lf})\right) \frac{f_k}{\gamma_{M,fat}}$$

Deretter definerer man det inni logaritmen som det totale antall lastsykluser, N_{tot} , for den aktuelle spenningsvidden.

$$N_{tot} = \beta n_{OBS} T_{Lf}$$

Vi løser videre ved å sette N_{tot} inn i ligning og få denne alene på venstre side:

$$f_{fat,d} = \left(1 - \frac{1 - R_T}{a_{fat}(b_{fat} - R_T)} \log(N_{tot})\right) \frac{f_k}{\gamma_{M,fat}}$$

$$1 - f_{fat,d} \frac{\gamma_{M,fat}}{f_k} = \frac{1 - R_T}{a_{fat}(b_{fat} - R_T)} \log(N_{tot})$$

$$\left(1 - f_{fat,d} \frac{\gamma_{M,fat}}{f_k}\right) \frac{a_{fat}(b_{fat} - R_T)}{1 - R_T} = \log(N_{tot})$$

$$N_{tot} = 10^{\left(1 - f_{fat,d} \frac{\gamma_{M,fat}}{f_k}\right) \frac{a_{fat}(b_{fat} - R_T)}{1 - R_T}}$$

Med denne formelen kan man da regne ut antallet lastsykluser til brudd for hver lastsituasjon.

Det er viktig at antall observerte lastsykluser, n_{OBS} , er ÅDT x 365 dager x tungtrafikkandel x β x dimensjonerende levetid x andel av passeringer for aktuell kjøretøyskonfigurasjon.

a_{fat} og b_{fat} er konstanter som bestemmes basert på spenningsituasjon (trykk/strekk, langs/tvers av fiberretning og skjær) (a_{fat} og b_{fat}). For bøyning så har man strekk parallelt med fiberretning og får $a_{fat} = 9.5$ og $b_{fat} = 1.1$. For skjær så er verdiene $a_{fat} = 6.7$ og $b_{fat} = 1.3$

Dokumentasjon

Dette kapitelet viser beregninger for platebruer av forskjellig lengde for vegtrafikk. Det er beregnet utnyttelse i bruksgrensetilstand (nedbøyning), bruddgrensetilstand for feltmoment og skjær ved last nærmest ett opplegg og utmatting etter Eurokode-standardene. Utnyttelsene til disse er til slutt sammenlignet for å se hva som bestemmer nødvendig stivhet og styrke til en platebru. Utmatting er beregnet for typiske trafikkmengder for platebruer. En kort oppsummering av hvilke parametere som er brukt er listet her:

- Lengde på 4, 6, 8, 10, 12, 14 og 16 m
- Bredder på 3 m
- Tykkelse bestemt basert på nedbøyningskrav på L/350
- Limtrekvalitet GL30c (tyngdetetthet 5.5 kN/m³)
- 1-felts bru
- Trafikklaster LM1 sentrisk om brumidte og mot en ende
- Utmattingslaster FLM4 (anbefalt) påført som bevegelige laster for å få maksimale moment- og skjærbelastninger
- Minste platetykkelse settes til 367 mm på grunn av at dette er nødvendig for innfesting av H2-rekkverk

Ønsket med dette dokumentet er å tydeliggjøre at platebruer er robuste konstruksjoner som for normale forhold ikke har utmattingsproblemer. For å vise dette for et bredt spekter av konfigurasjoner så har vi forenklet beregningene til konservativ side. Selv om en vegbru vanligvis er flere felt og har sidekanter slik at bredden er bredere enn kjøretøyslasten alene så velger vi konservativt å betrakte en 1-felts bru med bredde lik kjøretøyslasten på 3 m og med alle kjøretøy på samme side da dette gir størst forskjell i spenningene. Dermed kan man betrakte platen som en bjelke og sette på punktlaster på en bjelke med bredde på 3m. Vi legger også på en egenlast fra belegning, 3.5 kN/m² → 10.5 kN/m i linjelast.

