BANE NOR

Av: John Magne Hembre (Konstruksjoner og konstruksjonsmaterialer)

Dato: 21.08.2024

Sidekontroll: Carlos Encinas Sabio (Konstruksjoner og konstruksjonsmaterialer)

Notat; Ny lastmodell for bruer og konstruksjoner på Ofotbanen

1 Sammendrag

Det foreslås endringer i teknisk regelverk for å gjøre lastmodellen for dimensjonering av bruer og konstruksjoner på Ofotbanen i overenstemmelse med metodikk i Eurokode/TSI, samt Infrastruktureiers ønske om økt framtidig belastning. Endringsforslaget omfatter flere krav i regelverket, og er gjengitt i punkt 6.

2 Bakgrunn

Dagens krav til lastmodell for dimensjonering av bruer og konstruksjoner på Ofotbanen i Teknisk regelverk samsvarer ikke til infrastruktureiers forventninger til utviklingen av trafikken på Ofotbanen mellom Narvik og riksgrensen, og den fører til unødvendige komplikasjoner knyttet til TSI-sertifisering av nybygd infrastruktur. Det undersøkes derfor om Teknisk regelverk bør revideres slik at Bane NOR stiller liknende krav til dimensjonering av bruer og konstruksjoner på Ofotbanen som Trafikverket gjør på «Malmbanan» mellom Kiruna og riksgrensen i Sverige.

3 Dagens krav i Teknisk regelverk, kapittel 525.5 «Laster»

Figur 1 - Figur 4 gjengir hvor dagens lastmodell for bruer og konstruksjoner langs Ofotbanen er omtalt i TRV kapittel 525.5 «Laster». Oppsummert stilles det krav om at det skal benyttes en lastmodell med geometri tilsvarende LM 71, men hvor aksellasten er økt med 20 % fra 250 kN til 300 kN og linjelasten med 50 % fra 80 kN til 120 kN. α-faktor skal settes lik 1,0. Eksentrisitet skal betraktes tilsvarende som for LM 71. Bortsett fra at det skal benyttes årlig trafikkvolum for Ofotbanen er det ikke nærmere spesifisert hvordan utmatting skal beregnes. Hvis ikke annet opplyses skal det da benyttes standard blandet trafikk i henhold til NS-EN 1991-2. [1] [2]

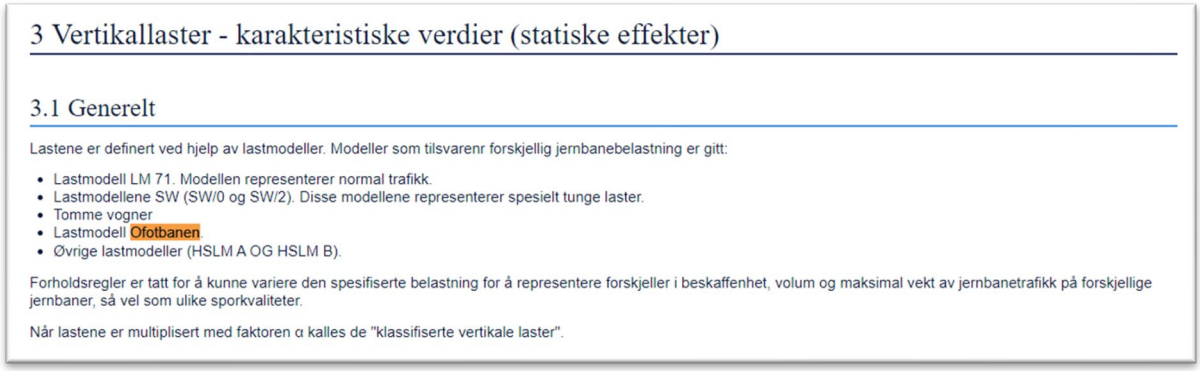
Dagens krav til lastmodell på Ofotbanen er problematisk fordi:

- Dagens lastmodell oppfyller ikke forventningen Infrastruktureier har til fremtidig belastning av Ofotbanen. Områdedirektør informerer i en uttalelse fra 2022 at Bane NOR og Trafikverket allerede i 2013-2015 ble enige om at en framtidig aksellast på 40 tonn og metervekt på 16 tonn/m skal legges til grunn for dimensjonering av underbygning ved nybygging og større ombygginger, men altså uten at dette så langt har blitt innarbeidet som krav i teknisk regelverk.

