

Navid Zarifi

Metodikk for vurdering av tillatt aksellast og metervekt for jernbanebruer med spesialtransporter

Masteroppgave i Erfaringsbasert masterprogram - Jernbane (studieretning)

Veileder: Elias Kassa

Medveileder: Alf Helge Løhren og Ian Willoughby

Oktober 2022



Kirow kran KCR 1200

Navid Zarifi

Metodikk for vurdering av tillatt aksellast og metervekt for jernbanebruer med spesialtransporter

Masteroppgave i Erfaringsbasert masterprogram - Jernbane
(studieretning)

Veileder: Elias Kassa

Medveileder: Alf Helge Løhren og Ian Willoughby

Oktober 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for arkitektur og teknologi



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet av Navid Zarifi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) - Erfaringsbasert masterprogram, studieretning jernbane.

Masteroppgave skrives som avsluttende studie som utgjør 30 studiepoeng, og er skrevet gjennom året 2022.

Jeg valgte tema «Metodikk for vurdering av tillatt aksellast og metervekt for jernbanebruer med spesialtransporter», siden jeg jobber med bruer til daglig. Jeg ønsket å se nærmere på hvor stor belastning den valgte spesialtransporten (Kirow kran KCR 1200) ville påføre bruene på en spesifikk strekning i forhold til de tillatte laster som den nye Eurostandarden NS-EN 15528:2021 definerer.

Etter valg av temaet, satte jeg opp en del forskningsspørsmål som jeg diskuterte med min veileder Elias Kassa fra NTNU og fikk gode råd til å velge ut de spørsmålene som hadde bra vitenskapelig vinkling og var mest relatert til temaet.

Videre måtte jeg bruke lang tid på teoridelen ved å søke etter relevante faglitteratur (SVV sine håndbøker og Bane NOR sitt tekniske regelverk) samt brukte jeg godkjente internettsider for ha et godt teorigrunnlag.

Det var også nødvendig å gjøre enkelte endringer for å begrense oppgavens omfang både pga. begrenset tid og, bruk av andre metoder som møter/intervjuer for å få inn tilstrekkelig informasjon som ble ansett som mer hensiktsmessig.

Takk til min hovedveileder Elias Kassa (tidligere ansatt) ved NTNU, for en god hjelp, råd og tilbakemeldinger gjennom arbeidet med oppgaven.

Takker også Ian Willoughby og Alf Helge Løhren ved Bane NOR for problemstilling, veiledning og hjelp til fagliginnhold.

Videre takker jeg Kamran Aziz, Nemanja Kocic, Tormod Barland Skar og Bjørn Biribakken ved Bane NOR som har bistått og tatt seg tid til å møte meg for samtaler og intervjuer.

Oslo, oktober 2022

Navid Zarifi

Navid Zarifi

Sammendrag

Bane NOR mottar med jevne mellomrom søknader om fremføring av jernbanemateriell (spesialtransport) som overskrider maksimalverdier for aksellast eller metervekt. Normalt kan behandling av slike søknader ta litt tid, siden det må foretas en spesifikk vurdering av en strekning og lasten som søknaden gjelder. Etter den vurderingen vil enten søknaden innvilges eller avslås.

Hensikten med oppgaven er å gi en begrunnelse for hvor store avvik fra den nye Eurostandarden som kan tillates i et forbedringsforslag til søknadsprosessen med tanke på saksbehandlingstid og økt sikkerhet/kvalitet på resultat for dispensasjonssøknaden. Videre skal det settes fokus på hvor stor belastning Kirow kran KCR 1200 vil påføre bruene gjennom en spesifikk strekning i forhold til de tillatte laster som den nye Eurostandarden NS-EN 15528:2021 definerer. Det er viktig å bestemme en fornuftig hastighet som denne spesialtransporten skal fremføres gjennom en spesifikk strekning for at den ikke skal skade bruenes bæreevne pga. dynamiske bevegelser.

Opgaven kommer frem til at saksbehandlingstid vil være avhengig av type strekning og antall bruer som trenger en spesifikk vurdering f.eks. om bruene er bygd før eller etter lastmodell 1899 mht. dimensjonering av lastklasse, men søknadsprosessen vil som normalt ta opp til ca. tre uker. De fleste søknader om fremføring av spesialtransport blir innvilget, men det vil bli gitt restriksjoner/merknader (transporten skal fremføres med ledsager og spesifikk hastighet over bruer f.eks. 5 km/t) som transportøren må følge. Merknader er basert på vurderingene som blir gjort på en spesifikk strekning.

En spesialtransport kan være en Kirow kran KCR 1200, mobile omformere eller en trafo. Den kan påvirke brukomponenter med hensyn til brukomponentens alder, materiale og brutype. Typisk påvirkning vil kunne omfatte konstruksjonsbæreevne (samvirkekonstruksjon), pilarer, landkarene, fagverkstaver og hengestenger.

I BaneData ligger det nyttig informasjon om bruenes bruksklasse, aksellast og metervekt som søknadene vurderes etter, og hvis den ikke er pålitelig nok, vil søknadene bli behandlet på et feil grunnlag. Det anbefales en gjennomgang av den for å kontrollere dataene som ligger der, og når det er gjort, har man kvalitet sikret grunnlaget for å kunne behandle fremtidige søknader effektivt. Da vet man at den og den strekning har disse bruer som har disse skader (restriksjoner skal vurderes) eller motsatt, dvs. en spesialtransport kan ha høyere hastighet på bruer som har god bæreevne på den andre delen av strekningen.

Når en spesialtransport føres over en brukonstruksjon, vil krefter (alle typer laster både i horisontal- og vertikalplanet) tas opp først av den øvre delen av en brukonstruksjon. Opptreden av krefter vil være avhengig av type konstruksjon (tre, stål eller betong), deretter vil disse kreftene fordeles videre inn på pilarer. Til syvende og sist vil krefter overføres til landkarene på hver side av brukonstruksjon som to knutepunkter.

For at en spesialtransport ikke skal påføre skade på bruer, er det viktig at tilstandskontroll på bruene forbedres. Det bør være et dataverktøy som kan flagge ut evt. feil/mangler på de bruene som har spesielt kritisk tilstand, slik at hastigheten reduseres til den maksimalt tillatte hastigheten. På den måten forhindres overskridelse av aksellast eller metervekt i forhold til toleranseverdi på bruenes bæreevne.

Inspeksjonssystem (datainnsamling om bruenes tilstand) bør tilpasses for å avdekke eventuelle skader på bruer, dvs. om det har vært rehabilitering på bruene samt informasjon om drift og vedlikehold. Statens vegvesen har et slikt system hvor de kontakter/varsler bruforvalterne som har konstruksjonens vedlikeholdsansvar om at det skal fremføres en spesialtransport på deres bruer.

Abstract

Bane NOR regularly receives applications for the transport of railway material (special transport) that exceed the maximum values for axle load or meter weight. Normally, processing such applications can take some time, since a specific assessment must be made of a route and the load to which the application applies. After that assessment, the application will either be approved or rejected. The purpose of the assignment is to provide a justification for how large deviations from the new Eurostandard can be allowed in an improvement proposal for the application process with regard to processing time and increased certainty/quality of the result for the dispensation application. Furthermore, the focus will be on how much load the Kirow crane KCR 1200 will apply to the bridges through a specific stretch in relation to the permitted loads defined by the new Eurostandard NS-EN 15528:2021. It is important to determine a reasonable speed at which this special transport is to be carried through a specific section so that it does not damage the load-bearing capacity of the bridges due to dynamic movement.

The assignment concludes that the processing time will depend on the type of section and the number of bridges that need a specific assessment, e.g. whether those bridges were built before or after the load model 1899 regarding dimensioning of load class, but the application process will normally take up to approx. three weeks. Most applications for special transport will be granted, but restrictions/notes will be given the transport must be carried out with a companion and at a specific speed over bridges, e.g. 5 km/h, which the transporter must follow. Notes are based on the assessments made for a specific truck section. One example of a special transport can be a Kirow crane KCR 1200, mobile converters or a transformer. It can affect bridge components with regard to the load-bearing capacity due to bridge component's age, material and bridge type. Typical impacts could include structural load-bearing capacity, of the bridge pillars, bridge abutment, truss rods and suspension bridge cables or rods.

BaneData contains useful information about the bridges' class of use, axle load and meter weight, according to which the applications are assessed. If the information it is not reliable enough, the applications will be processed on the wrong basis. It is recommended that it be reviewed in order to check the data contained there, and once this has been done, the basis for processing future applications effectively has been ensured. Then you know that this and that stretch has these bridges that have these damages (restrictions must be assessed) or vice versa, i.e. a special transport can have a higher speed on bridges that have good bearing capacity on the other part of the stretch.

When a special transport is carried over a bridge structure, forces (all types of loads both in the horizontal and vertical plane) will be taken up first by the other part of a bridge structure. The occurrence of forces will depend on the type of construction (wood, steel or concrete), then these forces will be further distributed to the pillars. Ultimately, forces will be transferred to the bridge abutment on either side of the bridge structure as two nodes.

In order for a special transport not to cause damage to bridges, it is important that condition checks on the bridges are improved. There should be a computer tool that can flag possible errors/shortcomings on those bridges that are in particularly critical condition, so that the speed is reduced to the maximum permitted speed. In this way, exceeding the axle load or meter weight in relation to the tolerance value of the bridges' carrying capacity is prevented. The inspection system (data collection about the state of the bridges) should be adapted to uncover any damage to bridges, i.e. whether there has been rehabilitation on the bridges as well as information on operation and maintenance. The Norwegian Public Roads Administration has such a system where they contact/notify the bridge managers who are responsible for the construction's maintenance that special transport is to be carried out on their bridges.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Abstract	ii
Figurliste	v
Tabelliste	vi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Oppgavens oppbygning	2
1.2 Formål	2
1.3 Forsknings spørsmål	3
1.4 Metode	3
1.5 Begrensning	3
2 Teori	4
2.1 Jernbanebruer i Norge	4
2.1.1 Steinbru	4
2.1.2 Stålbru	5
2.1.3 Betongbru	6
2.2 Bruk komponenter	6
2.3 Spesialtransport som påvirker bruk komponenter	6
2.4 Bruklassifisering av en jernbanebru	7
2.5 Bruklassifisering på vegnettet	7
2.6 Spesialtransport på jernbane	8
2.6.1 Kirow kran KCR 1200	10
2.6.2 Mobile roterende omformere	10
2.7 Levetidskontroll	11
2.8 Konstruksjonens aldringsmekanismer	12
2.9 Faktorer/påkjenninger som kan påvirke en konstruksjon	12
2.9.1 Tidsavhengig mekanisme	12
2.9.2 Skader/ulykke	13
2.9.3 Ny teknologi/krav	13
2.9.4 Foreldelse	13
3 Laster	13
3.1 Last kategorier	13
3.1.1 Permanente laster	13
3.2 Trafikklastene	14
3.3 Lastmodell for bruer	14

4 Skadetyperne på en bru/konstruksjon	15
4.1 Forskyvning.....	15
4.2 Nedbøyning	15
4.3 Utbøyning	16
4.4 Utglidning	16
4.5 Slitasje/gnissing	16
5 Tillatt aksellast og metervekt iht. Eurostandard	16
5.1 Tidligere standard.....	16
5.2 Gjeldende standard	16
6 Saksstudie	17
6.1 Metodikk for vurdering av bruer på strekning mellom Hønefoss og Bergen, utredning av spesialtransport.....	17
6.2 Jernbanebruer i utvalgt strekning	17
6.3 Behandling av Kirow kran KCR 1200 mht. Eurostandarden	21
7 Analyse	22
7.1 Vurdering av Kirow kran KCR 1200.....	22
7.2 Beregning av største bøyemoment	26
7.3 Beregning av moment i brudgrensetilstand.....	28
7.4 Beregning av baneteknisk vurderinger.....	29
7.5 Bruenes belastningskapasitet.....	30
7.6 Håndtering av spesialtransporter av Statens vegvesen (SVV).....	31
8 Resultater	38
9 Diskusjon	41
10 Konklusjon og videre arbeid	43
10.1 Forbedringsforslag med hensyn til søknadsprosess.....	43
10.2 Videre arbeid	46
11 Referanseliste	47
12 Vedlegg.....	49

Figurliste

Figur 1 Viser en steinbru (Søvik Per Jarle, 2022)	5
Figur 2 Viser fagverk bru (Steinkjerleksikonet, 2022)	5
Figur 3 Viser betongbru (Skoglund, 2021).....	6
Figur 4 Viser en vogn med flere aksler.	7
Figur 5 Klassifisering av laster (Statens vegvesen, 2014)	8
Figur 6 Viser bilde av Kirow kran KCR 1200 (Bane NOR, 2022a)	10
Figur 7 Viser mobile omformer (Bane NOR, 2022a).....	11
Figur 8 Viser mobile omformer med følgevogn (Lund, 2014)	11
Figur 9 Viser lageret klapper sammen pga. stor forskyvning (Jernbanekompetanse, 2022).....	15
Figur 10 Viser rute Hønefoss-Bergen som en del av banestrekninger for spesialtransport i Norge (Bane NOR, 2022a)	17
Figur 11 Viser Kirow kran KCR 1200 (Bane NOR, 2022a).....	22
Figur 12 Viser de alle de 16 aksellastene [kN] (loddrett) mht. akkumulert akselavstand langs Kirow kran KCR 1200 [m] (vannrett).....	23
Figur 13 Viser største bøyemoment 259 kN ved den akkumulerte akselavstand på 28,24 m fra startpunktet (Bane NOR-Moving load, 2021).....	24
Figur 14 Viser plassering av mobilkran med to hjelpevogner (foran og bak) og de forskjellige akselavstandene (Bane NOR, 2022a)	24
Figur 15 Viser de 12 aksellastene og de akkumulerte akselavstandene langs Kirow kran KCR 1200 ...	25
Figur 16 Viser størst bøyemoment 249,1 kN ved den akkumulert akselavstand på 23,72 m fra startpunktet (Bane NOR-Moving load, 2021).....	26
Figur 17 Viser maksimale bøyemoment på brua mht. ovennevnte plassering.....	27
Figur 18 Viser ved avstand på 13,54 som gir det største bøyemomentet 248,05 kNm (Bane NOR - ZDBD, 2022).....	27
Figur 19 Viser maksimalt momentkapasitet for lastmodell 1899 som er faktorisert (moment. 1, 2 og 3) mht. spesialtransport og engangstransport.....	30
Figur 20 Viser to spor med bruksklasser, evt. lette lastspor med avstand fra veikant (Statens vegvesen, 2021).....	34
Figur 21 Viser ett spor med bruksklasse med avstand fra veikant (Statens vegvesen, 2021)	34
Figur 22 Viser bilde av spesialtransport som er 66 meter langt og 3,3 meter bredt som transporterer 332 tonn Statnett transformator på vegnettet (NYE TROMS, 2021)	35
Figur 23 Viser fastmontert spor på bjelke, både vertikal- og horisontalretning. Uheldig metode mht. solslyng (når skinnene ikke kan bevege seg, oppstår store strekk- og trykk i skinnene). (Bane NOR, 2022a).....	44
Figur 24 Betongtrau (solid bærevegg og gjennomgående ballast) som tar kreftene fra svillene både horisontal- og vertikalretning. (Bane NOR, 2022a)	45

Tabelliste

Tabell 1 Viser aksellaster og metervekter pga. bruens bæreevne (Bane NOR, 2022a)	9
Tabell 2 Viser Informasjon om Kirow kran KCR 1200	10
Tabell 3 Viser klassifisering av laster (Statens vegvesen, 2011)	14
Tabell 4 Viser tre utvalgte bruer (VEME, Vesleåa og Bygdøla) som skal brukes i analysen (Bane NOR, 2022a).....	18
Tabell 5 Viser de forskjellige type referansevogner med de spesifikke aksellastene, f.eks. D2 maksimum tillatt aksellast 22,5 kN og tillatt metervekt 6,4 t/m (Standard Norge, 2021).....	19
Tabell 6 Viser vanlig tog og spesialtransport med de tillatte hastigheter (Standard Norge, 2021)	20
Tabell 7 Viser at spesialtransport blir kategorisert iht. denne tabellen (Standard Norge, 2021)	22
Tabell 8 Viser inputtdata for de aksellastene til Kirow kran KCR 1200	23
Tabell 9 Viser inputtdata av antall akslingene, lasten og akkumulert akselavstandene.....	25
Tabell 10 Viser datainputt som må legges inn i Moving load XL-ark (Bane NOR-Moving load, 2021) 25	
Tabell 11 Viser bl.a. skjærkapasitet for lastmodell 1899	29
Tabell 12 Viser analyse av to brulengder 4,0 m og 65,0 m	31
Tabell 13 Viser at tabell 1 revidert (fett skrift) for aksellaster og metervekter pga. bruens bæreevne	40
Tabell 15 Viser liste over alle 48 jernbanebruer i denne strekningen mellom Hønefoss og Bergen (Bane NOR, 2022a)	55

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

På 15- og 1600-tallet var den første utviklingen av skinnegående transport basert på treskinner i verden. Treskinneutviklingen har gått via tynne jernbånd som igjen erstattet av utvalgte jernskinner som ble lagt på langsgående stokker.

Avstanden mellom hjulparene på datidens vogner var 4 fot (8½ tommer - 1435 millimeter), og skinneavstanden og sporvidden som jernbanen ble bygget etter, kom opprinnelig derifra.

Jernbanen ble opprinnelig brukt for å frakte gods, men senere ble den brukt til persontransport.

Videre ble jernbanen også brukt for spesialtransporter av f.eks. malm og kull fra råvarekilden. Disse spesialtransporter hadde en sentral forutsetning for den industrielle utviklingen. Malmtransport på Ofotbanen kan nevnes som et eksempel som ble brukt i Norge i 1902.

Norges første hovedbane med strekning mellom Oslo og Eidsvoll ble åpnet i 1854. Dette var den 13. banen i verden. I 1862 satte Norges statsbaner (NSB) i drift to strekninger Hamar–Grundset og Lillestrøm–Kongsvinger.

På 1800-tallet var den største jernbanebyggingen i Norge med smalspor (1067 mm). Dette ble gjort for å kunne redusere anleggsutgiftene.

I begynnelsen var det hester som ble brukt som trekkraft av vognene. Videre ble det tatt i bruk dampmaskin på jernbanen. Oppfinnelsen av lokomotiv ble konstruert først i 1804, og den teknologien var grunnlag for damplokomotiver som kom på banen senere. I dag er det ca. 50 % av jernbanen elektrifisert i Norge.

Lokomotiv brukes som trekkraft for vognene, og det er tilkoblet til vognene på forskjellige måter. F.eks. kan et lokomotiv være tilkoblet flere vogner eller er et togsett med flere motorvogner. (Wisting, 2021)

I dag mottar Bane NOR med jevne mellomrom søknader om dispensasjon for fremføring av jernbanemateriell (mobile omformere, kraner og trafoer) som overskrider maksimalverdier for aksellast eller metervekt. Normalt kan behandlingen av en slik søknad ta litt tid, siden det må foretas en spesifikk vurdering av strekningen og lasten som søknaden gjelder. Etter den spesifikke vurderingen vil dispensasjonssøknaden enten innvilges eller avslås.