Det som er konservativt med disse beregningene er:

- man kunne hatt 50% av kjøretøyene på den andre siden av brua som ville gitt mindre spenning på den siden man vurderer
- man kunne spredt lasten i bredde og lengderetning og ikke hatt punktlaster, men dette ville ikke påvirket disse beregningene vesentlig
- ved å ha bredere bru så ville kreftene generelt spredd seg mer som ville gitt lavere spenninger

Det påpekes også at ved å beregne platebruene som en bjelke så er det noen effekter man ikke får vurdert. F.eks. får man ikke sjekket tverrmoment, men det er gjort sammenligninger med ferdig prosjekterte bruer, og der ser man at for 1-spenns platebruer så er ikke dette dimensjonerende da det primært er nedbøyning som styrer nødvendig stivhet (tykkelse).

Beregningsmodell

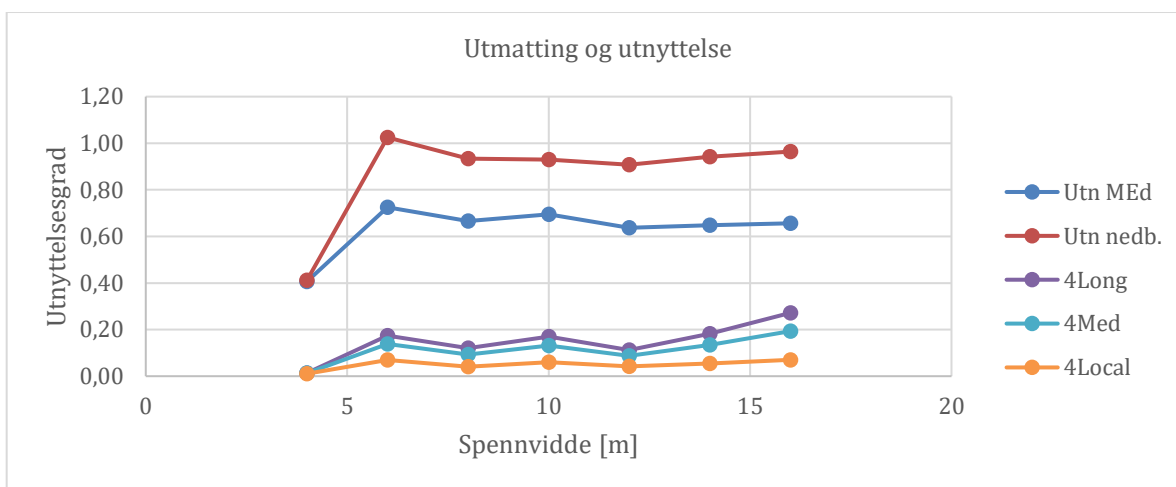
Det er laget en beregningsmodell i Robot Structural Analysis 2024 for hver av de forskjellige lengdene. Alle er lagd som fritt opplagte bjelker, og det er meshet ganske tett i midtfelt for å få riktig verdier. Det er brukt en egenvekt på limtre på 5.5 kN/m², og en påført egenvekt fra belegning på 3.5 kN/m². For nedbøyningskrav og ULS så er trafikklaster LM1 brukt og plassert sentrisk på brua for å få størst moment og plassert mot en ende for å få maksimalt skjær. Alle utmattingslastene er påført som bevegelige laster som kjører over hele bruas lengde slik at man er sikker på å fange det største momentet og skjæret fra hvert lasttog.