- Dagens lastmodell avviker fra metodikken med α-faktor i NS-EN 1991-2, noe som gjør at lasteffekter som slingrelast, akselerasjon, bremsing og SW/0 for kontinuerlige bruer ikke skaleres opp sammen med vertikallastene. Dette kompliserer TSI-sertifisering og fører i beste fall til merarbeid for å bestemme disse verdiene ved prosjektering, eller i verste fall til feilprosjektering hvis man tolker regelverket til at verdier for LM 71 med α-faktor lik 1,0 skal benyttes.

- Det gis ingen føringer i regelverket for trafikksammensetning ved utmattingsberegninger. Standard blandet trafikk i henhold til NS-EN 1991-2 alene kan ikke sies å være en representativ trafikksammensetning for utmattingsberegninger på Ofotbanen.

- Vertikallastene for Ofotbanen er ikke hensyntatt ved angivelse av «Ekvivalent vertikal trafikklast bak landkar, vinger og støttemurer» i TRV kapittel 525.4 punkt 3.7.4.



3 Vertikallaster - karakteristiske verdier (statiske effekter)

3.1 Generelt

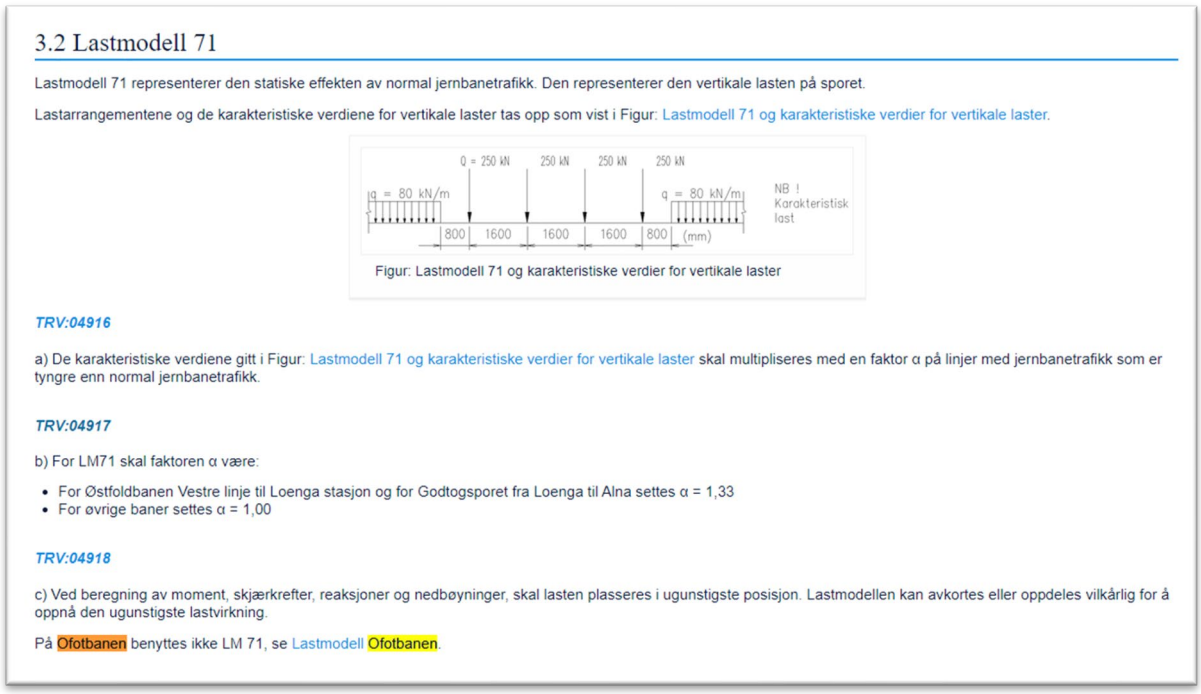
Lastene er definert ved hjelp av lastmodeller. Modeller som tilsvarenr forskjellig jernbanebelastning er gitt:

- Lastmodell LM 71. Modellen representerer normal trafikk.
- Lastmodellene SW (SW/0 og SW/2). Disse modellene representerer spesielt tunge laster.
- Tomme vogner
- Lastmodell Ofotbanen.
- Øvrige lastmodeller (HSLM A OG HSLM B).