I oppgaven foretas analyse av Kirow kran KCR 1200 som brukes til montering av sporveksel som danner grunnlag for vurdering om aksellast og metervekt mht. den strekningen det søkes om.

Videre skal spesialtransport vurderes med hensyn til tillatt last og metervekt som blir påført på tre jernbanebruer (Veme, Vesleåa og Bygdøla). Det skal sammenlignes med gjeldende Eurostandard for å få finne om det blir et avvik – i så fall hva avviket blir?

Ønsket resultat av analysen kunne vise at det kan foreslås en forbedring av søknadsprosess eller annet forbedringspotensialet. Dette kan Bane NOR ved Utbyggingsdivisjonen benytte seg av for fremtidige søknader med tanke på eldre bruer (lastmodell 1899) og deres tilstand som ikke skal skades.

I tillegg skal oppgaven undersøke hvordan Statens vegvesen håndterer- og behandler søknader om spesialtransport på vegnettet med hensyn til bruers bæreevne. Dette for å finne ut om det kan være elementer å ta inn i Bane NOR sin prosess rundt søknadsbehandling.

1.2 Oppgavens oppbygning

Oppgaven er bygget i følgende deler; et formål, forskningsspørsmål, metode, begrensning, teori, laster, skadetyper på en bru/konstruksjon, tillatt aksellast og metervekt iht. Eurostandard, saksstudie, analyse, resultater, diskusjon, konklusjon og videre arbeid. Det har lagt frem relevant teori som skal gi grunnleggende forståelse av bl.a. jernbanebruer, type spesialtransporter, påvirkning av spesialtransport på bru og brukomponenter. Deretter beskrives det om type laster og de forskjellige lastpåvirkninger som kan forårsake skader på en bru/konstruksjon.

Saksstudie i kapittel 6 er lagt til grunn for oppnåelse av masteroppgavens målsetning og analysedelen i kapittel 7 vises til beregning av største bøyemoment sammenlignet med dataverktøy (ZDBD og Moving load XL-ark).

Vider i kapittel 8 presenteres resultatene av analysen i form av tekst, og beskrivelse av revidert tabell 1 (aksellaster og metervekt pga. bruens bæreevne) og i kapittel 9 følger en diskusjon av resultatene før oppgaven avsluttes med en endelig konklusjon og videre arbeid med forbedringsforslag i kapittel 10.

Den helhetlig beskrivelse av oppgaven er baseres på vurdering av problemstilling, undersøkelse og begrunnelse for fastsettelse av resultat som kan gi en fornuftig konklusjon.

1.2 Formål

Formålet med oppgaven er å finne hvor stor belastning en spesialtransport (Kirov kran KRC 1200) påfører bruene på den spesifikke strekningen (Hønefoss – Bergen) i forhold til tillatte laster.

Resultatet skal vise forbedringsforslag til søknadsprosess med tanke på effektiv saksbehandling.

Videre skal det ses nærmere på om det er et avvik fra de tillatte lastene i den nye Eurostandarden – i så fall hvor stort er avviket?

Vil denne spesialtransporten påvirke brukomponenter av dette mht. brukomponentens alder, materiale og brutype?

Hvordan kan søknadsprosessen forbedres mht. den nye Eurostandarden?

Til slutt skal det brukes analysemetoder for å sammenligne resultater med grenseverdi for aksellast i gjeldende Eurostandard.

1.3 Forskningsspørsmål

Forskingsspørsmålene nedenfor er knyttet til jernbanemateriell som overskrider grenseverdiene på grunn av aksellast eller metervekt:

- Hvor stor belastning påføres bruene i forhold til tillatte laster som er definert i den nye Eurostandarden?
- Hvis det er et avvik fra de tillatte lastene i den nye Eurostandarden – i så fall hvor stort er avviket?
- Hvordan påvirkes brukomponenter av dette mht. brukomponentens alder, materiale og brutype?
- Hvordan kan søknadsprosessen forbedres mht. den nye Eurostandarden og sikkerhet/kvalitet på avgjørelsen om å tillate spesialtransporten, dvs. resultatet for dispensasjonssøknaden?

1.4 Metode

Det er innhentet informasjon ved litteratursøk på internett, møter med Bane NOR ved Utbyggingsdivisjon og fikk informasjon om Kirow kran KCR 1200 og mobil omformer. Dette er omtalt i teoridelen og saksstudie.

Det er foretatt en enkel beregning/analyse av Kirow kran KCR 1200 gjennom strekningen Hønefoss-Bergen med de vurderingene som måtte gjøres.

Videre ble det undersøkt om Kirow kran KCR 1200 avviker fra de tillatte lastene iht. gjeldende Eurostandard. Hensikten var å foreslå forbedring av søknadsprosessen.

Det ble brukt Bane NOR sine analysemetoder (Moving load XL-ark og ZDBD dataverktøy) for å kunne sammenligne resultat fra beregningsdelen.

I tillegg til disse metodene er det undersøkt hvordan Statens vegvesen vurderer spesialtransport mht. bruers bæreevne/-kapasitet. Dette for å finne ut om det kan være elementer å ta inn i Bane NOR sin prosess rundt søknadsbehandlingen.

Resultatene skal gi grunnlag for forslag til å redusere saksbehandlingstid og bedre kvalitet for behandling av fremtidige dispensasjonssøknader.

1.5 Begrensning

I denne oppgaven er det ikke tatt med dynamisk utmatingsberegninger (dynamisk faktor), men fokusert på beregning/analyse av last fra Kirow kran KCR 1200 mht. aksellast og metervekt i forhold til den spesifikke strekningen (Hønefoss-Bergen).

Grunnen til at dynamisk faktor ikke er tatt med i beregningen er at spesialtransporter ikke skal kjøres raskere enn 5 km/t. Siden hastigheten er så lav, vil dynamisk faktor være tilnærmet null.

I tillegg til aksellast og metervekt kan noen spesialtransporter komme i konflikt med minste tverrsnitt som trenger spesifikk vurdering. Dette er ikke vurdert i denne oppgaven.

Nærmere undersøkelse av bruens bæreevne (selve konstruksjon) er heller ikke tatt med i denne oppgaven, da fundamentene krever kjennskap til grunnforhold under bruene som igjen krever en geoteknisk undersøkelse.

2 Teori

2.1 Jernbanebruer i Norge

I Norge har vi fire brutyper, henholdsvis stål, betong, kombinasjonsbruer (betong og stål) og steinhvelvbruer.

I 1999 hadde vi til sammen ca. 2850 jernbanebruer i Norge som Bane NOR har ansvaret for. (Jernbanekompetanse, 2022a)

Ifølge Bane NOR skal bruene ha tilfredsstillende standard og sikkerhetsnivå til enhver tid. Det blir gjennomført rutinemessige inspeksjoner (enkel inspeksjon (årlig), hovedinspeksjon hvert 5. år og spesialinspeksjon ved behov), og kontroller for å opprettholde sikkerhetsmessige gode konstruksjoner. I tillegg utføres det spesialinspeksjoner og levetidskontroller for å avdekke behov for utbedringstiltak.

Videre vil disse inspeksjonene gi oversikt over tilstand på en konstruksjon som ikke skal medføre risiko med hensyn til bæreevne og trafiksikkerhet. Dette er viktig for å kunne iverksette nødvendige tiltak som skal oppfylle gjeldende krav/standard. Dette gir også dokumentasjon på drifts- og vedlikeholdsbehov, og er grunnlag for et kostnadsestimat.

Spesialinspeksjon skal utføres på hele eller deler av en konstruksjon dersom det har oppstått en alvorlig skade f.eks. påkjørsel, overbelastning, oversvømmelse, skred, jordskjelv osv. eller om det er behov for en grundigere vurdering av skadegraden som skal være grunnlag til forprosjekt i utredningsfase. Det blir laget en rapport som skal være grunnlag i et anbudsdokument. (Safe Control, 2022)

2.1.1 Steinbru

Kreftene blir overført på øvre del av en brukonstruksjon, deretter fordeles de på den bueformede oppbygningen av steinene under. Resterende krefter fordeles på oppbygd steinfundament på hver side av brua. Steinfundament blir dimensjonert med hensyn til:

- Jordtrykk, terrenglast og trafikklast
- Vertikale og horisontale krefter fra overbygningen

Steinhvelvsbru (Kylling bru - Raumabanen) er et fint eksempel på en steinbru som ble åpnet i 1920 som jernbanelinje. Brua ligger på strekningen mellom Dombås og Åndalsnes.



Figur 1 Viser en steinbru (Sjøvik Per Jarle, 2022)

Bebyggd prinsippet for denne type bru er gjennomgående ballast og er veldig gunstig med hensyn til vedlikehold i den forstand at fundamentene har et godt stabilitetsforhold. Bruas grunnstabilitet er avhengig av godt fjellfundament på hver side av brua.

2.1.2 Stålbru

Kreftene blir overført på øvre del av en konstruksjon og disse kreftene tas opp og fordeles på antall fagverk hengestenger. Deretter vil disse kreftene overføres til piler under konstruksjonen, og videre til landkarene som et klosset fundament. Her er det også viktig å ta hensyn til spennlengde som en konstruksjon skal dimensjoneres i forhold til kreftene som konstruksjonen skal bære i sin helhet.

Et eksempel på en stålbru er «Sunnan jernbanebru» som er en stålfagverk bru. Brua ble åpnet i 1926 og ligger på strekningen mellom Sunnan og Snåsa på Nordlandsbanen.



Figur 2 Viser fagverk bru (Steinkjerleksikonet, 2022)

Brua er en lett konstruksjon med en forenklet fundamentering. Den har ikke gjennomgående ballast med vanskelig sporjustering (skinner kan blir utsatt for solsleng). Vedlikehold av denne brutype vil være noe krevende, da det trengs sandblåsing og beising.

2.1.3 Betongbru

I en betongbru vil kreftene bli først overført på øvre delen av konstruksjonen. Videre vil kreftene tas opp og fordeles på antall pilarer under konstruksjon. Krefter blir tatt opp i landkarene på begge sider av brua. Opptreden av kreftene er avhengig av spennlengde altså; avstand mellom pilarer samt avstand mellom pilarer og landkarene.

En moderne betongbru er f.eks. «Bjørset jernbanebru» på Dovrebanen.



Figur 3 Viser betongbru (Skoglund, 2021)

2.2 Brukomponenter

Brukomponenter består av bl.a. landkar, samvirkekonstruksjon og pilarer. Hvis man vet om belastninger som blir påført på en konstruksjon, kan man bruke dette til å forutsi slitasje og utmatting i materialer.

Det som er viktig å undersøke hvilke tidsperiode og type belastning som i størst mulig grad bidrar til utmattingskader i ulike brukomponenter.

2.3 Spesialtransport som påvirker brukomponenter

Spesialtransport påvirker brukomponenter med hensyn til brukomponentens alder, materiale og brutype.

Typisk påvirkning vil omfatte konstruksjonsbæreevne (samvirkekonstruksjon), bjelker, pilarer, landkarene, fagverkstaver og hengestenger.

Når en spesialtransport føres over en brukonstruksjon, vil krefter (alle typer laster både i horisontal- og vertikalplanet) tas opp først av øvrige delen av en brukonstruksjon. Opptreden av krefter vil være avhengig av type konstruksjon (tre, stål eller betong), deretter vil disse kreftene fordeles videre inn på pilarer. Til syvende og sist vil krefter overføres til landkarene på hver side av brukonstruksjon som to knutepunkter.

2.4 Bruklassifisering av en jernbanebru

Jernbanebruer klassifiseres med hensyn til brukslast, trafikklast, aksellast og metervekt.

Brukslast defineres ut fra aksellast eller totalvekt som tillates på jernbane uten å måtte søke om dispensasjon fra tillatt grenseverdi.

Trafikklast omfatter all last fra trafikken som tillates på jernbanen. Det vil også gjelde spesialtransporter som overskrider tillatt grenseverdi for aksellast eller totalvekt.

Bruksklassifisering av en bru vil være avhengig av den totale lasten på en bru og den totale lasten fra et kjøretøy som er avhengig av avstanden mellom akslene.

Aksellast er den samlede tyngde som overføres fra en lokomotiv/vogn til jernbane på en aksel. (Esveld, 2001, s. 14)



Figur 4 Viser en vogn med flere aksler.

Metervekt betyr trafikklast per meter som blir påført på skinner. Metervekt fra trafikklasten er en viktig parameter mht. belastning som fordeles på overbygningen og den resterende belastningen overføres til underbygningen.

Utvidelse av skinneprofil, aksellast og metervekt som kan håndtere større og flere typer last (tømmer, malm, kraner, trafoer og omformere) på jernbane.

Spesialtransporter som har større aksellaster og metervekt bestemmes etter spesielle regler. (Statens vegvesen, 2003)

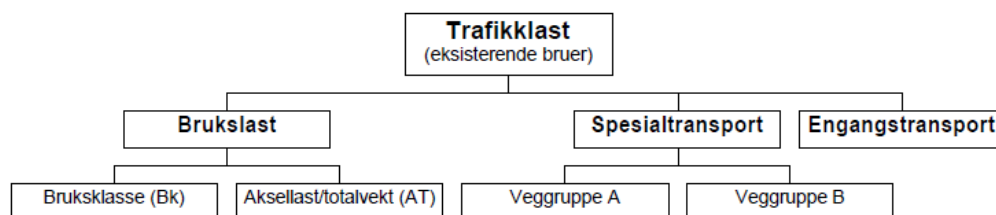
Utvidelsene vil medføre kostnader knyttet til vedlikehold av det eksisterende jernbanenettet samt totalrehabilitering av jernbaneinfrastruktur på delstrekninger som krever dette. Det vil være et infrastrukturtiltak som er tidkrevende. Det er derfor viktig med gode planstrategier for å kunne ta de rette valgene med hensyn på vurdering av muligheter for å oppgradere eksisterende infrastruktur.

Større skinneprofiler og høyere aksellast på hele eller deler av jernbanenettet er en etterspørsel på landsbasis som vil øke transportandel på jernbane. Jernbane er en av regjeringens satsningsområde med ambisjoner som er forankret gjennom Nasjonaltransportplan (2018 – 2029).

De fleste strekningene i Norge har tillatt aksellast på 22,5 tonn og metervekt på 6,6 tonn. Ofotbanen har tillatt aksellast på 30 tonn, metervekt på 12 tonn med tilknyttet hastighet opptil 50 km/t. (Skauge, 2007)

2.5 Bru klassifisering på vegnettet

Jfr. figur 5 bruker Statens vegvesen parametere til klassifisering av bruer på riksveiene. Dvs. de definerer hele lasten på en bru som en trafikklast, og deretter klassifiserer de brukslast for spesialtransport med spesifikk vurdering eller engangstransport.



Figur 5 Klassifisering av laster (Statens vegvesen, 2014)

Trafikklast på eksisterende bruer defineres som all trafikklast (angis enten som bruksklasse eller aksellast/totalvekt) som tillates på det offentlige vegnettet uten dispensasjon, i tillegg til spesialtransporter og engangstransporter.

Eldre eksisterende bruer som har svak bæreevne som ikke kan klassifiseres etter bruksklasse, vil maksimal tillatt aksellast og maksimal tillatt totalvekt tas i brukning for toleransegrense. (Statens vegvesen, 2014, s. 10)

2.6 Spesialtransport på jernbane

De fleste av transporten består av omformer, kran for montering av sporveksler, eller en trafo som skal transporteres over jernbane. Kran for sporveksel har som regel 8 akslinger.

Spesialtransport defineres som et tog i den forstand når togets last og/eller kjøretøyets totalvekt, metervekt, lastens profil, innhold eller øvrige forhold krever at det tas særskilte forholdsregler ved togframføring. (Bane NOR, 2019, s. 7)

Spesialtransport på jernbane innebærer at transporten fremføres enten i ordinært tog eller som ekstratog. Disse vurderes med hensyn til lastens størrelse i forhold til minste tverrsnitt, aksellast, metervekt eller andre forhold som kan føre til konsekvenser for jernbaneinfrastruktur, eller kapasitet på en aktuell strekning. Den har som regel uvanlig akselkonfigurasjon, dvs. den har flere aksler med kortere avstand mellom akslene i boggi.

Hvis det er innenfor maks aksellast (tabell 1), sjekkes det videre mot bruer i den aktuelle strekningen. Videre vurderes det hvilken hastighet det er forsvarlig at spesialtransporter kan kjøre over disse bruene. Høyere hastighet kan føre til skader på brukkomponenter og i verste tilfellet kan brua kollapse, siden den blir overbelastet med tverrgående krefter i form av både aksellast og metervekt.

Hvis spesialtransporten kommer i konflikt med minste tverrsnitt (utstyrene som er høyere enn resten av lasten), må dette demontere for å klare minste tverrsnittet.

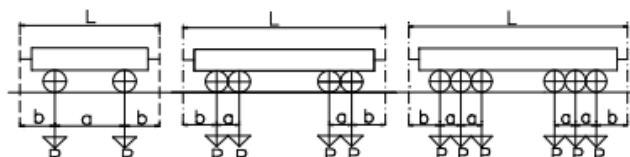
Bane NOR ved Utbyggingsdivisjon beslutter hvorvidt en spesialtransport kan tillates fremført på en strekning og på hvilke vilkår.

På hjemmesiden til Bane NOR - Network statement er det beskrevet hvordan spesialtransporter skal håndteres på de aktuelle strekninger, jfr. Tabell 1.

Network statement oppdateres årlig med hensyn til endringer (elektrifisering, vedlikehold- og rehabilitering av bruer, utskifting av skinner, sviller, og ballastrens osv.) på de aktuelle strekninger. Nettstedet innehar også nye retningslinjer (teknisk regelverk og ny Eurostandard) som vil påvirke behandling av søknader.