Resultater

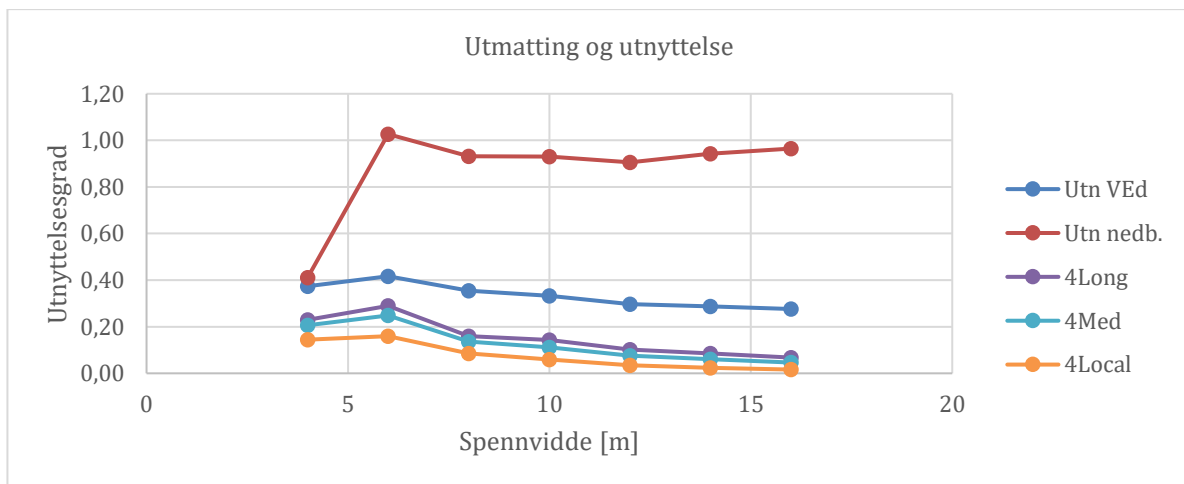
Det er som tidligere skrevet utført analyser av flere spennlengder og med forskjellige trafikbelastninger. Resultatene fra disse er vist i påfølgende figurer. «Utn. Med» er utnyttelsesgrad for moment, «Utn. Ved» er utnyttelsesgrad for skjær, «Utn. nedb.» er utnyttelse ift. krav på L/350, og «4Long», «4Med» og «4Local» er skadegraden fra utmatningslast 4 med 3 forskjellige trafiktyper (Langdistanse, mellomdistanse og lokaltrafikk).

Det man kan se fra resultatene er at for normale situasjoner så er ikke utmatting dimensjonerende, det er det nedbøyning som er. Men det de også viser er at utmatting kan forekomme om man har riktige forhold. Det er derfor viktig å tenke på utmatting om man har vegger med stor ÅDT og mye tungtrafikk.