Forholdsregler er tatt for å kunne variere den spesifiserte belastning for å representere forskjeller i beskaffenhet, volum og maksimal vekt av jernbanetrafikk på forskjellige jernbaner, så vel som ulike sporkvaliteter.

Når lastene er multiplisert med faktoren α kalles de "klassifiserte vertikale laster".

Figur 1: Henvisning til vertikal lastmodell for Ofotbanen under «Vertikallaster – karakteristiske verdier (statiske effekter), Generelt» [1]



3.2 Lastmodell 71

Lastmodell 71 representerer den statiske effekten av normal jernbanetrafikk. Den representerer den vertikale lasten på sporet.

Lastarrangementene og de karakteristiske verdiene for vertikale laster tas opp som vist i Figur: Lastmodell 71 og karakteristiske verdier for vertikale laster.

Figur: Lastmodell 71 og karakteristiske verdier for vertikale laster

TRV:04916

a) De karakteristiske verdiene gitt i Figur: Lastmodell 71 og karakteristiske verdier for vertikale laster skal multipliseres med en faktor α på linjer med jernbanetrafikk som er tyngre enn normal jernbanetrafikk.

TRV:04917

b) For LM71 skal faktoren α være:

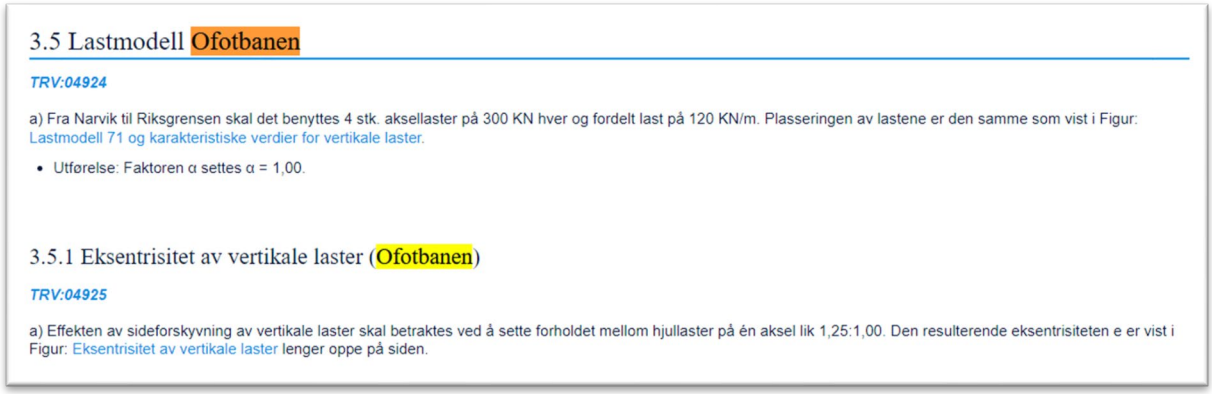
- For Østfoldbanen Vestre linje til Loenga stasjon og for Godtogsporet fra Loenga til Alna settes α = 1,33
- For øvrige baner settes α = 1,00

TRV:04918

c) Ved beregning av moment, skjærkrefter, reaksjoner og nedbøyninger, skal lasten plasseres i ugunstigste posisjon. Lastmodellen kan avkortes eller oppdeles vilkårlig for å oppnå den ugunstigste lastvirkning.

På Ofotbanen benyttes ikke LM 71, se Lastmodell Ofotbanen.

Figur 2: Henvisning til vertikal lastmodell for Ofotbanen under «Vertikallaster – karakteristiske verdier (statiske effekter), Lastmodell 71» [1]



3.5 Lastmodell Ofotbanen

TRV:04924

a) Fra Narvik til Riksgrensen skal det benyttes 4 stk. aksellaster på 300 KN hver og fordelt last på 120 KN/m. Plasseringen av lastene er den samme som vist i Figur: Lastmodell 71 og karakteristiske verdier for vertikale laster.