Tabell 1 Viser aksellaster og metervekter pga. bruens bæreevne (Bane NOR, 2022a)

Jernbaneverket	INFRASTRUKTURENS EGENSKAPER	Kap.: 3.d
Banedivisjonen	Permissible axle loads / linear loads on bridges	Utgitt: 01.07.2010
	Aksellaster og metervekter pga. bruens bæreevne	Rev.: 2
	Spor og profil	Side: 1 av 1



Strekning / Line	Oppfyller linjeklasse etter EN 15528 / Comply with line classification in EN 15528	Maks. aksellast /Max axle load P (tonn)	$\Sigma P/L$, P/a og P/b (se figur) må ikke overstige Max values for $\Sigma P/L$, P/a and P/b:				
			Vogner og loktyper / Wagon and locomotive types				
			$\Sigma P/L$ Alle typer /All types	P/a		P/b	
			2 og 4 akslede / 2 and 4 axled	3 og 6 akslede. / 3 and 6 axled	4 akslede / 4 axled	6 akslede/ 6 axled	
Alle unntatt nedenstående/ All except listed below	D2	22,5	6,6	11	11	15	10 ¹⁾
Oslo S - Moss - Kornsjø	D4	22,5	8,3	14	14	20	20
Loenga - Alnabru	D4	22,5	8,3 ²⁾	14	14	20	20
Hjuksebø - Notodden	D2	22,5 ³⁾	6,6 ³⁾	11	11	15	10 ¹⁾
Hen - Randsfjord	D2	22,5 ⁴⁾	6,6 ⁴⁾	11	11	15	10 ¹⁾
Mo i Rana - Dunderland	D4	24	8,5	14	14	20	20
Narvik - Vassijaure	E5	30	12	16,67	16,67	33,3 ⁵⁾	20
Fagernes – Narvik	E4	25	8,0	15	15	20	20
Gardermobanen	E4	25	8,0	15	15	20	20
Sandnes - Stavanger	D4	22,5	8,0	14	14	20	20
Grong – Namsos	C2	20,5	6,6	10	10	13,6	9,1
Eina – Dokka	C2	20,5	6,6	10	10	13,6	9,1

P = aksellast / axle load [t] L, a, b = avstander / distances in [m]
For mere detaljer se EN 15528 / For more details see EN 15528

Forklaring til henvisningsnumrene i tabellen / explanation to notes in the table:

- 1) For 6-akslede vogner tillates P/b=15 t/m når P≤15 t. / For 6-axled wagons P/b=15t/m is allowed when P≤15 t
- 2) Maksimal hastighet 60 km/h på bruene mellom km. 1,50 og km. 2,30 / Max speed 60 km/h on the bridges between km 1,50 and km 2,30.
- 3) Maks. hastighet 60 km/h på bru over "Hjuksa" / Max speed 60km/h on bridge over "Hjuksa"
- 4) Maksimal hastighet 30 km/h på bruene over Væla / Max speed 30 km/h on bridges over "Væla"
- 5) Beregnet med b = 0,9m / Calculated with b = 0,9 m

Dok.nr.: JD 590

Utgitt av: BTK

Godkjent av: BT

2.6.1 Kirow kran KCR 1200

Kirow kran KCR 1200 (Figur 6) brukes til montering av sporveksel, som danner grunnlag for vurdering om aksellast og metervekt mht. den aktuelle strekningen.



Figur 6 Viser bilde av Kirow kran KCR 1200 (Bane NOR, 2022a)

Tabell 2 Viser Informasjon om Kirow kran KCR 1200

Kirow kran KCR 1200		
Antall aksler	8	
Kran egenlast	111	Tonn
Vekt på last	20	Tonn
Aksellast	19,8125	Tonn
Totalvekt	158,5	Tonn

2.6.2 Mobile roterende omformere

Mobile omformere består av en roterende omformerenhet og en apparatvogn. Mobile omformere omfatter fire modeller med forskjellige effektstørrelser.

Hovedfunksjon av mobile omformere er å levere elektrisk kraft til jernbanes kontaktledningsnett, dvs. omformer strøm fra 3-fase 50 Hz til 1-fase 16 2/3 Hz.

Omformervogn består av en motor og en generator med felles rotoraksel samt tilhørende utstyr. Selve omformervognen veier mest i forhold til den andre vogn. Se bildene nedenfor.



Figur 7 Viser mobile omformer (Bane NOR, 2022a)



Figur 8 Viser mobile omformer med følgevogn (Lund, 2014)

2.7 Levetidskontroll

Gjennomføring av levetidskontrollen gir oversikt over bruas restlevetid med en viss sikkerhet under gitte forutsetninger. Her blir det kontrollert iht. beregningsstandarder for utmatting og korrosjonsbeskyttelse.

Erfaringene viser at eldre bruer som er bygget av stål, er dimensjonert med ganske lavt spenningsnivå, og ikke dimensjonert for utmatting.

Det som er viktig her at bruas lasthistorie må innhentes for å kunne anslå restlevetid og i tillegg må man anslå hvor ofte spenninger opptrer på grunn av trafikklaster.

Korrosjonsskader er hoved element som kan ha stor betydning om de opptrer på steder med høye spenninger. Innebygde sveisespenninger vil også kunne ha medvirkende effekt på bruas restlevetid.

Andre effekter som kan ha betydning for bruas restlevetid er systemeffektene, dvs. antall like og ulike bruelementer, samt mulige endringer av trafikklaster i framtiden.

På en nybygd bru skal det fortas en ferdigbefaring ved overlevering samt garantibefaring inntil 3 år etter at brua er tatt i bruk.

Bane NOR kontrollerer overgangsbruer som ikke eies av Bane NOR for å avdekke at bruene ikke utgjør en sikkerhetsrisiko på jernbanen. Med overgangsbruer menes når ei bru som fører en vei over jernbanelinjen. Bane NOR (2022b)

2.8 Konstruksjonens aldringsmekanismer

Aldringsmekanismer på en bru oppstår når en bru eller en konstruksjon forringes over tid slik at konstruksjonene må utbedres i form av vedlikehold eller totalrehabilitering for å ivareta konstruksjonens funksjonalitet og sikkerhet.

En bru/konstruksjon dimensjoneres vanligvis med en gitt levetid på ca. 100 år. For at den skal kunne holde 100 år levetid, må det utføres riktig drift og vedlikehold med jevnlig tilstandskontroll.

En konstruksjon vil som normalt yte det den er dimensjonert for innenfor de sikkerhetsmarginene i henhold til dimensjoneringsklasse/standard som er brukt.

Det kan oppstå ytre påkjenninger på en konstruksjon f.eks. en ulykke/skade eller naturkatastrofe som flom eller jordskjelv osv. som kan påvirke konstruksjonens levetid betydelig. Dårlig vedlikehold er en annen fenomen som kan påvirke konstruksjonens levetid ytterligere.

Ut over levetiden er det ingen garanti om at en konstruksjon kan holde funksjonalitet og sikkerheten som forventes.

2.9 Faktorer/påkjenninger som kan påvirke en konstruksjon

Det fins mange andre faktorer/påkjenninger som kan påvirke en konstruksjon som gjør at den ikke kan yte den nødvendige funksjonalitet eller sikkerheten som den ble dimensjonert for. Vi kan dele disse faktorene/påkjenninger inn i fire grupper:

- Tidsavhengige mekanismer
- Skader/ulykke
- Ny teknologi/krav
- Foreldelse

2.9.1 Tidsavhengig mekanisme

Skader som kan oppstå over tid er tidsavhengig mekanisme, altså skader/mangel som oppstår på grunn av materialer som mister sin styrke og funksjonalitet over tid. Disse skadene som kan oppstå på en konstruksjon som følger:

- Utmating og korrosjon av stål
- Frostskader og alkalireaksjoner for betong
- Råte og larveangrep på treverk

2.9.2 Skader/ulykke

Skader som kan oppstå ved uønsket hendelser f.eks. trafikkulykke på en bru, eller naturkatastrofe som flom, jordskjelv, skred osv. Slike skadene kan påvirke en konstruksjon som vil gi behov for utbedring. Utbedringer kan omfatte deler eller hele konstruksjon som må rehabiliteres totalt.

2.9.3 Ny teknologi/krav

Hver dag som går, kommer det ny teknologi som vil være basert på forskning. Nye standarder eller tekniske krav som en konstruksjon må dimensjoneres etter, tar hensyn til bærekraftig perspektiv, miljø og trafiksikkerhet, redusert drift og vedlikehold samt sikring mht. konstruksjonslevetid.

2.9.4 Foreldelse

Etter at det har gått en del år fra en konstruksjon/bru som er dimensjonert, kan bruken av den forandre seg eller belastningen øke. Det kan også være at konstruksjoner ikke har den nødvendig funksjonalitet/kapasiteten til den nye bruken og dermed vil den bli foreldet. (Tøsti, 2014, s. 4)

3 Laster

Alle påkjenninger/påvirkninger som kan medføre spenninger eller tøyninger på en konstruksjon som følge av f.eks. kraft eller deformasjon, defineres som last.

Ved dimensjonering av lastene tas det hensyn til spesifikke laster som kan være avhengig om den opptrer:

- Midlertidig, f.eks. under bygging, installering eller fjerning
- Ved normal bruk i den dimensjonerte levetid av en konstruksjon
- Ved unormal påkjenning f.eks. ved en ulykke
- I en skadetilstand (utmattning, deformasjon)

For å kunne definere utmatingslast må man se gjennom lasthistorien over konstruksjonens levetid.

3.1 Lastkategorier

jfr. tabell 3 er lastkategoriene er klassifisert og består av følgende:

- Permanente laster
- Variable laster
- Deformasjonslaster
- Ulykkeslaster

3.1.1 Permanente laster

Permanente laster på en konstruksjon/bru er kontant til enhver tid og består av:

- Egenlast (konstruksjonens egenvekt). Alle deler i en konstruksjon er permanente og det tas ikke hensyn til konstruksjonstoleranser.
- Ballast og utstyr som ikke vil bli fjernet (f.eks. rekkverk, banestrømforsyningsanlegg, lysmast osv.)
- Ytre vanntrykk som er avhengig av grunnvannstand
- Jordtrykk (jord vekt) og eventuelle andre fyllmasser.

Statens vegvesen (2015)

Tabell 3 Viser klassifisering av laster (Statens vegvesen, 2011)

LAST	BETEGNELSE
PERMANENTE LASTER	G
- Egenlast (tyngde)	
- Vanntrykk, permanent del	
- Jordtrykk	
VARIABLE LASTER	Q*
- Trafikklast (på bru og tilstøtende fyllinger)	
- Støt-/fortøyningslast fra ferje	
- Variabel ballast og utstysvekt	
- Variabel last i midlertidige faser	
- Friksjon	
- Snø	
- Vind	
- Bølger	
- Strøm	
- Vanntrykk, variabel del	
- Last fra variasjon i vannets tetthet	
- Is	
- Temperatur	
- Jordskjelv	A_E
DEFORMASJONSLASTER	G
- Svinn, kryp og relaksasjon	
- Setninger	
- Tvang fra bygge- eller installasjonsmetode	
- Forspenning (Spennkraft)	P
ULYKKESLASTER	A
- Påkjøringslast fra kjøretøy	
- Påseilingslast fra skip	
- Påkjøringslast fra jernbanetrafikk	
- Kabelbrudd	
- Fallende gjenstander	
- Eksplosjon	
- Brann	
- Laster forårsaket av skred	

3.2 Trafikklastene

På en jernbanebru kan trafikklastene inkludere dynamisk tillegg og virker som ujevn lastfordeling. Øvrige lastvirkningene ivaretas som dynamisk last og vurderes særskilt.

3.3 Lastmodell for bruer

Det foreligger lastmodell for bruer som viser hvordan belastning på en aktuell bru er beregnet (beregningsgrunnlag). Lastmodell for bruer som ble bygd før 1889, er de mest aktuell for toleranseverdi mht. belastning. Som normalt har nyere bruer tilstrekkelig belastningskapasitet.

Oftbanen og Østfoldbanen har høyere aksellast enn resten av jernbane i Norge. Grunnen til det er at denne strekningen er koblet med jernbanen i Sverige som har høyere toleranse for tyngre belastning på jernbanen.

Dynamisk last (bevegelig laster) omfatter belastninger med dynamisk faktor. Lasten økes med 30 % fra 5 km/t til 60 km/t på pga. dynamisk effekt. Utnyttelsesmoment med dynamisk faktor kontrolleres med tanke spesialtransport.

4 Skadetyper på en bru/konstruksjon

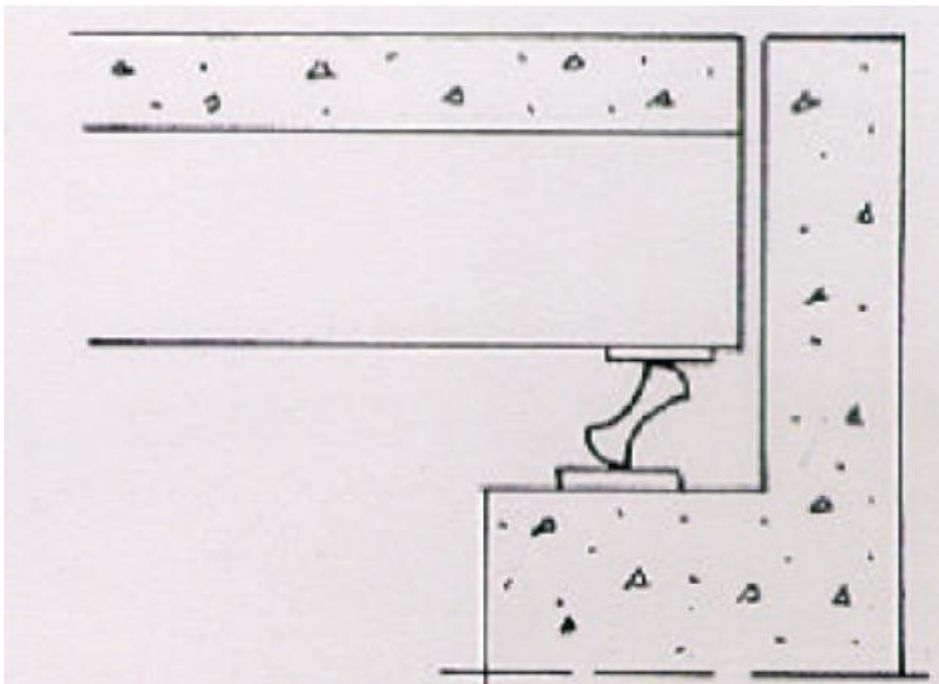
4.1 Forskyvning

Forskyvninger i en brukonstruksjon er en av de skadene som kan oppstå dersom belastning av trafikken f.eks. spesialtransport er større enn det som brua er dimensjonert for. Det er vanlig at det oppstår horisontale forskyvninger av landkar, vinger, pilarer, overbygning osv.

Andre årsaker kan være at grunnens bæreevne som ikke kunne tåle belastningen eller det er brukt feil masser i tilbake fylling. Videre kan forskyvninger være pga. av tette fuger. Det vises i figur 8.

Fugeåpningene lukkes som følge av forskyvning av landkart og trykkrefter overføres til overbygningen.

Når det oppstår store forskyvningskrefter, vil den føre til at lageret klapper sammen og dette vil føre til påvirkning på vedlikeholdskostnadene.



Figur 9 Viser lageret klapper sammen pga. stor forskyvning (Jernbanekompetanse, 2022b)

På grunn av sideveis forskyvning av overbygning, vil dette være mer kritiske for bruer som er skjeve enn rette. Ut fra forskyvningens størrelse og sannsynlige utvikling kan man vurdere skadegraden.

4.2 Nedbøyning

Buras bæresystem og dekke vil bli påvirket av nedbøyning. Denne type skade vil svekke bruas bæreevne. Slikt tilfellet må brua kontroll beregnes med hensyn til skadegraden, det vil kontrolleres

hvor trygt er det å føre trafikken av denne samt hvor rask må vedlikehold iverksettes. Med andre ord, skadens alvorlighetsgrad blir vurdert.

Årsakene til denne type skade er at en bru har vært utsatt for overbelastning, underdimensjonering eller feil i utførelse.

4.3 Utbøyning

Utbøyning oppstår på grunn av f.eks. overbelastning, påkjørsel eller andre påkjenninger på en bru. Skadene innebærer utbøyning av fagverkstaver, hengestenger eller rekkverk.

Man må være spesielt oppmerksom dersom det oppstår utbøyning av fagverkstaver og hengestenger som vil påvirke buras bæreevnen. Utbøyde trykkstaver vil også være kritisk for bæreevne.

Kontrollberegning vil være en metode for å måle største utbøyning samt lengde av utbøyde parti.

4.4 Utglidning

Utglidning av bl.a. stein i landkar, vingemur, pilarer og steinhalv, er en annen skadetype som kan oppstå på grunn av f.eks. overbelastning eller konstruksjonsfeil.

4.5 Slitasje/gnissing

Slitasje/gnissing er en annen skadetype som kan oppstå på grunn av bevegelser i brua som følge av overbelastning. Slike skader omfatter rekkverksrør/streng og gjengestenger.

Det er viktig å være oppmerksom at slitasje inntreffer bæreelementer og det vil føre til redusert bæreevnen. Skadegraden vurderes ut fra slitasjens størrelse og sannsynlige utvikling.

Det oppstår en tverrsnittsreduksjon på konstruksjon som følge av slitasje, og det måles i prosentandel. Dvs. det vil angis hvor mange prosent er skadested som har denne type skade. (Jernbanekompetanse, 2022b)

5 Tillatt aksellast og metervekt iht. Eurostandard

Det vil være belastning som påføres på bruer i forhold til tillatte laster som er definert i den gjeldende Eurostandard (NS-EN 15528:2021).

Den nye Eurostandard (NS-EN 15528:2021) er fornyet av tidligere standard (NS-EN 15528:2015) som gir føringer til spesialtransporter med hensyn til aksellast og metervekt.

5.1 Tidligere standard

En 6-akslede lokomotiv kunne ha maksimum

- Aksellast fra 18 til 22 tonn
- Avstand mellom to aksler fra 1,8 m til 2,25 m
- Metervekt 6,4 tonn/meter

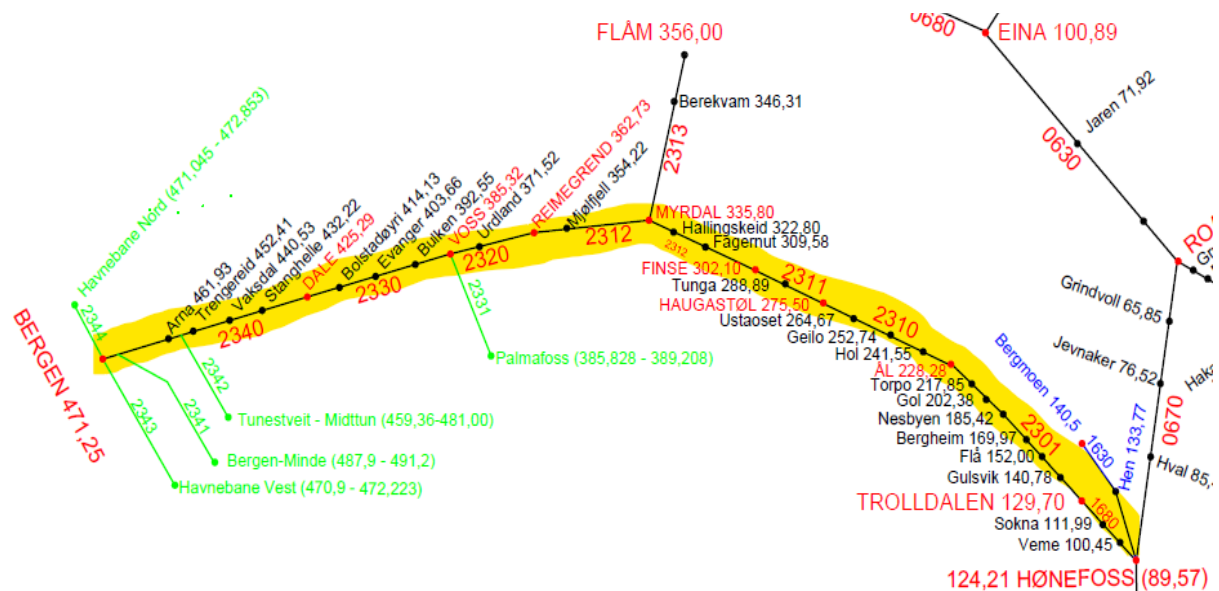
5.2 Gjeldende standard

En 6-akslede lokomotiv kan ha maksimum

- Aksellast fra $18 \text{ t} \leq P \leq 22,5 \text{ tonn}$
- Avstand mellom to aksler fra $1,50 \text{ m} \leq a \leq 2,20 \text{ m}$
- Metervekt $p \leq 6,4 \text{ t/m tonn/meter}$

6 Saksstudie

6.1 Metodikk for vurdering av bruer på strekning mellom Hønefoss og Bergen, utredning av spesialtransport.



Figur 10 Viser rute Hønefoss-Bergen som en del av banestrekninger for spesialtransport i Norge (Bane NOR, 2022a)

6.2 Jernbanebruer i utvalgt strekning

Strekningen Hønefoss-Bergen ligger i linjekategori D2 jfr. TRV «Aksellaster og metervekter pga. bruens bæreevne» (tabell 1).