ÅDT 3500 og tungbilandel 8%

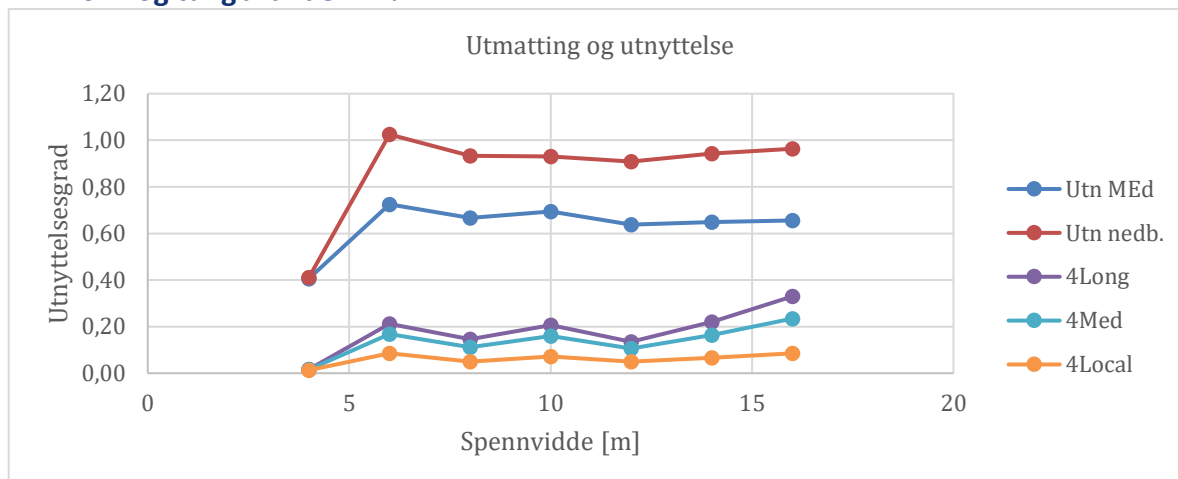


Figur 1 Resultatet for moment i platebruer med trafikbelastning ÅDT = 3500 og tungbilandel 8%

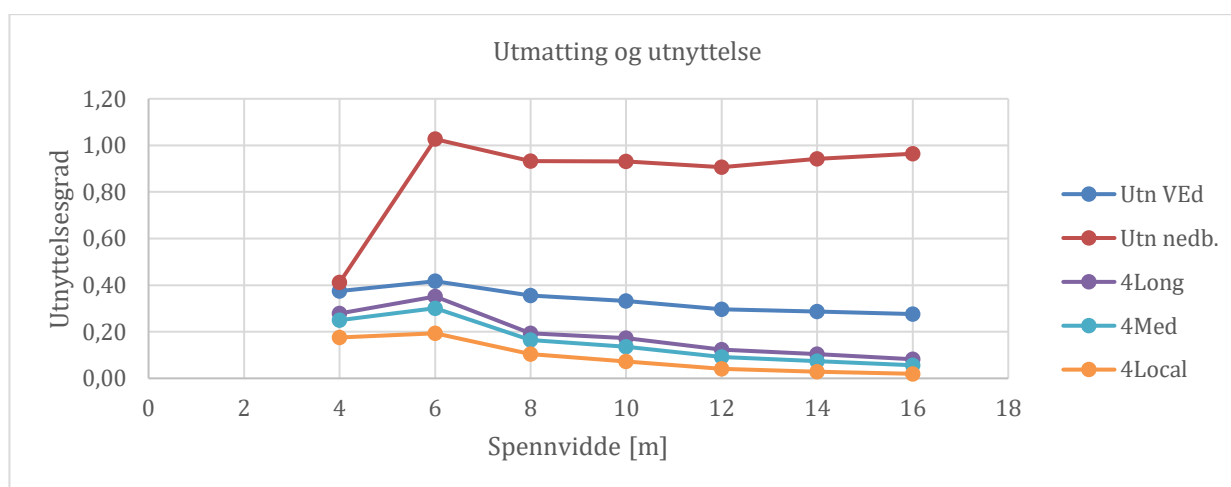


Figur 2 Resultatet for skjær i platebruer med trafikbelastning ÅDT = 3500 og tungbilandel 8%