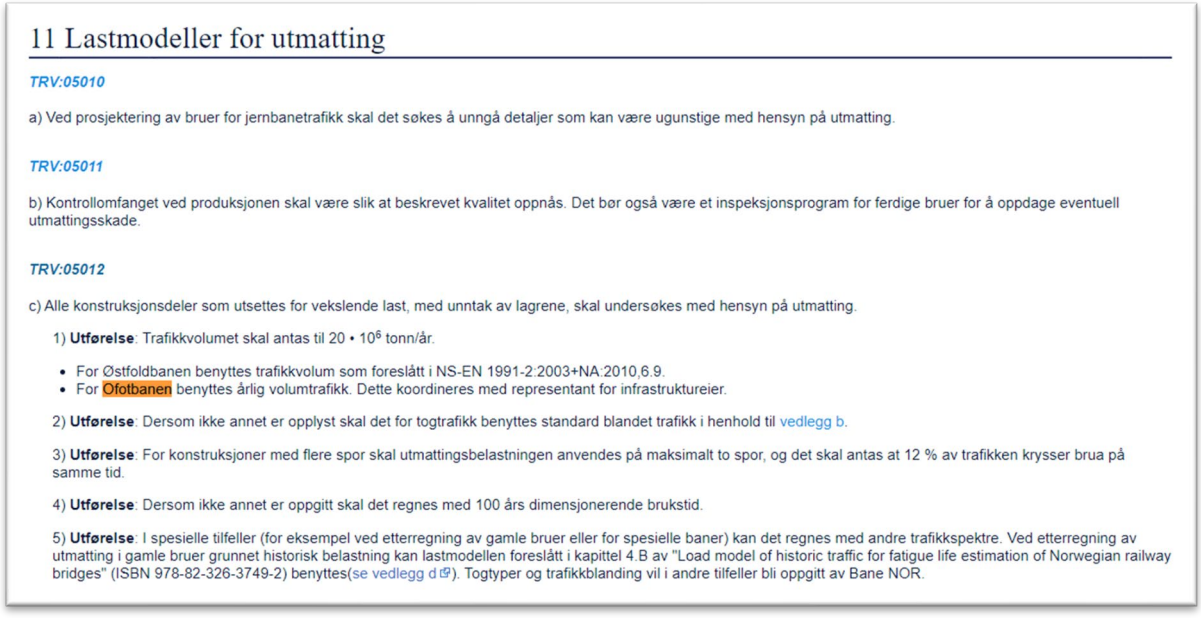
- Utførelse: Faktoren α settes α = 1,00.

3.5.1 Eksentrisitet av vertikale laster (Ofotbanen)

TRV:04925

a) Effekten av sideforskyvning av vertikale laster skal betraktes ved å sette forholdet mellom hjullaster på én aksel lik 1,25:1,00. Den resulterende eksentrisiteten e er vist i Figur: Eksentrisitet av vertikale laster lenger oppe på siden.

Figur 3: Beskrivelse av vertikal lastmodell for Ofotbanen under «Vertikallaster – karakteristiske verdier (statiske effekter), Ofotbanen» [1]



11 Lastmodeller for utmatting

TRV:05010

a) Ved prosjektering av bruer for jernbanetrafikk skal det søkes å unngå detaljer som kan være ugunstige med hensyn på utmatting.

TRV:05011

b) Kontrollomfanget ved produksjonen skal være slik at beskrevet kvalitet oppnås. Det bør også være et inspeksjonsprogram for ferdige bruer for å oppdage eventuell utmattingsskade.

TRV:05012

c) Alle konstruksjonsdeler som utsettes for vekslende last, med unntak av lagrene, skal undersøkes med hensyn på utmatting.

1) **Utførelse**: Trafikkvolumet skal antas til 20 • 10^6 tonn/år.

- For Østfoldbanen benyttes trafikkvolum som foreslått i NS-EN 1991-2:2003+NA:2010,6.9.
- For Ofotbanen benyttes årlig volumtrafikk. Dette koordineres med representant for infrastruktureier.

2) **Utførelse**: Dersom ikke annet er opplyst skal det for togtrafikk benyttes standard blandet trafikk i henhold til vedlegg b.