I denne oppgaven skal spesialtransport utredes/analyseres med hensyn til tillatt aksellast inntil 22,5 tonn og maks hastighet opptil 120 km/t.

Ifølge BaneData har denne strekningen (Hønefoss Bergen) 48 stk. jernbanebruer. Av de 48 bruer (tabell 15) er det valgt 3 bruer, jfr. 4 (Veme, Vesleåa og Bygdøla) med de spennviddene (4,0 m, 15,0 m og 10,8 m) hvor disse skal utredes/analyseres nærmere med hensyn til akselkonfigurasjon (forskjellige akselplasseringene på de spennviddene) for å beregne (finne ut) største bøyemoment. F.eks. dersom det gjelder søknad om spesialtransport som skal fremføres fra Hønefoss til Bergen, vil spesialtransporten sorteres ut fra:

- Jernbanebru (overgangsbruer blir ikke tatt med)
- Type bru (betong eller stål)
- Belastningsklasse (eldre bruer prosjektert etter belastningstoget 1899). Infrastrukturbaner dvs. eldre bruer tåler mindre av belastning, både i aksellast og metervekt.
- Dato for idriftsetting.

Tabell 4 Viser tre utvalgte bruer (VEME, Vesleåa og Bygdøla) som skal brukes i analysen (Bane NOR, 2022a)

Beskrivelse	Navn/Nr	Stal	Eier	Hovedt	Brutype	Bygge	Konstruksjon
Bruer, UG BYGDEVEG. VEME, Veme	UG BYGDEVEG. V	IDRIFT	Bane NOR	Jernbane	Bjelkebru	Stål	4
Bruer, UG RIKSVEG, Veme - Sokna	UG RIKSVEG	IDRIFT	Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	6,7
Bruer, BRU LANGVANNSOSET, Sokna - Tr	BRU LANGVANNSO	IDRIFT	Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	15,9
Bruer, Leknes, Trolldalen - Gulsvik	Leknes	IDRIFT	Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Trommdalstø, Trolldalen - Gulsvik	Trommdalstø	IDRIFT	Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Strandrudningen, Trolldalen - Gulsvik	Strandrudningen	IDRIFT	Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	6
Bruer, Solheimselva, Gulsvik stasjon	Solheimselva	IDRIFT	Bane NOR	Jernbanebr	Fagverksbru	Stål	20,04
Bruer, Brunåa, Gulsvik - Flå	Brunåa	IDRIFT	Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	6
Bruer, Bru over Suserudfilt, Gulsvik - Flå	Bru over Suserudfilt	IDRIFT	Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	6
Bruer, Vesleåa, Flå - Bergheim	Vesleåa	IDRIFT	Bane NOR	Jernbane	Bjelkebru	Stål	15
Bruer, Saulidelva, Flå - Bergheim	Saulidelva	IDRIFT	Bane NOR	Jernbanebr	Fagverksbru	Stål	24
Bruer, Bygdøla, Flå - Bergheim	Bygdøla	IDRIFT	Bane NOR	Jernbane	Bjelkebru	Stål	10,8

Tabell 5 Viser de forskjellige type referansevogner med de spesifikke aksellastene, f.eks. D2 maksimum tillatt aksellast 22,5 kN og tillatt metervekt 6,4 t/m (Standard Norge, 2021)

Reference wagon	Axle load P (t)	Geometrical characteristics	Mass per unit length p (t/m) ^a
B2	18,0		6,4
C2	20,0		6,4
C3	20,0		7,2
C4	20,0		8,0
D2	22,5		6,4
D3	22,5		7,2
D4	22,5		8,0
D5	22,5		8,8

Tabell 6 Viser vanlig tog og spesialtransport med de tillatte hastigheter (Standard Norge, 2021)

Table C.1 — Speed limit (in km/h) in relationship with Line Category/Locomotive Class and vehicle type

Line category / Locomotive class of the vehicle	Freight wagon	Locomotive	Coach	Multiple unit	Special vehicle
a10 ^a	-	-	-	-	-
a12 ^a	-	-	-	-	-
a14 ^a	-	-	-	-	-
A	120	120 ^b /160	160 ^c	160 ^c	120
B1	120	120 ^b /160	160 ^c	160 ^c	120
B2	120	120 ^b /160	-	-	120
C2	120	120 ^b /160	140 ^c	140 ^c	120
C3	120	120	-	-	120
C4	120	120	-	-	120
D2	120	120 ^b /160	120 ^c	120 ^c	120
D3	120	120	-	-	120
D4	120	120	-	-	120
D4xL	120 ^d	120	-	-	120
D5	100	-	-	-	100
E4	100	-	-	-	100
E5	100	-	-	-	100
E6	80	-	-	-	80
L4	-	120 ^b /160	-	-	-
L6	-	120	-	-	-

^a Light railways - normal operating speeds are generally significantly less than the speed at which additional dynamic checks would need to be considered.

^b Speed limitation apply when there are three or more adjacent coupled locomotives. If not, the other given speed applies.

^c Additional limits for max "p" see Table C.2.

Table C.2 — Max values for p (t/m) for coaches and MUs

Line category	A	B1	C2	D2
max p	2,45	2,75	3,10	3,50

Dersom togets hastighet er innenfor de hastighetene som er oppgitt i ovennevnt tabell, trenger man ikke å gjøre en dynamisk analyse.

Vi ser at de linjekategoriene ble fastlagt i eldre tider som ikke samsvarer med dagens standard (NS-EN 15528). Beregningsrapportene fra denne tiden ikke er tilgjengelig for å se om det er tatt hensyn til dynamiske lasteffekter som er avhengig av togets hastighet. Som følge av dette er det ikke tatt hensyn til dynamisk faktor videre i analysen.

Iht. denne standarden kan spesialtransport (Kirow kran KCR 1200) fremføres med en hastighet opptil 120 km/t på denne strekningen (Hønefoss-Bergen) utenom eldre bruer, øremerket tog 1899.

Eurostandarden definerer minstekrav for å være klassifisert i D2 som er summen av P/L (totalvekt/lengde) lik 6,4 t/m mens i Norge tillater vi opp til 6,6 t/m.

6.3 Behandling av Kirow kran KCR 1200 mht. Eurostandarden

For at en transport skal behandles som spesialtransport, setter Eurostandard (15528:2021) § 6.5 to kriterier som skal oppfylles (tabell 7):

Transporten skal være sammensatt av en eller flere vogner som faller utenfor tilfellet 2.

Tilfellet 2: overstiger verdiene fra vedlegg 1: xL-a og xL-b:

xL-a: Aksellast 20 kNm totallengde 15 meter, 6-akslinger med metervekt: $p = 8 \text{ t/m}$

xL-b: Aksellast 22,5 kNm totallengde 18,3 meter, 6-akslinger med metervekt: $p = 7,4 \text{ t/m}$

Kirow kran KCR 1200 (tabell 2) i forhold til Eurostandard:

Kirow kran: 8-akslinger (ikke ok)

Aksellast: 20 tonn (Ok)

Totallengde: 15 m (Ok)

Metervekt: $\Sigma P/L = 111 \text{ tonn}/15\text{m} = 7,4 \text{ t/m}$ (Ok)

Forholdstall mellom aksellast og akselavstand: $P/a = 20 \text{ t}/1,1\text{m} = 18,2 \text{ t/m}$

Forholdstall mellom aksellast og avstand fra siste aksling til kant av vogna: $P/b = 20 \text{ t}/0,8 \text{ m} = 25 \text{ t/m}$.

Aller meste transportene fremføres på linjekategori D2 og de transportene ligger innenfor disse kravene, men Kirow kran KCR 1200 er beregnet til å kjøre på linjekategori D4 (Østfoldbanen).

Et forhold dvs. antall akslinger som gjør at Kirow kran KCR 1200 blir behandlet som spesialtransport, men utover dette vil denne transporten komme under vanlig gods transport.

Tabell 7 Viser at spesialtransport blir kategorisert iht. denne tabellen (Standard Norge, 2021)

Reference wagon	Axle load P (t)	Geometrical characteristics	Mass per unit length p (t/m) ^a
xL-a	20,0		8,0
xL-b	22,5		7,4

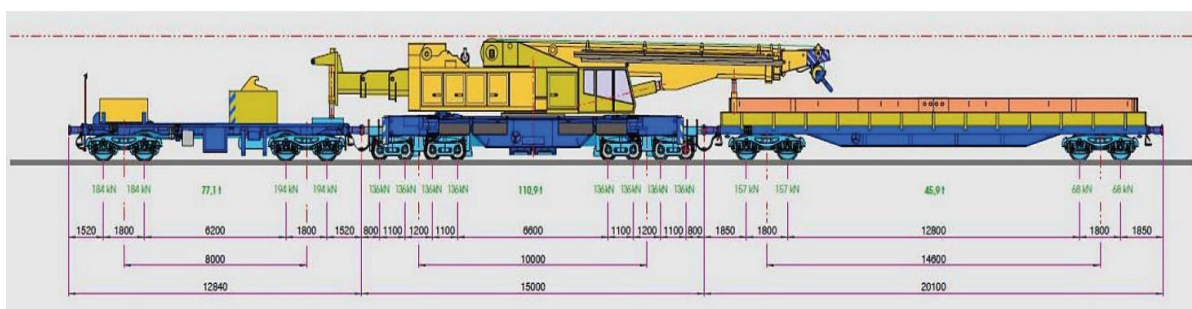
Konklusjon er at Kirow kran KCR 1200 blir fortsatt behandlet som spesialtransport iht. gjeldende Eurostandard.

7 Analyse

7.1 Vurdering av Kirow kran KCR 1200

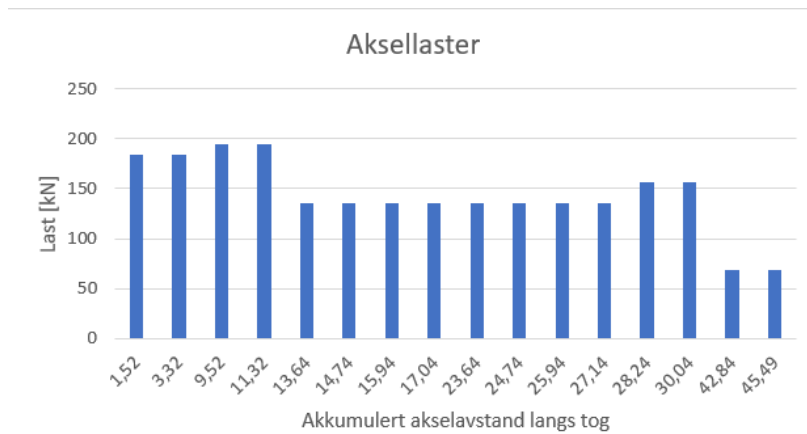
I denne analysen er det vurdert Kirow kran KCR 1200 som en spesialtransport på bruer i denne strekningen.

Jfr. figur 11, har den 16-aksellaster (2+2+4+4+2+2), dvs. 8-aksellaster som er selve kranen og 4-aksellaster på nabovogner som kranen hviler på. Disse 8 akslingene tas med videre i lastberegningen.



Figur 11 Viser Kirow kran KCR 1200 (Bane NOR, 2022a)

Stolpediagrammet nedenfor (figur 12) viser alle de 16 aksellastene [kN] (loddrett) i forhold til akkumulert akselavstand (vannrett) langs tog [m]



Figur 12 Viser de alle de 16 aksellastene [kN] (loddrett) mht. akkumulert akselavstand langs Kirow kran KCR 1200 [m] (vannrett)

Nedenfor (tabell 8) viser antall akslingene og akkumulert akselavstandene som skal være med i beregning for største bøyemoment.

Tabell 8 Viser innputtdata for de aksellastene til Kirow kran KCR 1200

Aksel	Last (kN)	Akkumulert akselavsta
1	184	1,52
2	184	3,32
3	194	9,52
4	194	11,32
5	136	13,64
6	136	14,74
7	136	15,94
8	136	17,04
9	136	23,64
10	136	24,74
11	136	25,94
12	136	27,14
13	157	28,24
14	157	30,04
15	68	42,84
16	68	45,49

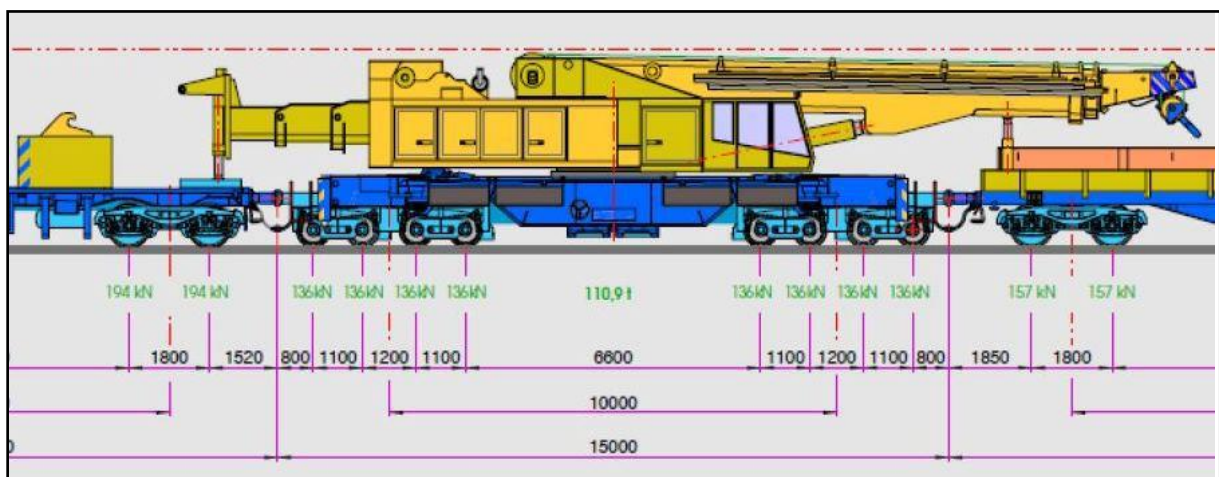
Videre i analysedelen av oppgaven er det brukt et bearbeidet XL-ark som heter «Moving load» som er laget av Bane NOR ved utbyggingsdivisjon for å kunne sammenligne resultatet av manuell beregnet bøyemoment.

Hvis man legger inn all data (aksellastene, akkumulert akselavstand, hastighet) iht. tabell 8 i Moving load XL-ark, finner man største bøyemomentet blir 259 kN, jfr. figur 13.



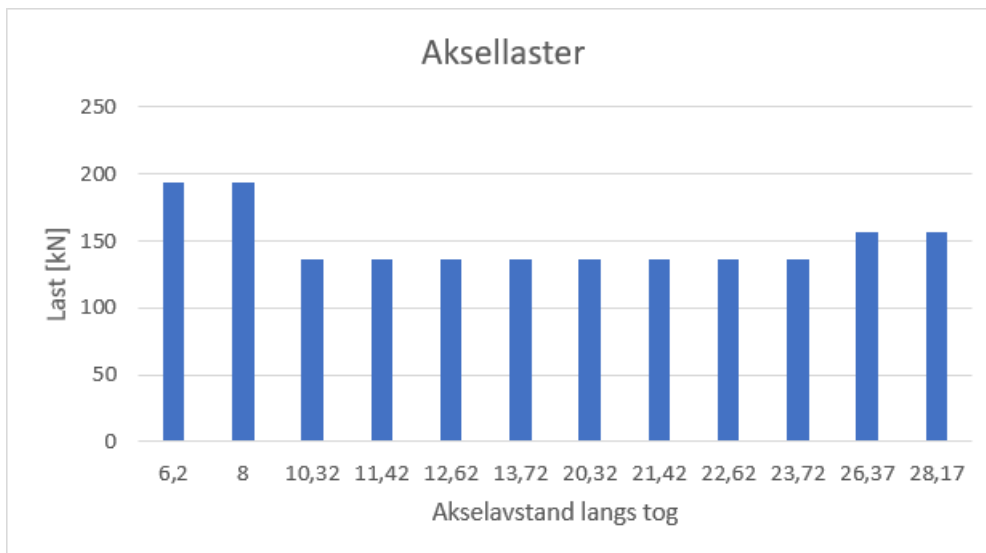
Figur 13 Viser største bøyemoment 259 kN ved den akkumulerte akselavstand på 28,24 m fra startpunktet (Bane NOR-Moving load, 2021)

Jfr. figur 14 ser man nærmere inn på den delen av Kirow kran KCR 1200 (8-aksellastene som er selve kranen og de 4-aksellastene på nabovogner som er med i den lastfordelingen/konfigurasjon) der hvor den gir størst bøyemoment mht. maksimal aksellast, sett på en spesifikk spennvidde 4 m (Veme bru).



Figur 14 Viser plassering av mobilkran med to hjelpevogner (foran og bak) og de forskjellige akselavstandene (Bane NOR, 2022a)

Stolpediagrammet nedenfor (figur 15) viser alle de 12 aksellastene [kN] (loddrett) i forhold til akkumulert akselavstand (vannrett) langs tog [m]



Figur 15 Viser de 12 aksellastene og de akkumulerte akselavstandene langs Kirow kran KCR 1200

Nedenfor (tabell 9) viser 12 aksellastene og de akkumulerte akselavstandene som skal være med i beregning av størst bøyemoment.