ÅDT 1617 og tungbilandel 21 %

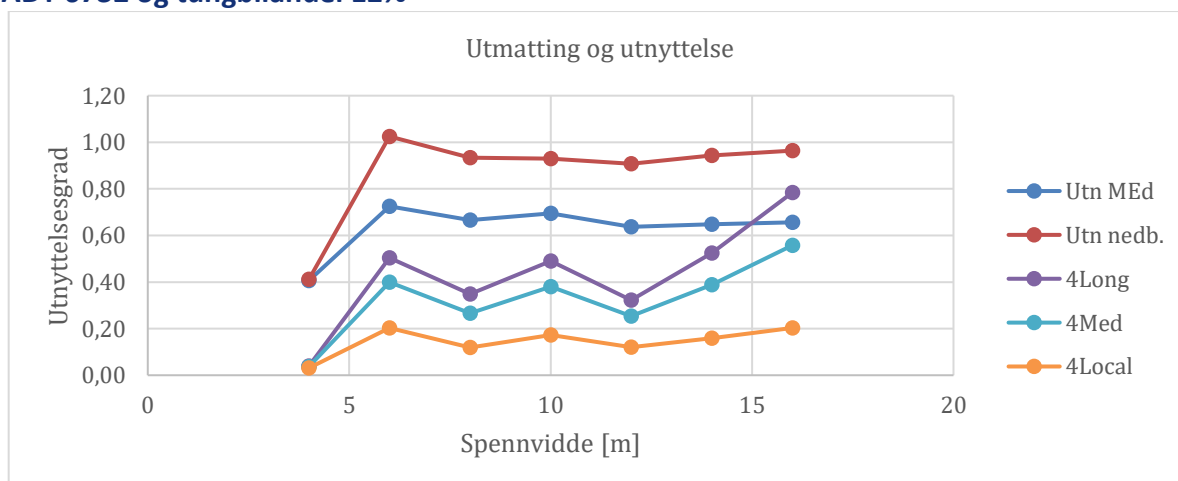


Figur 3 Resultatet for moment i platebruer med trafikkbelastning ÅDT = 1617 og tungbilandel 21%

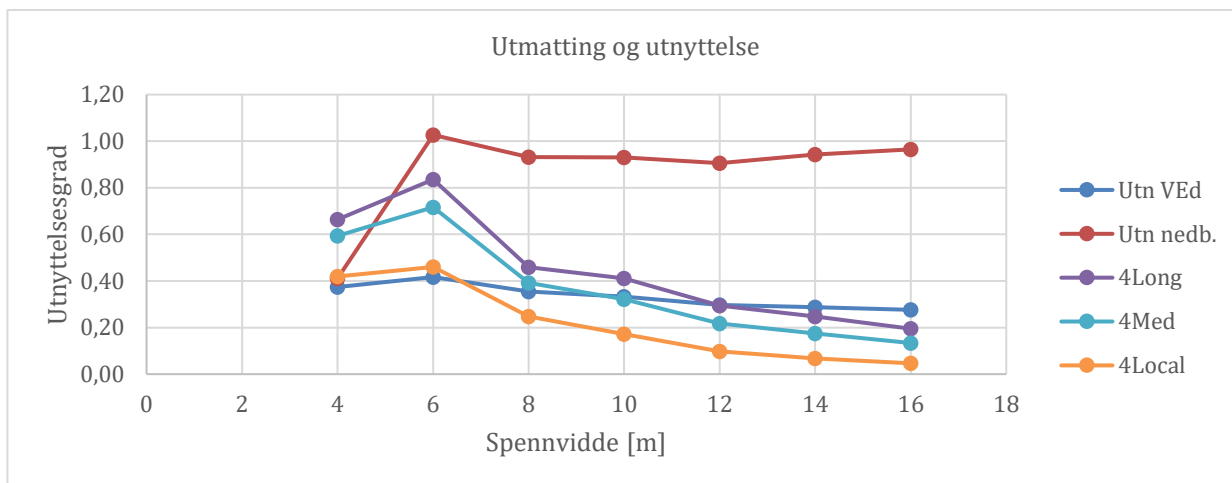


Figur 4 Resultatet for skjær i platebruer med trafikkbelastning ÅDT = 1617 og tungbilandel 21%