3) **Utførelse**: For konstruksjoner med flere spor skal utmattingsbelastningen anvendes på maksimalt to spor, og det skal antas at 12 % av trafikken krysser brua på samme tid.

4) **Utførelse**: Dersom ikke annet er oppgitt skal det regnes med 100 års dimensjonerende brukstid.

5) **Utførelse**: I spesielle tilfeller (for eksempel ved etterregning av gamle bruer eller for spesielle baner) kan det regnes med andre trafikkspektre. Ved etterregning av utmatting i gamle bruer grunnet historisk belastning kan lastmodellen foreslått i kapittel 4.B av "Load model of historic traffic for fatigue life estimation of Norwegian railway bridges" (ISBN 978-82-326-3749-2) benyttes(se vedlegg d). Togtyper og trafikkblanding vil i andre tilfeller bli oppgitt av Bane NOR.

Figur 4: Beskrivelse av lastmodell for utmatting for Ofotbanen under «Lastmodeller for utmatting» [1]

4 Dagens krav i Trafikverkets TRVINFRA-00227

Figur 5 - Figur 7 gjengir Trafikverkets beskrivelse av dagens lastmodell for bruer og konstruksjoner langs «Malmbanan» i Sverige mellom Kiruna og riksgrensen, fra dokumentet TRVINFRA-00227. [3]

b	6.3.2(3)P	För bro på sträcka med tung massgodstrafik ska $\alpha = 1{,}60$ användas. På andra sträckor ska $\alpha = 1{,}33$ användas. Byggherren ska ange vilket av värdena $\alpha = 1{,}33$ eller $\alpha = 1{,}60$ som ska användas.

Figur 5: Angivelse av alfafaktor for strekninger med tung massegodstrafikk [3]

l	6.5.1(10)	För tung massgodstrafik överskrider största hastighet normalt inte 120 km/h. Om hastighet för tung massgodstrafik överstiger 120 km/h ska byggherren ange krav för bestämning av centrifugalkraft.

Figur 6: Føring for bestemmelse av sentrifugalkraft ved tung massegodstrafikk i hastigheter over 120 km/t [3]

v	6.9(2) 6.9(3)	För bro som dimensioneras för $\alpha = 1{,}33$ ska trafiksammansättning enligt tabell 7.1-7 tillämpas. För bro som dimensioneras för $\alpha = 1{,}60$ ska trafiksammansättning enligt tabell 7.1-7 samt enligt tågtyp 13S nedan tillämpas. Tågtyp 13S har följande specifikation: • axellast = 35 ton • antal axlar per vagn = 4 • antal vagnar per tåg = 68 • vagnslängd = 10,3 m • avstånd till axlar från vardera vagnsände 0,9 m respektive 2,7 m. • fritt avstånd mellan inneraxlar 4,9 m. • högsta tåghastighet = 60 km/h • tågets massa = 9520 ton • antal tåg per dygn =10 • trafikvolym = $34{,}7 \cdot 10^6$ ton/år.

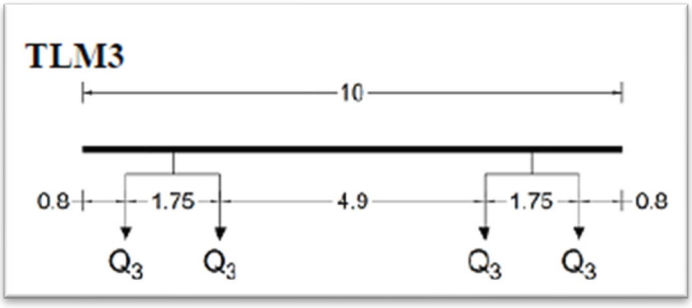
Figur 7: Lastmodell for utmatting for strekninger med tung massegodstrafikk [3]