Tabell 9 Viser innputtdata av antall akslingene, lasten og akkumulert akselavstandene.

Aksel	Last (kN)	Akselavstand (m)
1	194	6,2
2	194	8
3	136	10,32
4	136	11,42
5	136	12,62
6	136	13,72
7	136	20,32
8	136	21,42
9	136	22,62
10	136	23,72
11	157	26,37
12	157	28,17

Iht. tabell 10 legger man også tidskritt (f.eks. 0,1 sekund og totaltid 53 sekunder) for å finne maksimal belastning på brua i forhold til den tiden toget bruker til å passere brua med den bestemte hastigheten 5 km/t. Jfr. figur 17 ser man største bøyemoment på 249,1 kNm.

Tabell 10 Viser datainnputt som må legges inn i Moving load XL-ark (Bane NOR-Moving load, 2021)

Bruspenn	4 m		
Hastighet	5 km/h		
	1,39 m/s		
Tidsskritt	0,1 s		
Total tid	53 s		
Tiden vognene bruker på å passere	23,16 sek		
Antall itterasjoner	530	<=	100 000
Maks RA	308,72 kN		
Maks RB	310,84 kN		
Maks moment	249,106667 kNm		

Hvis toget passerer brua med korteste tid, vil det gi bratteste kurv. For eksempel hvis toget passerer brua med 300 km/t, vil total tidskritt være betydelig kortere, det vil gi størst bøyemoment og brattest kurv der hvor maksimal aksellast som blir plassert på brua.



Figur 16 Viser størst bøyemoment 249,1 kN ved den akkumulert akselavstand på 23,72 m fra startpunktet (Bane NOR-Moving load, 2021)

7.2 Beregning av største bøyemoment

Disse bruene (Veme, Bygdøla og Vesleåa) er eldre bruer som er øremerket lastmodell for tog fra 1899 som har fritopplagt bjelke og en spesialtransport (Kirow kran KCR 1200) som skal kunne fremføres med en hastighet opptil 5 km/t.

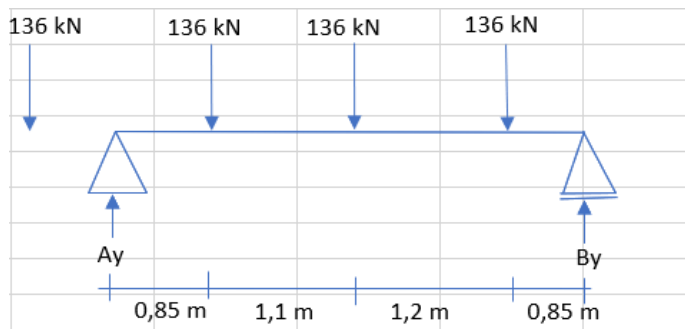
Det finns ulike dataverktøy for beregning av moment- og skjærkapasitet. Bane NOR bruker et dataverktøy som kalles «ZDBD» samt XL-regneark «Moving Load» for å finne største bøyemoment mht. forskjellige akselplasseringene av spesialtransport som skal transporteres over en bru med den spesifikke spennvidden.

Videre i oppgaven beregnes det største bøyemoment (for hånd) av Veme bru for å vise prinsippet og sammenligner resultatet med de dataverktøyene (ZDBD og Moving load).

Det startes med fire forskjellige akselplasseringer på spennvidden 4,0 m (Veme bru) for å se hvilken akselplassering som gir største bøyemoment. Nedenfor viser en akselplassering og beregning av største bøyemoment, og resterende beregninger som vises i vedlegg.

Jfr. figur 17 finner man størst bøyemoment 248,2 kNm ved å flytte aksellastene skrittvis over Veme bru.

Videre ser man at når Kirow kran KCR 1200 ruller bortover slik at det er bare tre av fire akslingene (136 kNm) er igjen på spennvidden som kan gi størst bøyemoment på 248,2 kNm. Dette tallet er tilnærmet tall som man også får ved hjelp av ZDBD dataverktøy som viser i (figur 18).



$\Sigma MA=0$

$$136 \text{ kN} * 0,85\text{m} + 136 \text{ kN} * 1,95\text{m} + 136 * 3,15 - B_y * 4,0\text{m} = 0$$

$$B_y = 202,3 \text{ kN}$$

$$136 \text{ kN} + 136\text{kN} + 136\text{kN} - 202,3 \text{ kN} - A_y = 0$$

$$A_y = 205,7 \text{ kN}$$

Størst bøyemom.:

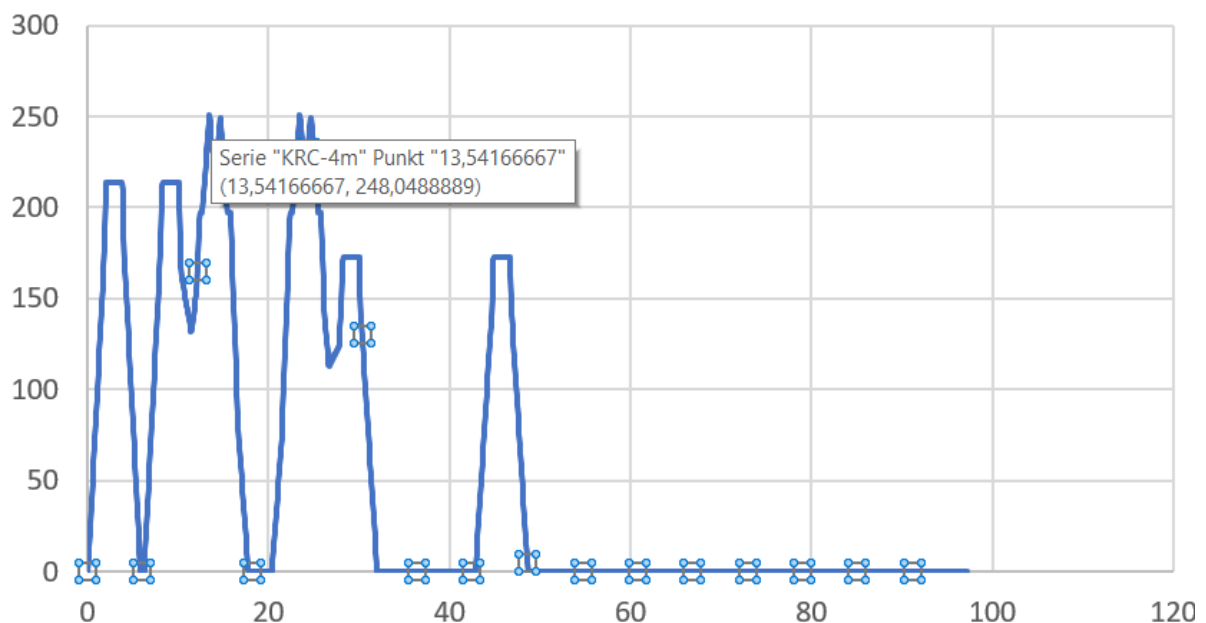
$$136 \text{ kN} * 1,15\text{m} + 136 * 0,05 - A_y * 2,0\text{m} = -248,2 \text{ kNm}$$

Figur 17 Viser maksimale bøyemoment på brua mht. ovennevnte plassering

Videre beregnes det største bøyemoment (for hånd) ved flytte akselplasseringene fram og tilbake, det vil ta lang tid og man kan risikere å få feil verdi som kan gi feil grunnlagsdata.

Ved hjelp av et dataverktøy kan man finne nøyaktig plassering av aksellast mht. bøyemoment i løpet av relativt kort tid.

Nedenfor (figur 18) viser største bøyemoment på 248,05 kNm på brua (Veme).



Figur 18 Viser ved avstand på 13,54 som gir det største bøyemomentet 248,05 kNm (Bane NOR - ZDBD, 2022)

Videre beregnes det største bøyemoment (for hånd) for Bygdøla bru med spennvidde på 10,8 og Vesleåa bru med spennvidde på 15,0 meter som ligger i vedlegg. Det ble brukt samme prinsipp som Veme bru, men resultatet blir ikke sammenlignet med de to dataverktøyene (Moving load og ZDBD).

7.3 Beregning av moment i brudgrensetilstand

Bruene blir dimensjonert ut fra lastmodell 71 i brudd- og bruksgrensetilstand. Denne lastmodellen viser den vertikale lasten på sporet som representerer den statiske effekten av normal jernbanetraffikk.

For brukslaster skal det foretas kontroll i bruddgrensetilstand som det gjelder for spesialtransporter, mobilkraner og engangstransporter.

7.3.1 Sammenligner beregninger

Sammenlignende beregninger utføres ved at det beregnes største moment for alle laster på bruer og sammenligner disse med tillatt last for tog fra 1899.

Tillatt stålspenning σ_{till} (varsle- eller armeringsstål) da bruer ble bygd eller fastsatt som normverdi for klassifiseringsformål.

Formål for den tillatte spenningen σ_{till} , verdier av dette og materialfaktor for stålkonstruksjoner γ_1 inngår i beregningen:

Veme bru med spennvidde på 4,0 meter.

$$\text{Moment 1} = \frac{\sum M * f_d}{\gamma_1 * \sigma_{till}} = \frac{265,07 * 10^6 \text{ Nmm} * 163,0 \text{ N/mm}^2}{1,2 * 110 \text{ N/mm}^2} = 327,3 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 1,4 \quad \text{for brukslaster} \\ &= 1,2 \quad \text{for spesialtransporter (faktoren benyttes også for brukslaster når disse kombineres)} \end{aligned}$$

$$\text{Tillatt spenninger for stålkonstruksjoner} = 110 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Dimensjonerende fasthet } f_d = \frac{f_y}{\gamma_m}$$

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_m} = \frac{220 \text{ N/mm}^2}{1,35} = 163,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Materialfaktor } \gamma_m = 1,35$$

$$\text{Strekfasthet for konstruksjonsstål } f_y = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Moment 2} = \frac{\sum M * f_d}{\gamma_1 * \sigma_{till}} = \frac{265,07 * 10^6 \text{ Nmm} * 163,0 \text{ N/mm}^2}{1,4 * 110 \text{ N/mm}^2} = 280,6 \text{ kNm}$$

$$\text{Moment 3} = \frac{\sum M * f_d}{\gamma_1 * \sigma_{till}} = \frac{265,07 * 10^6 \text{ Nmm} * 163,0 \text{ N/mm}^2}{1,1 * 110 \text{ N/mm}^2} = 357,1 \text{ kNm}$$

Bygdøla bru med spennvidde på 10,8 meter.

$$\text{Moment 1} = \frac{\sum M * f_d}{\gamma_1 * \sigma_{till}} = \frac{1197,41 * 10^6 \text{ Nmm} * 163,0 \text{ N/mm}^2}{1,2 * 110 \text{ N/mm}^2} = 1478,6 \text{ kNm}$$

$$\text{Moment 2} = \frac{\sum M * f_d}{\gamma_1 * \sigma_{till}} = \frac{1197,41 * 10^6 \text{ Nmm} * 163,0 \text{ N/mm}^2}{1,4 * 110 \text{ N/mm}^2} = 1267,4 \text{ kNm}$$

$$\text{Moment 3} = \frac{\sum M * f_d}{\gamma_1 * \sigma_{till}} = \frac{1197,41 * 10^6 \text{ Nmm} * 163,0 \text{ N/mm}^2}{1,1 * 110 \text{ N/mm}^2} = 1613,0 \text{ kNm}$$

Vesleåa bru med spennvidde på 15,0 meter.

$$\text{Moment 1} = \frac{\sum M * f_d}{\gamma_1 * \sigma_{till}} = \frac{2284,55 * 10^6 \text{ Nmm} * 163,0 \text{ N/mm}^2}{1,2 * 110 \text{ N/mm}^2} = 2821,1 \text{ kNm}$$

$$\text{Moment 2} = \frac{\sum M * f_d}{\gamma_1 * \sigma_{till}} = \frac{2284,55 * 10^6 \text{ Nmm} * 163,0 \text{ N/mm}^2}{1,4 * 110 \text{ N/mm}^2} = 2418,1 \text{ kNm}$$

$$\text{Moment 3} = \frac{\sum M * f_d}{\gamma_1 * \sigma_{till}} = \frac{2284,55 * 10^6 \text{ Nmm} * 163,0 \text{ N/mm}^2}{1,1 * 110 \text{ N/mm}^2} = 3077,5 \text{ kNm}$$

(Statens vegvesen, 2014, s. 44-52)

Momentkapasitet [tonn m] og skjærkapasitet [kN] for lastmodell fra 1899 som ble dimensjonert da disse bruene ble bygd.

7.4 Beregning av baneteknisk vurderinger

Jfr. tabell 11 ligger det baneteknisk vurderinger og fremgangsmåte for beregning av dette er som følgende:

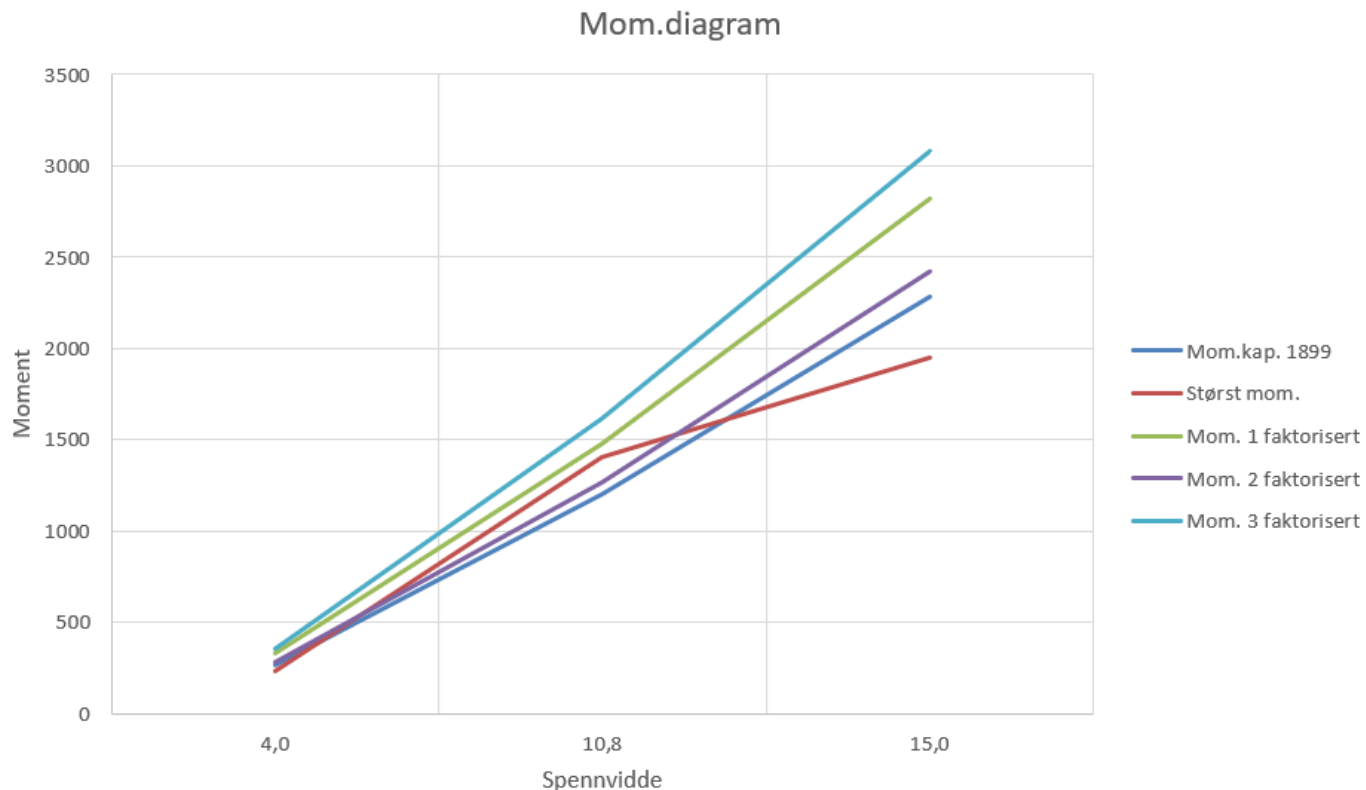
- Dimensjoneringstegninger for de valgte bruer (spennvidde 4,0m, 10,8m og 15,0m), der ligger det informasjon om kapasitet for skjærkraft Q1899 og kapasitet for moment, M1899. Jfr. kolonne 1,2 og 3.
- I gamledager var det vanlig at man la inn en eller to bjelker under hvert spor, derfor må man multiplisere momentkapasitet (kapasitet for moment, M1899) med tallet 2 og deretter multipliserer man gravitasjonskraften $q = 9,81 \text{ m/s}^2$. Jfr. kolonne 4.
- Beregning (for hånd) av største bøyemoment jfr. figur 17 og resterende beregninger som ligger i vedlegg. Jfr. kolonne 5.
- I beregningen er det også tatt høyde for faktoriserte verdier med hensyn til tillatt moment i brukslast for spesialtransport (omformer eller kran) og engangstransport (trafo). Disse såkalte faktoriserte momentkapasitet 1, 2 og 3, jfr. kolonne 6, 7 og 8. Dvs. moment som er multiplisert med materialfaktor for stålkonstruksjoner til alle tre bruer (denne verdien tas høyde for utmating av stål pga. foreldelse). Jfr. beregninger i kapittel 7.3.1.

Tabell 11 Viser bl.a. skjærkapasitet for lastmodell 1899

Spennvidde [m]	Kapasitet for skjærkraft, Q1899	Kapasitet for moment, M1899 [Tonn m]	Multip.mht. bærveg [kNm]	Beregnet verdi [kNm]	Faktorisert Moment 1	Faktorisert Moment 2	Faktorisert Moment 3
4,0	17,44	13,51	265,07	248,20	327,32	280,56	357,08
10,8	30,15	61,03	1197,41	1406,70	1478,62	1267,4	1613,04
15,0	36,12	116,44	2284,55	1950,70	2821,07	2418,1	3077,53

For korte bruer med spennvidde 4,0 m og 10,8 m gir maksimalt momentkapasitet (rød linje), dvs. overstiger verdi for lastmodell 1899 som er faktorisert (moment. 2 og 3) mht. spesialtransport og engangstransport, men den vil falle under lastmodell 1899 for spennvidde over 10,8 m og opp til

spennvidde på 15 m. Det betyr at eldre bruer med lastmodell 1899 med kort spennvidde tåler mindre av belastninger per meter.



Figur 19 Viser maksimalt momentkapasitet for lastmodell 1899 som er faktorisert (moment. 1, 2 og 3) mht. spesialtransport og engangstransport

7.5 Bruenes belastningskapasitet

Aksellast og hastighet er de to vesentlige faktorer som bestemmer bruens bæreevne. I tillegg aksellast og avstand mellom akslene er en viktig parameter som må tas hensyn til ved dimensjonering av bruer.