ÅDT 6732 og tungbilandel 12%

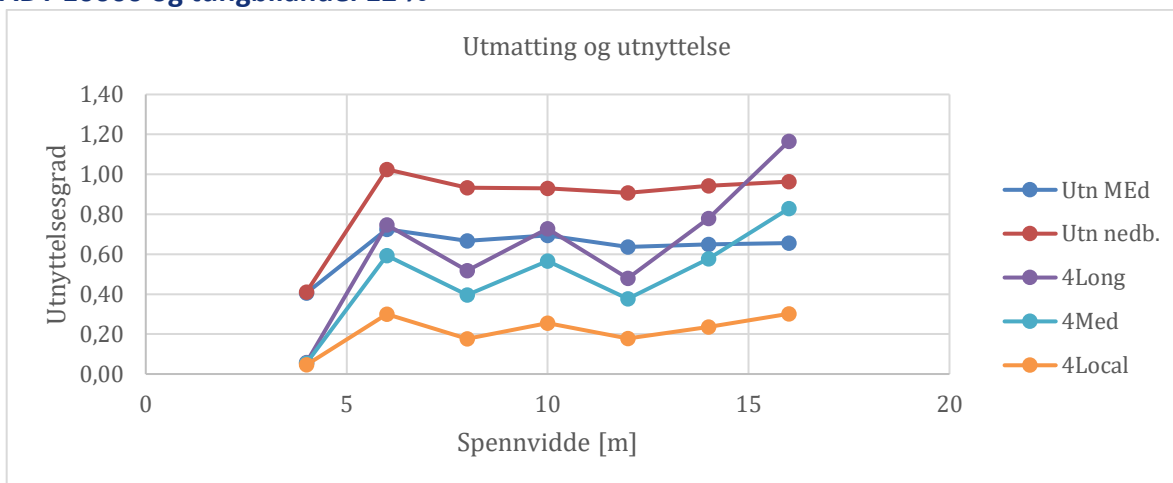


Figur 5 Resultatet for moment i platebruer med trafikkbelastning ÅDT = 6732 og tungbilandel 12%

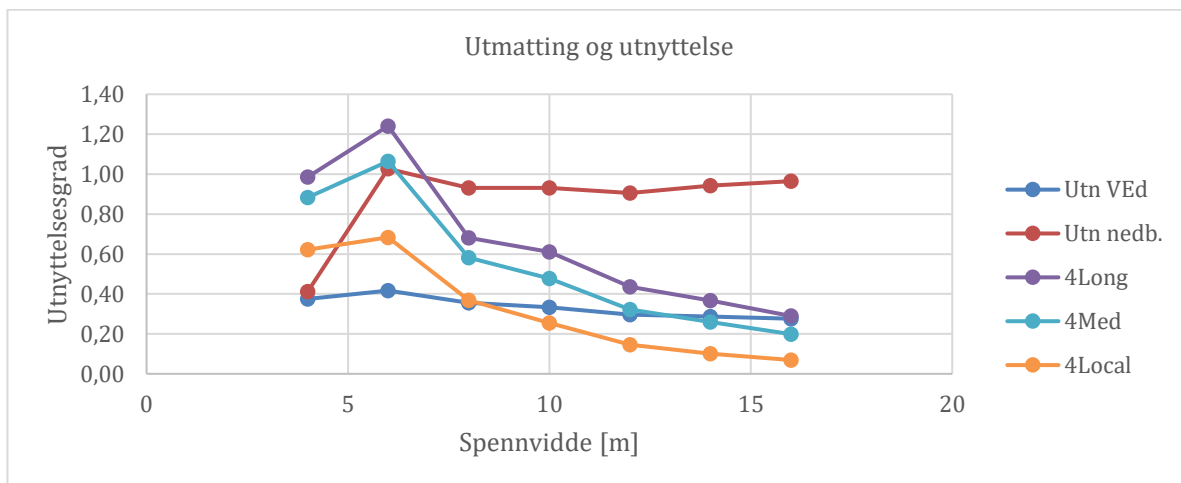


Figur 6 Resultatet for skjær i platebruer med trafikkbelastning ÅDT = 6732 og tungbilandel 12%

ÅDT 10000 og tungbilandel 12 %



Figur 7 Resultatet for moment i platebruer med trafikkbelastning ÅDT = 10000 og tungbilandel 12% (for tilfellet over ville man måtte økt dekketykkelse som følge av utmattingsberegninger etter 4Long for å komme innenfor dimensjoneringskriteriet)