5 Diskusjon

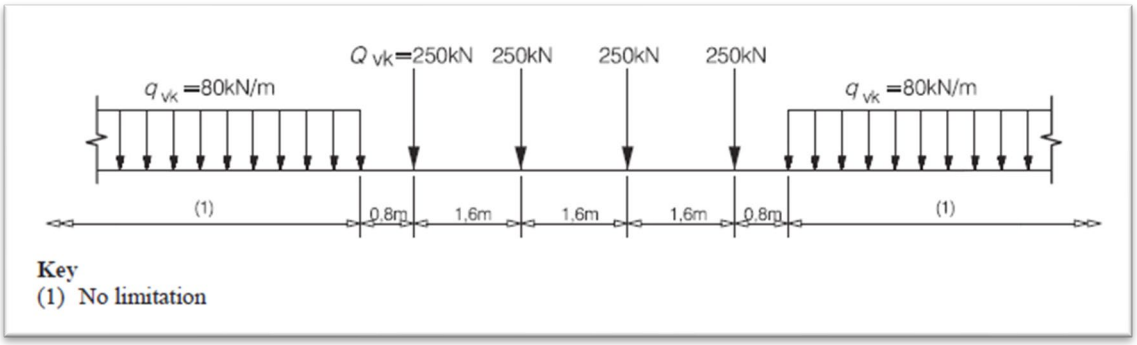
Trafikverkets lastmodell for ULS/SLS beskrevet i punkt 4 følger dimensjoneringsmetodikken fra EN 1991-2 med bruk av LM71 og alfafaktor, og ivaretar dermed også horisontale laster som slingrekraft, akselerasjon og bremsing. Lastvirkningen av togtrafikk mot landkar, vinger og støttemurer kan beskrives med referanse til Eurokode, og TSI-sertifisering kan utføres uten unødvendige komplikasjoner.

Figur 8 viser Trafikverkets vogngeometri TLM3, som er basert på dagens malmvogner. [4] Figur 9 viser geometri, og karakteristiske vertikallaster, for LM71. [2] Sammelikner man disse lasttogene medfører TLM3 med Q_3 = 400 kN en jevnt fordelt linjelast på 160 kN/m, som er i overenstemmelse med Infrastruktureiers forventning til dimensjonering av underbygningen på Ofotbanen. LM71 med α = 1,6 fører til en høyere lokal belastning over bufferen på grunn av kortere avstand mellom akslinger, men til en lavere jevnt fordelt belastning for lange tog på 80 kN/m * 1,6 = 128 kN/m.

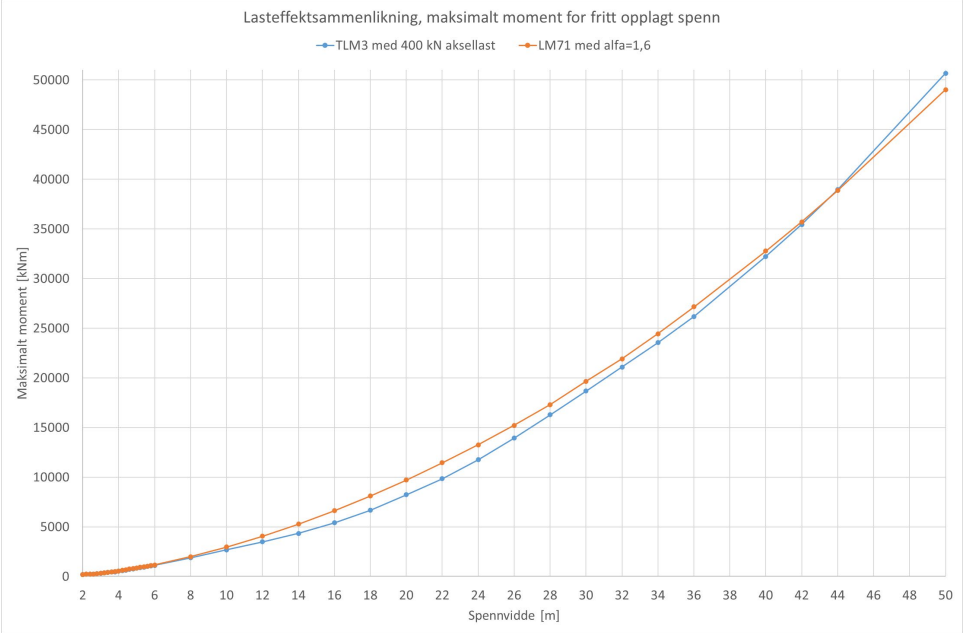
Det følger av denne sammenlikningen at LM71 med α = 1,6 vil være konservativ i forhold TLM3 med Q_3 = 400 kN for korte spennvidder, men ikke for lengre spennvidder. Som vist på Figur 10 og Figur 11 går skjæringspunktet ved rundt 42 m og 25 m spennvidde for henholdsvis maksimalt moment og maksimal skjærkraft i fritt opplagte spenn. LM71 med α = 1,6 vil altså ikke oppfylle Infrastruktureiers forventning til dimensjonering for jevnt fordelt linjelast på 160 kN/m ved spennvidder over ca. 25 m. En bruressurs i Trafikverket uttaler at han ikke kjenner til at man har bygd bruer med så lange spennvidder på strekninger med tung massegodstrafikk i Sverige, men at de i så fall ville utført en klassifisering av brua etter EN 15528:2021 for å kontrollere den opp mot TLM3 med Q_3 = 400 kN og en realistisk maksimal hastighet på 60 km/t.