Jo større avstand mellom akslene er, jo mindre vil lastintensitet og metervekt være på skinnene som blir overført til underbygning videre inn på brua. Det vil si brua blir belastet med mindre antall aksler, desto mindre lastpåvirkning.

Tabell nedenfor viser at ved økt kjørehastighet over en konstruksjon vil effektene fra trafikkklaster øke betydelig. Disse effektene kan tas hensyn til ved å øke aksellastene med en dynamisk faktor (multipliseres). Jo kortere brua er, desto større dynamiske faktor vil være. Dette er på grunn av materialstivheten. Eksempel på dette er gitt i tabellen nedenfor.

Tabell 12 Viser analyse av to brulengder 4,0 m og 65,0 m

Brulengde [m]	Hastighet [km/t]	Dynamisk faktor ϕ [/]	Aksellast [t]	ϕ^* Aksellast [t]
4	5	1,031	22,5	23,20
	40	1,246	22,5	28,04
	80	1,492	22,5	33,57
	120	1,543	22,5	34,72
65	5	1,005	22,5	22,61
	40	1,045	22,5	23,51
	80	1,094	22,5	24,62
	120	1,148	22,5	25,83

7.6 Håndtering av spesialtransporter av Statens vegvesen (SVV)

SVV dispensasjonsheten mottar ca. 45.000 forhåndsklarerte vegnettet søknader per år og ca. 160 til 170 søknader om spesialtransport som skal behandles spesifikt med hensyn til totalvekt på bruer i den omsøkt strekningen.

SVV har et regelverk for hvordan skal spesialtransporter skal håndteres med hensyn til bruer.

«HB V412 Bæreevneklassifisering av bruer, laster» og «HB V413 Bæreevneklassifisering av bruer, materialer» er de to håndbøkene som regulerer aksellast og totalvekt på vegnettet inkludert bruer.

Her brukes det trafikklastene (aksellast og totalvekt) til å klassifisere bruene på vegnettet som tas hensyn til bruens bæreevne.

Ordinære- og ikke ordinære trafikklastene

Ordinære trafikklastene omfatter vegnettet som håndhever bruksklasser til alminnelige kjøretøyer som personbiler og lastebiler.

Ikke ordinære trafikklastene omfatter vegnettet som håndhever bruksklasser til motorredskaper f.eks. mobilkraner, betongpumper, renovasjonsbiler og brannbiler som veier mye i seg selv, men ikke har med seg nyttelast.

Forhåndsklarhet vegnett for spesialtransporter

Disse spesialtransporter systematisert i veggrupper A og B som ligger i en vegliste og behandles etter spesielle retningslinjer.

Spesialtransporter omfatter kjøretøy eller vogntog som har større aksellaster, boggilaster, trippelboggilaster og totalvekter enn bruksklassene. Disse transporter behandles etter spesielle retningslinjer og grupperes i veggruppe A og B. Disse reglene gjelder kun for bruksklassene Bk 10, Bk T8 og Bk 8.

Spesialtransporter krever søknad om dispensasjon for å kunne kjøre på vegnettet hvor det blant annet skal angis om det skal kjøres med eller uten følge.

7.6.1 Engangstransporter

Engangstransporter omfatter kjøretøy eller vogntog som har store aksellaster og/eller totalvekt eller det kan ha stor utforming (bredde) som kan føre belastning/påkjenninger på bruer enn spesialtransportene.

Engangstransporter som krever dispensasjon for kjøring på en strekning med følge og at det kun forekommer en eller svært få ganger i levetiden til en bru.

Det vil bli gitt instruks om passeringsmåte (lav fart opp 15 km/t) for de utsatte bruene på transportstrekningen.

Vegliste er et juridisk dokument som definerer hva som er tillatt for spesialtransporter å kjøre på et spesifikt vegnett. Dersom en spesialtransport blir tatt for å kjøre tyngre enn det som er tillatt, vil det bli gitt straff. Dette er en del av norsk lov.

Veggruppe systemet håndterer de forskjellige bruksklassene.

Veggruppe A uten følge

Veggruppe A omfatter vegnett med/uten bruer eller med bruer som har to eller flere kjørefelt. Det kan også omfatte veger med nyere bruer med ett kjørefelt som tåler belastninger iht. denne veggruppe.

Spesialtransporter behøver ikke å søke om dispensasjon til å kjøre på dette vegnettet. Her blir det tillatt bruksklasse multiplisert med 1,3. F.eks. ved BK10 (som betyr 10 tonn akseltrykk og 50 tonn totalvekt) kan man multiplisere 50 tonn med 1,3 som blir 65 tonn som kan kjøre på vegnettet sammen med andre trafikk.

Veggruppe A med følge

Her må de søke om dispensasjon hver gang spesialtransporter skal kjøre på vegnettet. Det må kjøres med en følge, sakte og sentrisk over bruene. Her vil totalvekt 50 tonn multiplisere med 1,6 som blir 80 tonn som kan kjøre på vegnettet sammen med andre trafikk.

Veggruppe B omfatter vegnett som består av bruer med ett kjørefelt. Belastningskapasitet i dette vegnettet er lavere enn veggruppe A.

Dispensasjon med tid- eller uten tidsbegrensning

Vegnettet i de to vegguppene (A og B) opereres dispensasjon med tidsbegrensning eller dispensasjon uten tidsbegrensning.

Dispensasjon uten tidsbegrensning

Her må det søkes om dispensasjon uten tidsbegrensning som betyr at spesialtransporter opptil 65 tonn i totalvekt som ikke behøver å søke om dispensasjon hver gang de skal kjøre uten følge på vegnettet.

Dispensasjon med tidsbegrensning

Her må det søkes om dispensasjon med tidsbegrensning som betyr at spesialtransporter opptil 80 tonn i totalvekt som må søkes om dispensasjon hver gang de skal kjøre med følge på vegnettet.

Veggruppe B som omfatter spesialtransporter som faller utenfor veggruppe A, dvs. lavere totalvekt.

Veggruppe B uten følge

Spesialtransporter behøver ikke å søke om dispensasjon til å kjøre på dette vegnettet. Her blir det 1,2*tillatt bruksklasse. Dvs. totalvekt 50 tonn, multiplisere med 1,2 som blir 60 tonn som kan kjøre på vegnettet sammen med andre trafikk.

Veggruppe B med følge

Her må de søke om dispensasjon hver gang spesialtransporter skal kjøre på vegnettet. Det må kjøres med en følge, sakte og sentrisk over bruene. Her vil totalvekt 50 tonn multiplisere med 1,3 som blir 65 tonn som kan kjøre på vegnettet sammen med andre trafikk.

Veggruppe B bruker på vegnettet hvor man anser at bruens bæreevne som ikke tåler spesialtransporter. Det kan være bruer som har skader og har svak bæreevne hvor SVV ikke ønsker at spesialtransporter skal kjøres over.

7.6.2 Forhåndsklarhet spesialtransporter 100 tonns vegnett

Her vil tillatt totalvekten være 100 tonn som også fins i vegliste. Det søkes om dispensasjon hver gang spesialtransporter skal kjøre med følge på dette vegnettet. Videre må det følge alle restriksjonene som blir gitt for hver bru som skal passeres.

Dette vegnettet overskrider veggruppe (A og B) med lavere totalvekt. Her legges det til rette for at spesialtransporter skal kunne komme fram på en best mulig måte.

Alle disse søknadene fremgår av vegliste og blir håndtert av SVV sin dispensasjonsenhet.

7.6.3 Spesialtransport øvrig og engangstransporter

Spesialtransport øvrig og engangstransporter for tunge transportere som ikke omfattes av forhåndsklarerte vegnettet.

Transportørene søker om dispensasjon som omfatter aksellast- og akselavstandene på alle akslene, samt den totalvekten av spesialtransporten.

Dispensasjonsenheten mottar de søknadene og videresender til Vegdirektoratet (seksjon for inspeksjon og sikkerhet) for viderebehandling med hensyn til de vurderinger som skal gjøres av hver enkel bru på den strekningen som søknaden gjelder. Det vil si at det blir vurdert konkret om brua tåler lasten eller ikke.

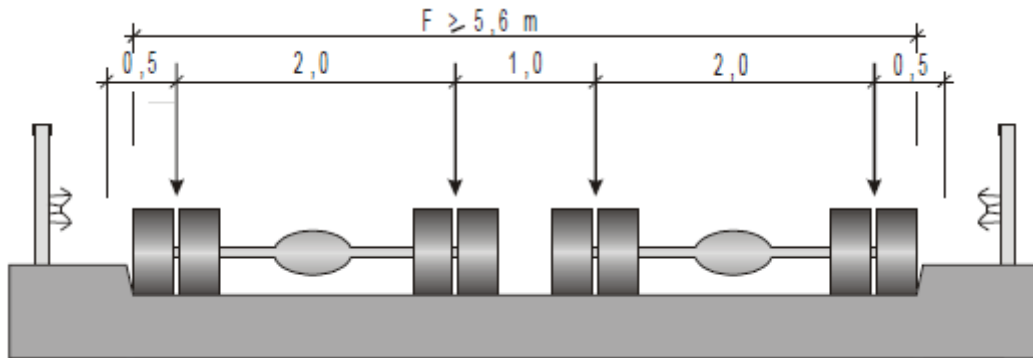
Lastfaktorer for trafikklasten er delt i spesialtransporter og engangstransporter som blir vurdert med hensyn til dimensjonerende lastkombinasjoner i bruddgrensetilstand.

Spesialtransporter kan forklares i den forstand at det er mindre viktig for samfunnet, f.eks. gravemaskiner, knuseverk osv. Her brukes det lastfaktor på 1,2 for trafikklasten og 1,15 for egenvekt. Engangstransporter som er viktig for samfunnet f.eks. transformatorer. Her brukes det lastfaktor på 1,1 for både trafikklasten og egenvekt.

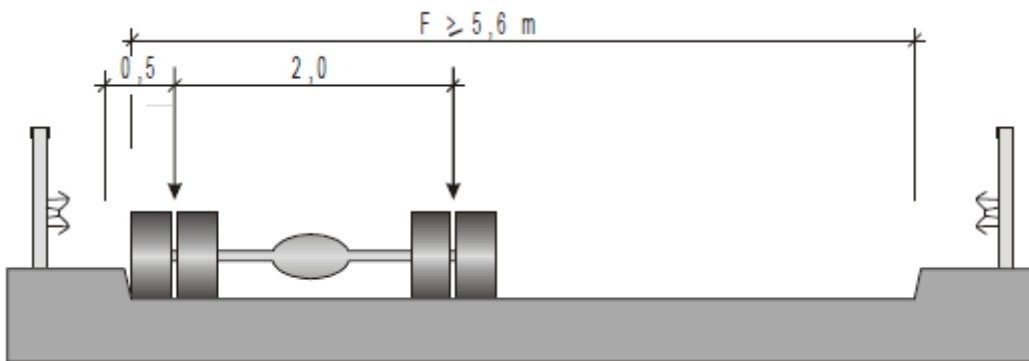
Andre parameter som er viktig her hvordan brua skal passeres, dvs. om det skal kjøres fritt sammen med andre trafikk eller sakte-sentrisk. Det vil påvirke man beregner belastningen på bruene. Å kjøre sakte-sentrisk vil være gunstig med hensyn til bruas bæreevne.

7.6.4 Sentrisk

For spesialtransporter må kjøres sentrisk som skal være større enn engangstransporter. Hvor sentrisk kan disse transportene kjøres over bruer er avhengig av bruens bredde. Jfr. figur 23 er det normalt at avstand fra veikanten kan være 0,5 meter for spesialtransporter og 0,25 meter for engangstransporter. Figur 24 viser når disse transportene kjøres over bruer som kan være stopp for andre trafikk slik at de kjører sakte uten at brua blir belastet med bremselast som kan føre til rystelse på brua.



Figur 20 Viser to spor med bruksklasser, evt. lette lastspor med avstand fra veikant (Statens vegvesen, 2021)



Figur 21 Viser ett spor med bruksklasse med avstand fra veikant (Statens vegvesen, 2021)

7.6.5 Saksbehandling av dispensasjon

Når transportøren skal transportere f.eks. en trafo (figur 22) via et vegnett, velger de den ruter som er kortest og bruker kortest tid. SVV sin oppgave er å undersøke hvilke ruter er det mest fornuftig at denne spesialtransporten skal gå. Da tas det hensyn til bl.a. aksellast og metervekt på de bruene, om denne transporten kan kjøres sammen med andre trafikk og hvilke restriksjoner (om det skal kjøres med eller uten følge) osv.



Figur 22 Viser bilde av spesialtransport som er 66 meter langt og 3,3 meter bredt som transporterer 332 tonn Statnett transformator på vegnettet (NYE TROMS, 2021)

SVV har et informasjonsdokument som transportørene kan bruke når de sender inn søknad om dispensasjon. Det inneholder følgende:

- Registrering av ny søknad
- Steg 1- hva søknad gjelder: tidsbegrenset dispensasjon, dispensasjon uten tidsbegrensning for ett umiddelbart kolli eller dispensasjon uten tidsbegrensning for annen motorredskap (mobilkran, betongpumpebiler, liftbiler).
Informasjon om kjøretøy: hvilken motorvogn (lastebil / trekkbil / mobilkran el. lign.)
- Steg 4 – Last: tidsbegrenset dispensasjon og totaler for kjøretøyet/vogntoget.
Ifm. tidsbegrenset dispensasjon må det oppgis informasjon om:
 - lasten
 - transportstrekning
 - tidsperiode for dispensasjonen
 - totaler for kjøretøy med og uten last
 - andre opplysningerInformasjon om transportstrekning: Ifm. tidsbegrenset dispensasjon, må det oppgis informasjon om transportstrekning.
Informasjon om tidsperiode for dispensasjonen

Informasjon totaler: informasjon om totalvekt og dimensjoner for kjøretøyet/vogntoget. Transporten må veies for å være sikker på at vekten som oppgis i søknaden stemmer. Dette er for å utelukke evt. feil i totalvekt eller dimensjon.

➤ Steg 5 – om søker: informasjon om søker og hvilken region søknaden skal sendes til. (Statens vegvesen, U.Å., s. 5-11)

Dispensasjonsenheten skal sikre fremføring av spesialtransporten med hensyn til andre trafikk, hvordan skal det opptres mens det kjører samt det skal sikres at det ikke foregår veiarbeid den tiden spesialtransporten skal passere bruer. F.eks. hvis en bru er under vedlikehold, vil et kjørefelt være stengt og spesialtransporten ikke kan kjøre sentrisk-sakte.

Dispensasjonsenheten sender en henvendelse (e-post) til seksjon for inspeksjon og sikkerhet med følgende opplysninger:

- Rute som spesialtransporten skal kjøre
- Kilometrering (start- og slutt punkt)
- Vedlegg av selve søknaden

For sikkerhetsskyld går seksjon for inspeksjon og sikkerhet gjennom strekningen på vegkartet for å dobbeltsjekke at ingen andre bru på strekningen som kanskje ikke hadde kommet med i bruliste.

Gjennom strekningen er det aktuelt å kontrollere bæreevne på de bruene gjennom strekningen.

Det betyr at denne brua ikke tåler mobilkraner og heller ikke spesialtransporter på 100 tonn. Det skyldes av at brua har alvorlig bæreevneskade, jfr. «verste skade» 9B.

Elverhøybrua er aktuelt for å beregne bæreevne manuelt for å være helt sikker på at den ikke tåler denne spesialtransporten som er omsøkt. Da ser man nærmere inn på den ved å klikke inn på brua.

Lager en beregningsmodell med input fra søknaden med den eksentrisiteten de kan kjøre med. Lastkoeffisienten for engangstransport. Belastningen som beregningsmodellen viser, sammenligner belastningen for 100 tonn.

Dersom det viser seg at engangstransport belastningen er større enn 100 tonn transport, vil søknaden avslås, siden brua ikke tåler denne belastningen. Når det er sådan, vil seksjon for inspeksjon og sikkerhet ikke se nærmere på resten av bruer pga. at engangstransporten ikke kjører gjennom denne strekningen. Denne brua er såpass lang at man ikke kan bruke andre hjelpemidler f.eks. ved å legge beredskapsbru over brua.

Dersom det foreligger dimensjoneringsrunnlag for en bru som viser hvilken bruksklasse en bru er dimensjonert for er det lettere å vurdere de forskjellige spesialtransporter. I dette tilfellet vil bæreevneklassifisering og bæreevne vurdering ikke ville være behov for med nyere bruer som er bygd etter 1970 tallet.

Det betyr at man kan ikke kjøre over brua med hverken engangstransport eller spesialtransport. De bruer markert med grønt, foreligger ingen restriksjoner opptil 100. Med andre ord, restriksjoner hvordan hver enkel bru kan passeres.

Denne lista er tilgjengelig hos både de som kjører følgebilen og de som kjører selve transporten. Her ligger det veireferanse (kilometrering) som hjelpe transportøren til å se hvilke bru nærmer de seg og hvilke restriksjoner brua har.

Til slutt skriver seksjon for inspeksjon og sikkerhet deres anbefaling vedr. omsøkt transporten til dispensasjonsenheten. Hvis det blir gitt avslag på søknaden, skriver seksjon for inspeksjon og sikkerhet hva må til for at transporten skal kunne kjøre over brua som ikke kunne tåle denne belastningen. Hvis det er en kort bru, kan man bruke beredskapsbru som man legger over brua som kan kjøres over.

Notatet sendes sammen med innsendt søknaden for å vise at seksjon for inspeksjon og sikkerhet har vurdert omsøkt stekningen utfra innsendt grunnlagsdata. Grunnen er at det kan hende at vurderingen er gjort pga. feil grunnlagsdata, i så tilfellet kan søkeren sende inn ny grunnlagsdata.

Det er viktig at søkeren får et svar før de planlegger transporten, siden hvis søkeren har bestilt f.eks. en transformator (satt i produksjon) og det viser seg at det ikke kan passere en bru på strekningen, vil det bli en stor tap for dem. Derfor så søker de om forhåndsdispensasjon ca. to år før gjennomføring av selve transporten.

Det må sendes inn søknad om dispensasjon på nytt når de virkelig skal begynne å kjøre gjennom strekningen. Grunnen er at det kan hende at i løpet av de to årene har de bruene fått skader eller det har vært pågående vedlikehold osv. Dvs. det gjøres en ny vurdering rett før de skal kjøre. Alle brueiere får en kopi av anbefaling (notatet/anbefaling) slik at de kan henvende seg tilbake til seksjon for inspeksjon og sikkerhet dersom de oppdager noe feil eller om de har ytterligere informasjon om enkelte bruer som seksjonen for inspeksjon og sikkerhet ikke har.

Arkivsystemet i BRUTUS ligger det en fane «bæreevne» hvor seksjon for inspeksjon og sikkerhet kan registrere at engangstransport/spesialtransport med f.eks. totalvekt på 435 tonn som ikke har fått tillatelse til å kjøre gjennom omsøkt strekning (Kadettangen-Vardal) pga. bruer som ikke kan tåle denne belastningen. Denne registreringen gjør enklere å vurdere av fremtidige søknader, dvs. det gir raskere saksbehandlingsprosess.