Figur 8 Resultatet for skjær i platebruer med trafikkbelastning ÅDT = 10000 og tungbilandel 12%

Temperatur og fukt

Temperatur og fuktighet er begge ting som påvirker trevirke. Økt temperatur og relativ fuktighet utvider trevirket, og motsatt. Ved kaldt vær så er det normalt høy relativ fuktighet siden luftas evne til å inneholde vann er vesentlig lavere enn i varmt vær. I NS-EN 1995-2:2004/NA:2024 NA.2.3.1.2(901) er det angitt at trefuktighet og temperaturendringer normalt ikke trenger å bli kombinert i samme lastkombinasjon. Men hver enkelt vurderes for seg.

Temperaturutvidelse

Det er utarbeidet et nytt nasjonalt tillegg til gjeldende Eurokode for trebruer, NS-EN 1995-2:2004/NA:2024 punkt NA.2.3.1(902) angir:

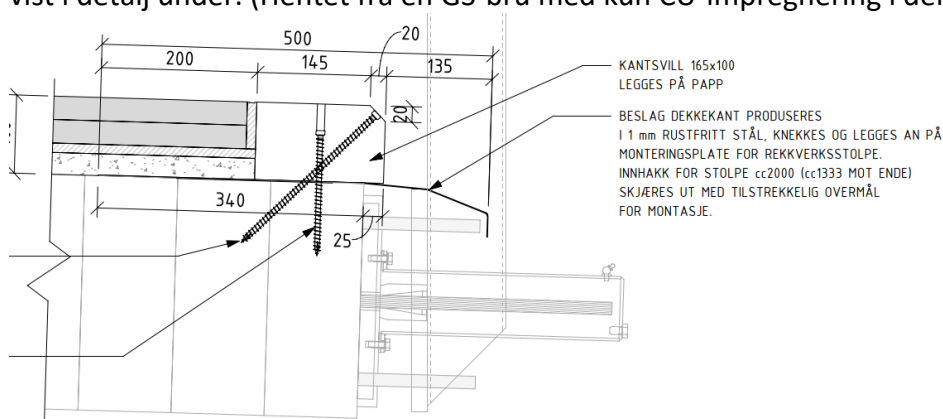
- Temperaturbevegelser
 - o 0,003 mm/(m°C) i fiberretning
 - o 0,04 mm/(m°C) på tvers av fiberretning
- For massive tredekker med slitelag av asfalt gjelder
 - o $T_{e,max} = T_{max}$
 - o $T_{e,min} = T_{min}$
 - o $\Delta T_{M,heat} = 10 \text{ °C}$
 - o $\Delta T_{M,cool} = 10 \text{ °C}$

Fra NS-EN 1991-1-5:2003+NA:2008 så er den største maksimaltemperaturen i Norge 36 grader, og den minste -50. Man kan som eksempel anta en montasjetemperatur på 10 grader så vil den største temperaturdifferansen (kontraksjon) være på 60 grader. For enkeltspennsplatebruer så er det prosjektert G/S-bruer opp mot 28 meter. Dette gir da en total lengdeutvidelse på 5 mm. Til sammenligning vil en betongbru på 28 m ha en utvidelse på $10 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1} \cdot 28 \text{ m} \cdot 60 \text{ °C} = 17 \text{ mm}$.

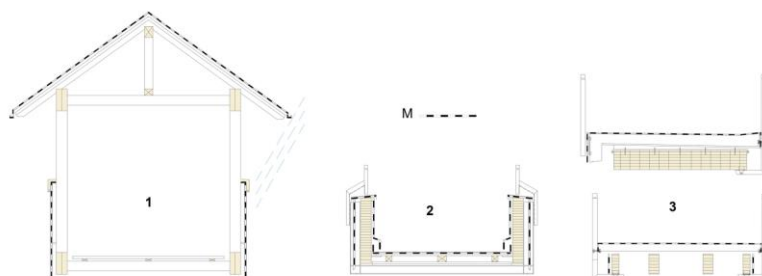
Det finnes lenger flerspennsbruer, f.eks. 100m, og dette gir 18 mm lengdeutvidelse.