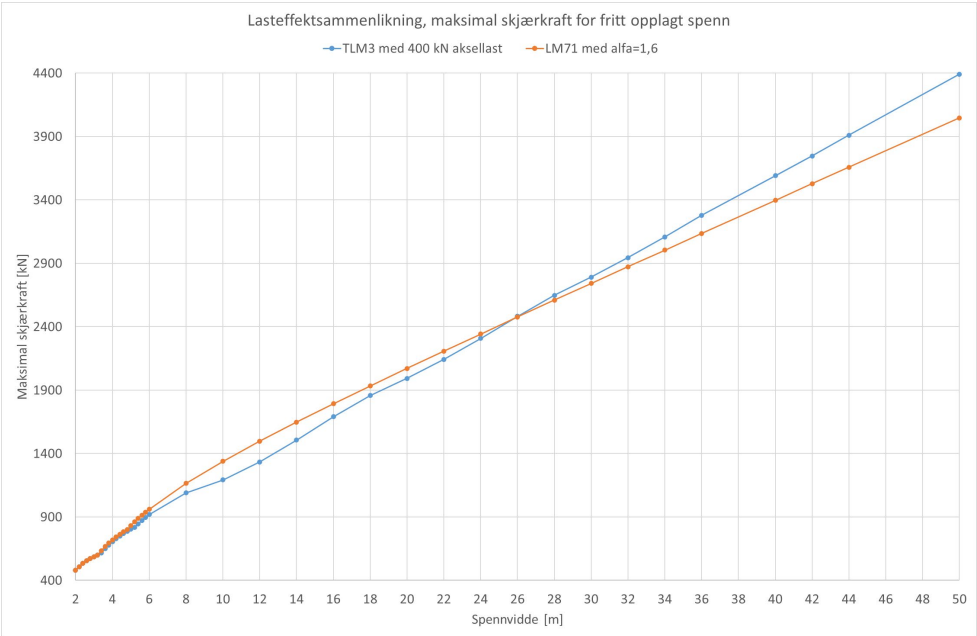
Figur 8: Trafikverkets vogngeometri TLM3, som representerer dagens malmvogner [4]



Figur 9: Geometri, LM71 (med karakteristiske vertikallaster) [2]



Figur 10: Sammenlikning av maksimalt moment ved fritt opplagt spenn for TLM3 med 400 kN aksellast og LM71 med alfafaktor lik 1,6.



Figur 11: Sammenlikning av maksimal skjærkraft ved fritt opplagt spenn for TLM3 med 400 kN aksellast og LM71 med alfafaktor lik 1,6.

Trafikverkets lastmodell for utmatting langs strekninger med tung massegodstrafikk gir en beskrivelse til hvordan selve massegodstrafikken skal vurderes *i tillegg til* en trafikkblanding basert på EN1991-2 Annex D. Denne er formulert litt mildere enn malmvognгeometrien beskrevet av TLM3. Det anbefales at man på Ofotbanen konservativt forholder seg til TLM3 også for utmattingsberegninger.