Vurderingene av strekningen som lagres i BRUTUS. Her står utnyttelse som er opptil 1 (full utnyttelse) for Bk 10 veggruppene A med følge. Fremtidig søknad med større utnyttelse, vil søknaden avslås.

I tillegg har BRUTUS fane for registrering av asfaltlag. Her blir det registrert tykkelsen som har betydning for total egenvekt på bruer, siden på vegnettet er det normalt at det asfalteres på gammel asfalt.

Disse vurderingene/grunnlagene gjør saksbehandlingsprosessen lettere og enklere for fremtidige søknader for spesialtransport som skal fremføres gjennom samme strekning.

8 Resultater

Kirow kran KCR 1200 påfører belastning på 20 tonn på bruer (Jfr. tabell 8). Tillatt aksellast for linjekategori D4 (Østfoldbanen) er på 22,5 tonn som denne spesialtransporten kjøres over. I henhold til dette, vil denne kranen ikke overstige den aksellasten som er oppgitt i Eurostandarden.

Metervekt for kranen $\Sigma P/L = 111 \text{ tonn}/15 \text{ m} = 7,4 \text{ t/m}$ og krav i Eurostandard (15528:2021) er 8 t/m. Det betyr at kranen heller ikke overstige dette kravet for linjekategori D4 men for linjekategori D2 som har en metervekt på 6,6 t/m er det for høyt og må kjøres som spesialtransport.

Utover 6-akslinger definerer Eurostandarden det som spesialtransport, dvs. denne kranen har 8-akslinger som gjør at det blir behandlet som spesialtransport. Utenom denne overskridelsen vil Kirow kran KCR 1200 komme under vanlig tog. Dermed viser resultatet at det er ikke avvik fra de tillatte lastene i forhold til den nye Eurostandarden.

Spesialtransport (Kirow kran KCR 1200, mobile omformere, trafo) påvirker brukkomponenter (bjelker, pilarer, landkarene, fagverkstaver og hengestenger) i forhold til brukkomponentens alder, materiale og brutype.

Når en spesialtransport føres over en brukonstruksjon, vil krefter (alle typer laster både i horisontal- og vertikalplanet) tas opp først av øvre delen av en brukonstruksjon. Opptreden av krefter vil være avhengig av type konstruksjon (tre, stål eller betong), og deretter vil disse kreftene fordeles videre inn på pilarer. Til syvende og sist vil krefter overføres til landkarene på hver side av brukonstruksjon som to knutepunkter.

Det viser seg at de fleste søknader om fremføring av spesialtransport blir innvilget, men det vil bli gitt restriksjoner/merknader (transporten skal fremføres med ledsager og spesifikk hastighet over bruer som ikke skal overskrides, f.eks. 5 km/t) som transportøren må følge. Merknader er basert på vurderingene som blir gjort av spesifikk strekning.

Saksbehandlingstid er avhengig av type strekning og antall bruer som trenger spesifikk vurdering (f.eks. om bruene er bygd før eller etter lastmodell 1899 mht. dimensjonering av lastklasse). Normalt vil søknadsprosessen ta opp til ca. tre uker.

Det ble undersøkt i oppgaven at ifølge EN 15528:2021 kan spesialtransporten (Kirow kran KCR 1200) fremføres med en hastighet opptil 120 km/t på denne strekningen (Hønefoss-Bergen), men selve krankonstruksjonens fremføringsevne vil sette grenser for maksimal tillatt hastighet. Dermed fremføres kranen med en maksimal hastighet opptil 80 km/t. Det gjøres et unntak for de eldre bruer, øremerket lastmodell 1899, dvs. maksimale tillatte hastigheten må være 5 km/t for å ta hensyn til bruas bæreevne som ikke skal bli påvirket (skades).

Nye konstruksjoner som dimensjoneres i dag har tilstrekkelig bæreevnekapasitet som kan tåle belastningene som det er satt krav om i Eurostandard NS-EN 15528. Grunnen til det er at i dag har vi bedre kjennskap til stål- og betongkvalitet enn tidligere da bruene ble bygd.

Dagens teknologi er basert på forskning som fører til at vi kan produsere stålmaterialer som kan tåle påkjenninger (lastene) mye mer enn tidligere. I dag tillates det derfor større utnyttelser av stålets egenskaper/kapasitet.

I kapittel 7 (analyse) ble det gjort banetekniske vurderinger, dvs. det ble beregnet momentkapasitet fra trafikklast for de tre bruspennene 4,0 m, 10,8 m og 15,0 m (248,2 kNm, 1406,7 kNm og 1950,7

kNm). Det er lagt inn materialfaktor for stålkonstruksjoner i bruddgrensetilstand for å finne største momentkapasitet. Jfr. tabell 11.

Resultatet av maksimalt bøyemoment viser at verdier overskrides for lastmodell 1899 som er faktorisert (hensyntatt materialfaktor til spesialtransport og engangstransport), men den vil falle under lastmodell 1899 for spennvidde over 10,8 m og opp til spennvidde på 15 m. Eldre bruer med lastmodell 1899 med kort spennvidde tåler mindre av belastning per meter.

Tabell 1 (aksellaster og metervekter pga. bruens bæreevne) er revidert til tabell 13, ut fra de verdiene som står i Eurostandarden (15528:2021) mht. de linjekategoriene som var oppgitt. F.eks. der det sto 6,6 t/m metervekt i linjekategori D2 i tabell 1, men i gjeldende Eurostandard står det at det skal være 6,4 t/m som et minimumskrav.

Det er undersøkt om Kirow kran KCR 1200 med de 8-akslene kan defineres som vanlig togtransport og ikke som en spesialtransport. Revidering av tabell 1 i forhold til linjekategori D2 for denne kranen har blitt gjort som følger; det er lagt en kolonne for $P/a = 20 \text{ t} / 1,1 \text{ m} = 18,2 \text{ t/m}$ ($P=20$ tonn aksellast/ $a=1,1$ m dvs. avstand mellom akslene) og neste kolonne for $P/b = 20 \text{ t} / 0,8 \text{ m} = 20 \text{ t/m}$ ($P=20$ tonn aksellast/ $a=0,8$ m dvs. avstand fra kant av vogn til første akselen).

Tabell 13 Viser at tabell 1 revidert (**fett skrift**) for aksellaster og metervekter pga. bruens bæreevne

Bane NOR	INFRASTRUKTURENS EGENSKAPER								
Banedivisjon	Permissible axle load/linear load on bridges								
	Aksellaster og metervekter pga. bruens bæreevne								
	Spor og profil								
Strekning/ Line	Oppfyller linjeklasse etter EN 15528/Com ply with line classificatio n i EN 15528	Maks aksellast/M ax axle load p [tonn]	$\Sigma P/L, P/a, P/b P/c$ (se figur) må ikke overstige/ Max values for $\Sigma P/L, P/a, P/b$ og P/c :						
			Vogner og loktyper/Wagon and locomotive types						
			$\Sigma P/L$	P/a			P/b		
			Alle typer/ All types	2 og 4 akslede/ 2 and 4	3 og 6 akslede/ 3 and 6	8 akslede/ 8 axled	4 akslede/ 4 axled	6 akslede / 6 axled	8 akslede/ 8 axled
Alle unntatt nedstående / All except listed below	D2	22,5	6,4	11	11	18,2	15	10 ¹⁾	25
Oslo - Moss - Kornsjø	D4	22,5	8	14	14	14	20	20	20
Loenga - Alnabru	D4	22,5	8,3 ²⁾	14	14	14	20	20	20
Hjuksebø - Notodden	D2	22,5 ³⁾	6,6 ³⁾	11	11	11	15	10	10
Hen - Randsfjord	D2	22,5 ⁴⁾	6,6 ⁴⁾	11	11	11	15	10 ¹⁾	10¹⁾
Mo i Rana - Underland	D4	24	8,5	14	14	14	20	20	20
Narvik - Vassijaure	E5	25	8,8	16,67	16,67	16,67	33,3 ³⁾	20	20
Fagernes - Narvik	E4	25	8	15	15	15	20	20	20
Gardermø- banen	E4	25	8	15	15	15	20	20	20
Sandnes - Stavanger	D4	22,5	8	14	14	14	20	20	20
Grond - Namsos	C2	20,5	6,6	10	10	10	13,6	9,1	9,1
Eina - Dokka	C2	20,5	6,6	10	10	10	13,6	9,1	9,1
P = Aksellast/axle load [t] L, a, b = Avstander/Distance [m]									
For mere detalje se EN 15528/ For more details see EN 15528									
Forklaring til henvisningsnumrene i tabell/explanation to notes in the table:									
1) For 6-akslede vogner tillattes P/b = 15 t/m når P ≤ 15 t / For 6-axled wagons P/b = 15 t/m is allowed when P ≤ 15 t									
2) Maksimal hastighet 60 km/t på bruene mellom km 1,50 og km 2,30/ Max speed 60 km/h on the bridges between km 1,50 og km 2,30.									
3) Maksimal hastighet 60 km/t på "Hjuksa" bru/ Max speed 60 km/h on "Hjuksa" bridge.									
4) Maksimal hastighet 30 km/t på "Væla" bru/ Max speed 30 km/h on "Væla" bridge.									
5) Beregnet med b = 0,9m/ Calculated with b = 0,9m									

9 Diskusjon

Hvor stor belastning påføres bruene i forhold til tillatte laster som er definert i den nye Eurostandarden?

I den nye standarden ser ut som at det har blitt en liten endring (avstand mellom to aksler i en boggi) og det et avvik som ikke er så stort, dvs. mindre enn 5 %. Dvs. at tillatte verdier, avvik i aksellast og metervekt ikke leder til betydelig ekstra belastninger på bruene.

Dersom vi har spesialtransporter på en strekning som er innenfor aksellast og metervekt som er innenfor reviderte tabell 13, vil bruene på den strekningen ikke bli overbelastet, men hastigheten må likevel vurderes grundig. F.eks. vurderes om transporten skal fremføres med ledsager og hastighet over bruer må ikke bli større enn 5 km/t.

Hvordan påvirkes brukkomponenter av dette mht. alder, materiale og brutype?

Bruer blir prosjektert for 100-års dimensjonerende brukstid, med andre ord nye dimensjonerte bruer må være i stand i så mange år. Når brukkomponentens funksjonalitet/kapasiteten har blitt redusert/endret før disse årene, oppstår det foreldelse.

Videre vil materialer miste sin styrke og funksjonalitet over tid. Skader som kan oppstå kan være:

- Utmating og korrosjon av stål
- Frostskafer og alkalireaksjoner i betong
- Råte og larveangrep på treverk

Typisk påvirkning vil omfatte konstruksjonsbæreevne (samvirkekonstruksjon), pilarer, landkarene, fagverkstaver og hengestenger.

Alle brutyper (tre, stål eller betong) kan bli påvirket hvis en spesialtransport har større aksellast eller metervekt enn det som linjekategori tillater. Det vil være krefter (alle typer laster både i horisontal- og vertikalplanet) som tas opp først av øvre delen av en brukonstruksjon. Opptreden av krefter vil være avhengig av type konstruksjon, og deretter vil disse kreftene fordeles videre inn på pilarer. Til syvende og sist vil krefter overføres til landkarene på hver side av brukonstruksjon som to knutepunkter.

Hvordan kan søknadsprosessen forbedres mht. den nye Eurostandarden og sikkerhet/kvalitet på avgjørelsen om å tillate spesialtransporten, dvs. resultatet for dispensasjonssøknaden?

Søker (transportører) sender inn søknad om spesialtransport (mobilkran, omformer, trafo) når det er klart at togets aksellast og/eller kjøretøyets metervekt, lastens profil, eller øvrige forhold krever at det tas særskilte forholdsregler ved togframføring på en spesifikk strekning (jfr. tabell 1: Aksellaster og metervekter pga. bruens bæreevne).

Søknaden behandles ut ifra vurderinger som er vist i kap. «analyse». Resultat av analysen danner grunnlag for om det skal gis tillatelse til fremføring av omsøkt spesialtransport på den aktuelle strekningen eller ikke. De fleste innkommende søknader overskrider de verdiene som er oppgitt i tabell 1.

Det viser seg at de fleste søknader blir innvilget, men det vil bli gitt restriksjoner/merknader som transportøren må følge. F.eks. at transporten skal fremføres med ledsager, og hastighet over bruer må ikke bli større enn 5 km/t. Merknader vil basere seg på vurderingene som blir gjort for den spesifikke strekningen.

Saksbehandlingstid er avhengig av type strekning og antall bruer som trenger spesifikk vurdering (f.eks. om de aktuelle bruer er bygd før eller etter lastmodell 1899 mht. dimensjonering av lastklasse). Normalt vil søknadsprosessen ta opp til ca. tre uker.

Hvis det kommer en søknad om spesialtransport som skal fremføres fra Hønefoss til Bergen, da må spesialtransporten sorteres ut fra belastning og når banen er satt i drift. Eldre infrastrukturbaner tåler mindre av belastning, både i aksellast og metervekt.

Når tillatelsen er gitt med spesifikt vilkår, skal spesialtransporten kjøre med en ledsager som har lokalkjennskap av strekningen. Det skal kjøres gjennom bruer med en hastighet på ca. 5 km/t. Når spesialtransporten kjører forbi disse, kan hastigheten økes opp til 80 km/t i resten av strekningen.

10 Konklusjon og videre arbeid

10.1 Forbedringsforslag med hensyn til søknadsprosess

Fremføring av spesialtransport på de aktuelle strekninger samt sikkerhet/kvalitet kan forbedres mht. den nye Eurostandarden. Forbedringene kan være som følgende:

- Bedre tilstandskontroll på bruer.
- Øke bæreevne slik at bruer kan økt tåle aksellast, metervekt og høyere hastighet.
- Dataverktøy som kan ha funksjon for å kunne registrere merknader på bruene som har spesielt kritisk tilstand. Dette kan bidra til at hastigheten reduseres for å kunne hindre ytterligere skader på den aktuelle som følge av overskridelse av aksellast eller metervekt.

Jeg har følgende anbefalinger til Bane NOR mht. fremføring av spesialtransport:

- Vurdere spesialtransport strekningsvis mht. linjekategoriene i forhold til gjeldende standard, dvs. at man går gjennom en aktuell strekning og sjekker tilstand på de enkelte bruer. På den måten kan man tilpasse hastigheten spesifikt mht. spesialtransport. Denne undersøkelsen kan gjøres for fremtidige søknader med hensyn til skadehindring på f.eks. bæreevne, spesifikk vurdering av hastigheten, og ikke minst at det blir effektiv saksbehandling.
- Tilpasse inspeksjonssystemet med datainnsamling om bruas tilstand. Dette for å avdekke evt. skader, om det har vært rehabilitering på den samt drift og vedlikehold. Det bør være mulig at man kan legger inn merknader for eventuelle feil/mangler på bruer fortløpende. Statens vegvesen har et slikt system hvor de kontakter/varsler bruforvalterne som har konstruksjonens vedlikeholdsansvar om at det skal fremføres en spesialtransport på deres bru og ber om en tilbakemelding om det er greit eller ikke. Bruforvalterne sitter på dataene om brua og det er viktig at disse dataene blir lagret i Statens vegvesens system (BRUTUS) som behandler og håndhever disse søknadene.
- BaneData må kvalitetssikres (registrerte brudata må dobbeltsjekkes i den aktuelle strekningen for å se om vi har riktig datagrunnlag). Ikke alle dataene som er registrert i BaneData er 100 % pålitelig.

Ved gjennomgang av stekningen (Hønefoss-Bergen) ved bruk av BaneData, viste det seg at det var en gammel bru som hadde fastmontert skinner på bjelker. Overbygningen ble erstattet av et ståltrau med gjennomgående ballast på et senere tidspunkt. Det er en standard metode for fornyelse av gamle brukonstruksjoner. Nedenfor viser typisk forbedringsmetode fra en fastmontert spor til et betongtrau som kan også være et ståltrau.



Figur 23 Viser fastmontert spor på bjelke, både vertikal- og horisontalretning. Uheldig metode mht. solslyng (når skinnene ikke kan bevege seg, oppstår store strekk- og trykk i skinnene). (Bane NOR, 2022a)



Figur 24 Betongtrau (solid bærevegg og gjennomgående ballast) som tar kreftene fra svillene både horisontal- og vertikalretning. (Bane NOR, 2022a)

- Datainnsamling i BaneData.
Det bør samles inn all informasjon om brua; beregninger, tegninger fra prosjektering og bygging samt hvilket standardkrav brua ble bygget etter og hvilke materialer ble det brukt.
- Det bør registreres sluttvurdering om det er mulig at spesialtransport kan fremføres på den aktuelle strekningen eller ikke.
- Det bør også undersøkes (dersom det foreligger tegninger, prosjekteringsgrunnlag) og registreres hvilken bruksklasse, aksellast og metervekt brua kan tåle slik at disse ikke overskrides, evt. hvilke tiltak foreslås for å forsterke/utbedre brua.

Bane NOR ved Utbyggingsdivisjon bør investere i innkjøp av et dataprogram som skal være bedre enn f. eks. «ZDBD eller Moving Load» for å kunne finne verste plasseringene av aksellast som gir maksimalt bøyemoment og registrere dataene for behandling av fremtidige søknader. Tankegangen skal være effektivisere søknadsprosessen og tillate maksimal hastighet mht. bruens bæreevnetilstand.

I dag bruker Bane NOR «ZDBD og Moving Load XL-ark» for å vurdere en spesialtransport mht. største bøyemoment i forhold de tyngste aksellastene av spesialtransporten på en bru. Hvilken lastmodell en bru er dimensjonert etter, sjekkes det i BaneData som ikke er 100 % pålitelig. Alle disse vurderingene utføres hver gang en ny søknad kommer inn.

Det bør satses på en eller to komplette dataverktøy som både analyserer og registrere data for vurdering av nye søknader som kommer inn. Dvs. bæreevneklassifisering og bæreevne vurderinger skal adskilles fra inspeksjon av bruer som utføres for å kartlegge tilstand på bruer. Disse to arbeidsoperasjoner sikrer også en tilfredsstillende behandling av søknader.

Forslag til et lignende dataverktøy kan være BRUTUS som Statens vegvesen bruker. I dette programmet ligger det bl.a. en fane som heter «Bæreevne» med et søkbarhetsregister. Her blir det flagget ut med en trekant etter at inspeksjon av bruer er utført. Det viser at disse bruer har alvorlige skader i bæreevne. Både Statens vegvesen og 12 fylkeskommuner inspiserer bruene i registeret. Disse dataene gir grunnlag for vurdering av fremtidige søknader for å sikre konstruksjoner av skader pga. overskridelse av aksellast eller metervekt.