Fuktbeskyttelse

Det tillates i dag ikke bruk av kreosot, men det finnes andre gode måter å fuktbeskytte en platebru. Normalt blir dekket beskyttet fra overside iht SVVs brudetalj K12.2.1a) og sidekant med ustikkende beslag. For å beskytte sidekant av dekket kan kantbeslag enkelt føres lengre ut som vist i detalj under. (Hentet fra en GS-bru med kun CU-impregnering i dekket)



I prEN 1995-2 er angitt også membranbeskyttelse mellom belegning og trevirke, se utklipp under. Ved full fuktisolering fra direkte eksponering av vann er det kun endringer i relativ fuktighet som endrer fuktinnholdet i bruplata fra undersiden.



Key

- M Membrane or weather-resistant layer
- 1 Covered pedestrian bridge (bridge with a roof)
- 2 Trough bridge
- 3 Deck bridges

Figure 3.1 — Examples of protected bridges

For å finne dimensjonerende utvidelse for en platebru pga. fukt så brukes NS-EN 1995-2:2004/NA:2024 punkt NA.2.3.1(903). Denne angir, for gran og furu,

- a) 0,1 mm/(mΔM) i fiberretning
- b) 2,5 mm/(mΔM) på tvers av fiberretning.

ΔM er forventet årlig variasjon i trefuktighet fra gjennomsnittlig årlig trefuktighet over tverrsnittet i prosent. Tabell NA.2(903) angir ΔM for forskjellige tverrsnittsdimensjoner. Og NA.2.3.1(903.3) angir at endringer i fuktnivå fra produksjonstidspunkt til brua stabiliserer seg normalt kan neglisjeres for klimaklasse 2.

Tabell NA.2(903) — ΔM for bruer i klimaklasse 2

Bredde b_{av}^a	≤ 100 mm	200 mm	400 mm	700 mm	≥ 1000 mm
ΔM_b	±3,0 %	±2,5 %	±1,8 %	±0,9 %	0,0 %

^a b_{av} er gjennomsnittlig bredde av tverrsnittet mellom to eksponerte flater. Ved ensidig eksponerte flater så som dekker med fuktmembran regnes bredden som to ganger dybden.

^b Mellomliggende verdier kan interpoleres lineært.

Kommentar fukt og temperatur

Fukt og temperatur fører begge til endringer av størrelsen på trevirke. Ved å bruke fremgangsmåten over så kan man regne ut ved hvilke «tilstander» fukt eller temperatur er dimensjonerende. Her ser man at en temperaturendring på 60 grader fører til $0.003 \cdot 60 / 0.1 = 1.8$ % utvidelse. Dette tilsvarer fuktutvidelsen til en bruplate med tykkelse på 200mm. En så tynn platebru er langt utenfor normalen og temperatur vil derfor normalt være styrende for utvidelse og kontraksjon i lengderetning.

Konklusjon

Beregningene over viser at om man følger dagens regelverk så er platebruer i tre et godt og sikkert brualternativ. De viser også at platebruer i tre har generelt stor robusthet. Med dette mener vi at denne brutypen styres vesentlig av bruksgrensekrav, og har ikke utmattingsproblemer med mindre spesielle trafikksituasjoner skal taes hensyn til. Beregningene over viser også at effektene av temperatur eller fukt bare fører til utvidelser som enkelt kan håndteres ved endeopplegg. Det er likevel viktig med spesifikk kunnskap om materialets egenskaper for å unngå ikke-passende løsninger.

RÅDGIVENDE INGENIØRERS FORENING

Essendropsgate 3
Boks 5491 Majorstuen
0305 OSLO

E-post rif@rif.no

Internett www.rif.no/