6 Forslag til ny lastmodell for bruer og konstruksjoner langs Ofotbanen

Det foreslås følgende endringer i Teknisk regelverk kapittel 525.5:

- Alle nåværende henvisninger til Ofotbanen (se Figur 1 - Figur 4) fjernes. Dette innebærer at krav TRV:04924 og TRV:04925 utgår.

- Overskrift for punkt 3 endres fra «Vertikallaster – karakteristiske verdier (statiske effekter)» til «Vertikallaster – karakteristiske verdier»

- Teksten under punkt 3.1 «Generelt» rettes, presiseres, og gjøres om til en veiledningstekst:

3.1 Generelt

Vertikale lastmodeller er definert basert på:

• Lastmodell LM 71 (og lastmodell SW/0 for kontinuerlige bruer), som representerer den statiske effekten av normal togtrafikk.
• Lastmodell SW/2, som representerer den statiske effekten av ekstraordinær tung togtrafikk (spesialtransport).
• Lastmodell «Tomme vogner», som representerer effekten av tomme vogner.
• Lastmodell HSLM, som sammen med et utvalg av «Virkelige Tog» representerer belastningen fra passasjertog ved hastigheter over 200 km/h.

Disse lastmodellene varieres som anvist for å representere forskjeller i jernbanetrafikk på forskjellige banestrekninger, så vel som ulike sporkvaliteter.

Når de karakteristiske vertikale lastene i Lastmodell LM 71 og Lastmodell SW/0 er multiplisert med faktoren α kalles de "klassifiserte vertikale laster".

- Krav TRV:04922 endres til å henvise til α for LM71:

TRV:04922

For SW/0 skal faktoren α være som angitt i TRV:04917.

- Krav TRV:04917 endres til:

  TRV:04917

  Faktoren α skal være:

  - For Ofotbanen settes α = 1,60 for bruer med spennvidde ≤ 25 meter. For bruer med lengre spennvidder skal lastmodell avklares med Bane NOR i det enkelte prosjekt.
  - For Østfoldbanen Vestre linje til Loenga stasjon og for Godtogsporet fra Loenga til Alna settes α = 1,33
  - For øvrige baner settes α = 1,00

- Under punkt 525.5.11 «Utmatting» endres krav TRV:05012, 1) Utførelse, til:

  1) Utførelse: Dersom ikke annet er oppgitt skal trafikkvolumet antas til $20 \bullet 10^6$ tonn/år.

  - For Østfoldbanen benyttes trafikkvolum som foreslått i NS-EN 1991-2:2003+NA:2010 punkt 6.9(4).

- Det innføres et nytt krav, TRV:XXXXX, under punkt 525.5.11 «Utmatting»:

  TRV:XXXXX

  På Ofotbanen skal sporbærende konstruksjoner beregnes for utmatting i henhold til trafikkvolum med standard blandet trafikk som beskrevet i TRV:05012, i tillegg til et lasttog for utmatting med følgende betingelser som representerer trafikk med jernmalm:

  - Aksellast = 35 tonn
  - Antall aksler per vogn = 4
  - Lengde per vogn = 10 m
  - Avstand fra hver vognende til aksler = 0,8 m og 2,55 m
  - Avstand mellom indre aksler = 4,9 m
  - Antall vogner per tog = 68
  - Togets masse = 9520 tonn
  - Antall tog per døgn = 10
  - Høyeste hastighet = 60 km/h

- «Ekvivalent vertikal trafikklast bak landkar, vinger og støttemurer» vil behandles generelt i en egen endringsartikkel, #4120. For nytt krav til Ofotbanen henvises derfor til denne.

7 Referanser

[1] Bane NOR, «Teknisk regelverk,» 2024. [Internett]. Available: https://trv.banenor.no/wiki/Forside.

[2] NS-EN 1991-2:2003+NA:2010: Eurokode 1: Laster på konstruksjoner, Del 2: Trafikklast på bruer, Brussel: CEN, 2003 / 2010 (NA).

[3] Trafikverket, «Krav med rådstekst, TRVINFRA-00227 Version 4.0, Bro och broliknande konstruktion, Byggande,» Trafikverket, 2023.

[4] Trafikverket, «Krav med rådstekst, TRVINFRA-00331 Version 1.0, Bro och broliknande konstruktion, Bärighetsberäkning,» Trafikverket, 2022.