10.2 Videre arbeid

Videre arbeid vil være å kontrollere og fullføre revidering av tabell 1 mht. de linjekategoriene (særlig fra D4 til C2). Denne tabellen har tatt hensyn til 8-akslende transport iht. Eurostandard NS-EN 15528:2021. Det betyr at transporten (Kirow kran KCR 1200) ikke skal kategoriseres under spesialtransport med den akselkonfigurasjon og aksellast som den har.

Det er viktig at Bane NOR kan bruke et lignende flyttdiagram (Jfr. figur 6 som Statens vegvesen bruker) for å kunne systematisere og klassifisere lastene, dvs. trafikklast (bruksklasse eller aksellast/totalvekt) som videre klassifiseres til brukslast, spesialtransport og engangstransport.

Eldre eksisterende bruer som har svak bæreevne og som ikke kan klassifiseres etter bruksklasse, vil maksimal tillatt aksellast og maksimal tillatt totalvekt tas i bruk for toleransegrense. (Statens vegvesen, 2014, s. 10)

Utbedringsforslag kan være at Bane NOR Utbyggingsdivisjon får inn tilstandskontroll på de fleste av bruene i de kartlagte strekningene slik at avdelingen kan foreslå spesifikk hastighet mht. bruas tilstand. På den måten kan flere strekninger bli aktuelle for fremføring av spesialtransporter.

Videre bør BaneData kvalitets sikres/oppdateres slik det skal ligge pålitelig data om bruer, og Bane NOR ved Utbyggingsdivisjon bør utvikle et nytt dataprogram som kan ligne på forvaltningssystemet til Statens vegvesen (BUTUS) som kan registrere og forvalte bruene på en bedre måte.

11 Referanseliste

Bane NOR-Moving load (2021) Moving load.

Bane NOR - ZDBD (2022) ZDBD.

Bane NOR (2019) *Network Statement 2019*. (Network Statement). Tilgjengelig fra: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.banenor.no/globalassets/kundeportal/dokumenter/ast-horingsdokumenter/network-statement-2019.pdf>.

Bane NOR (2022a) Intranett-banenettet.

Bane NOR (2022b) *Bruer og konstruksjoner/vedlikehold/Generelle tekniske krav*. Tilgjengelig fra: https://trv.banenor.no/wiki/Bruer_og_konstruksjoner/Vedlikehold/Generelle_tekniske_krav (Hentet: 08. februar 2022).

Esveld, C. (2001) *MODERN RAILWAY TRACK*. Delft: Second.

Jernbanekompetanse (2022a) *Bruer/Generelt*. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Bruer/Generelt> (Hentet: 15. oktober 2022).

Jernbanekompetanse (2022b) *Bruer/Inspeksjoner*. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Bruer/Inspeksjoner> (Hentet: 30. januar 2022).

Lund, F. (2014) *Omformertransport*. Tilgjengelig fra: <https://jernbane.net/bo/subpage.php?s=0&id=177499&u=126766> (Hentet: 16.02 2022).

NYE TROMS (2021) *Giganttransport til Fosshøgda*. Tilgjengelig fra: <https://nye-troms.no/giganttransport-til-fosshogda/19.5177> (Hentet: 30.04.2022 2021).

Safe Control (2022) *Inspeksjon / kontroll*. Tilgjengelig fra: <https://safecontrol.no/tjenester/bru-og-kai/inspeksjon-kontroll/>.

Skauge, A. (2007) *Godstransport på bane*. Jernbaneverkets strategi.

Skoglund, K. A. (2021) Underbygning.

Standard Norge (2021) *NS-EN 15528 Jernbane linjekategorier for styring av grensesnitt mellom grenser for vogners lasteevne og infrastruktur*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1394904> (Hentet: 06. oktober 2022).

Statens vegvesen (2003) *Bruklassifisering (HB 238-2003)*.

Statens vegvesen (2011) *Bruprojektering, Eurokodeutgave (HB 185)*.

Statens vegvesen (2014) *Bruklassifisering (HB R412)*.

Statens vegvesen (2015) *Bruprojektering (HB N400)*.

Statens vegvesen (2021) *Bæreevneklassifisering av bruer, laster (HB V412)*.

Statens vegvesen (U.Å.) *Bruerdokumentasjon VegSak*

Transportør. Tilgjengelig fra: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.vegvesen.no/globalassets/kjoretøy/yrkestransport/brukerdokumentasjon-vegsak-transportor.pdf>.

Steinkjerleksikonet (2022) *Sunnan jernbanebru*. Tilgjengelig fra: https://www.steinkjerleksikonet.no/sunnan_jernbanebru (2022).

Søvik Per Jarle (2022) *Kylling bru Wikipedia*. Tilgjengelig fra: https://no.wikipedia.org/wiki/Kylling_bru (Hentet: 15.04.2022).

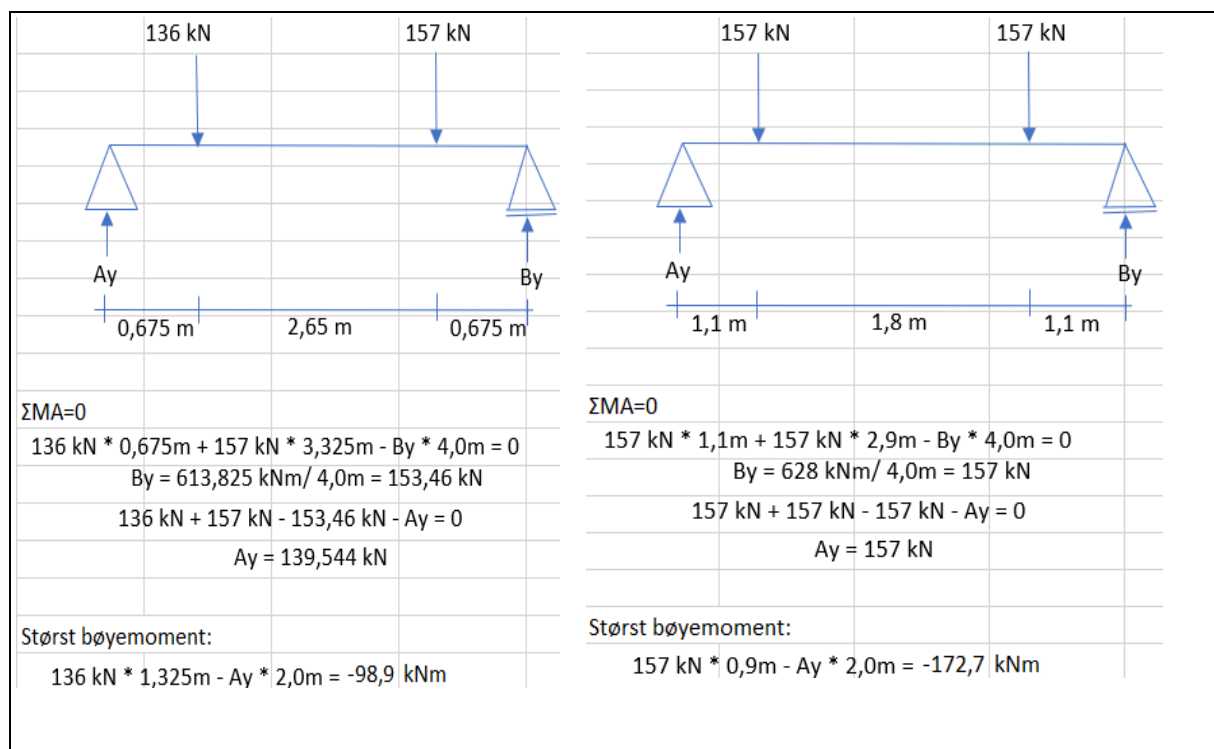
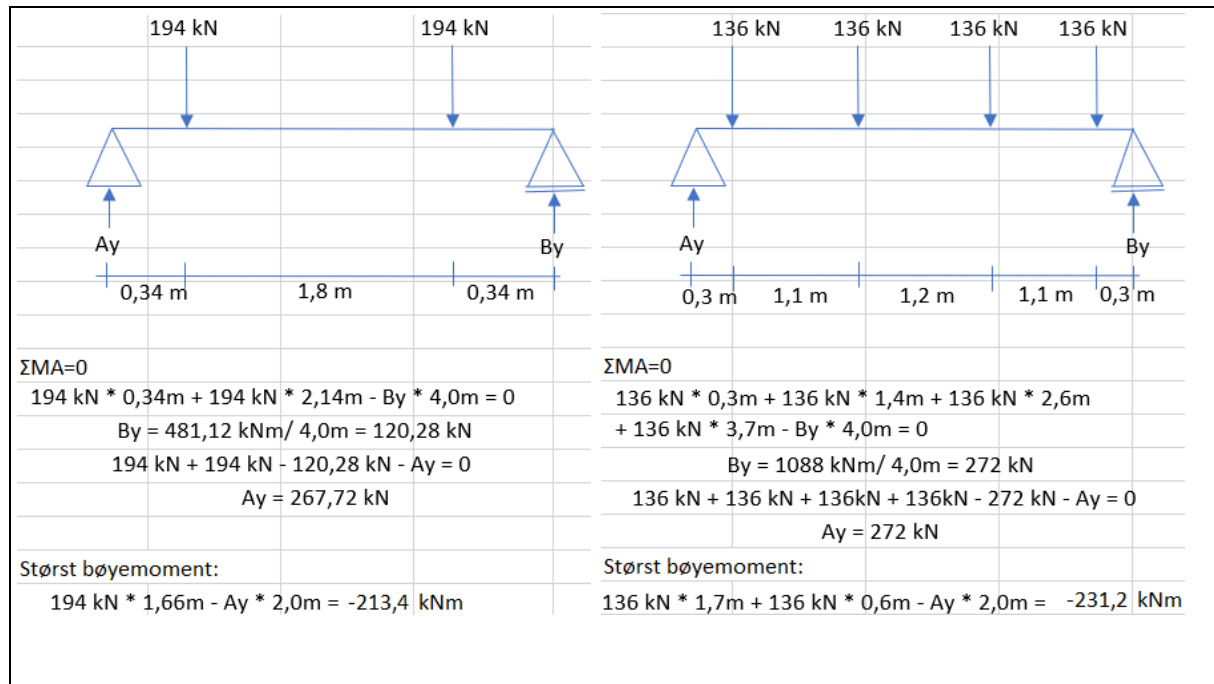
Tøsti, I. (2014) *Pålitelighetsutfordringer ved aldrende bruer*. Masteroppgave, Universitet i Stavanger. Tilgjengelig fra: <https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/handle/11250/219987>.

Wisting, T. (2021) *Jernbane*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/jernbane> (Hentet: 5. januar 2021).

12 Vedlegg

Beregningene nedenfor viser størst moment på midt av bjelke for de bruene.

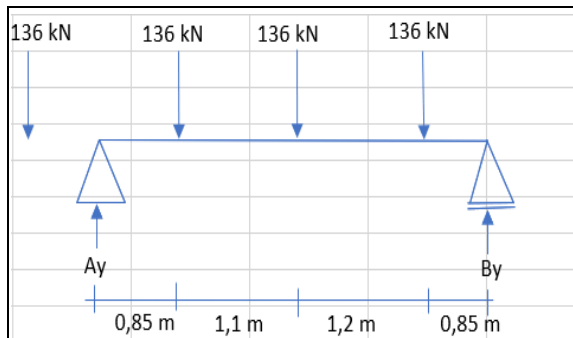
Her er tatt med fire forskjellige akselplasseringer på Veme bru med spennvidde på 4,0 m for å se hvilken akselplassering som kan gi størst bøyemoment.



Man ser at med ovennevnte plasseringene får man ikke det maksimale bøyemomentet.

Videre forsøkes det fem nye akselplasseringer som kan gi maksimalt bøyemoment. Dette skjer når kranen beveger seg ut over spennvidden.

$\Sigma M_A = 0$ $136 \text{ kN} \cdot 1,0\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 2,2\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 3,3\text{m} - B_y \cdot 4,0\text{m} = 0$ $B_y = 221 \text{ kN}$ $136 \text{ kN} + 136\text{kN} + 136\text{kN} - 221 \text{ kN} - A_y = 0$ $A_y = 187 \text{ kN}$	$\Sigma M_A = 0$ $136 \text{ kN} \cdot 0,9\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 2,1\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 3,2\text{m} - B_y \cdot 4,0\text{m} = 0$ $B_y = 210,8 \text{ kN}$ $136 \text{ kN} + 136\text{kN} + 136\text{kN} - 210,8 \text{ kN} - A_y = 0$ $A_y = 197,2 \text{ kN}$
<p>Størst bøyemom.:</p> $136 \text{ kN} \cdot 1,0\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 0,8\text{m} - A_y \cdot 2,0\text{m} = -238 \text{ kNm}$	<p>Størst bøyemom.:</p> $136 \text{ kN} \cdot 1,1\text{m} - A_y \cdot 2,0\text{m} = -244,8 \text{ kNm}$
$\Sigma M_A = 0$ $136 \text{ kN} \cdot 0,1\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 1,2\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 2,4\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 3,5\text{m} - B_y \cdot 4,0\text{m} = 0$ $B_y = 244,8 \text{ kN}$ $136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136\text{kN} + 136\text{kN} - 244,8 \text{ kN} - A_y = 0$ $A_y = 299,2 \text{ kN}$	
<p>Størst bøyemom.:</p> $136 \text{ kN} \cdot 1,9\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 0,8\text{m} - A_y \cdot 2,0\text{m} = -231,2 \text{ kNm}$	



$\Sigma M_A=0$

$$136 \text{ kN} * 0,85\text{m} + 136 \text{ kN} * 1,95\text{m} + 136 * 3,15 - B_y * 4,0\text{m} = 0$$

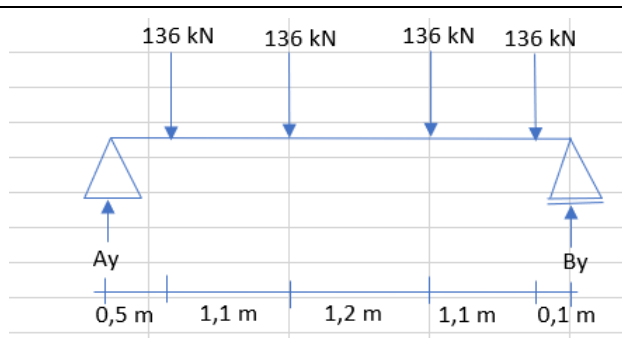
$$B_y = 202,3 \text{ kN}$$

$$136 \text{ kN} + 136\text{kN} + 136\text{kN} - 202,3 \text{ kN} - A_y = 0$$

$$A_y = 205,7 \text{ kN}$$

Størst bøymom.:

$$136 \text{ kN} * 1,15\text{m} + 136 * 0,05 - A_y * 2,0\text{m} = -248,2 \text{ kNm}$$



$\Sigma M_A=0$

$$136 \text{ kN} * 0,5\text{m} + 136 \text{ kN} * 1,6\text{m} + 136 \text{ kN} * 2,8\text{m} + 136 \text{ kN} * 3,9\text{m} - B_y * 4,0\text{m} = 0$$

$$B_y = 299,2 \text{ kN}$$

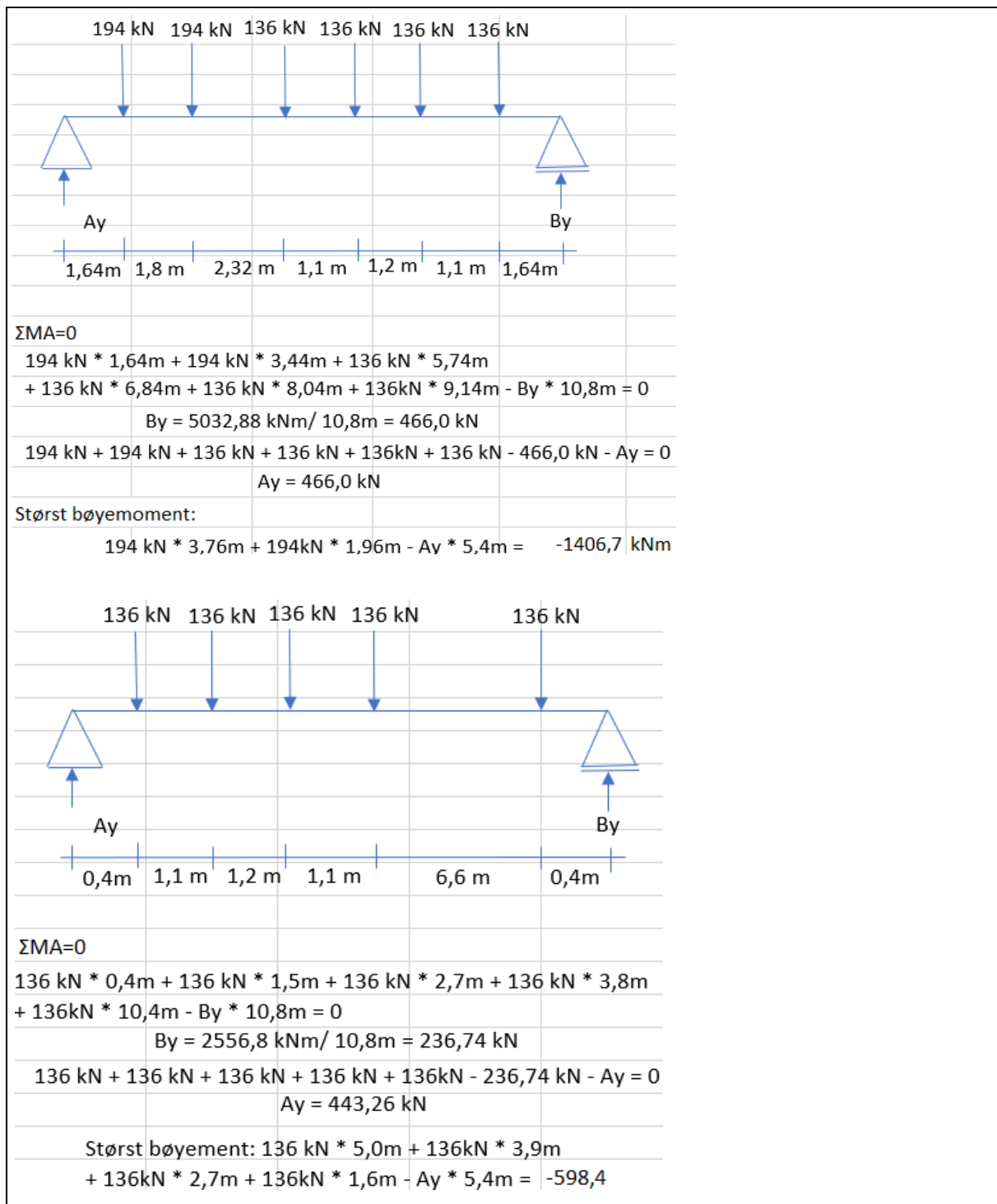
$$136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136\text{kN} + 136\text{kN} - 299,2 \text{ kN} - A_y = 0$$

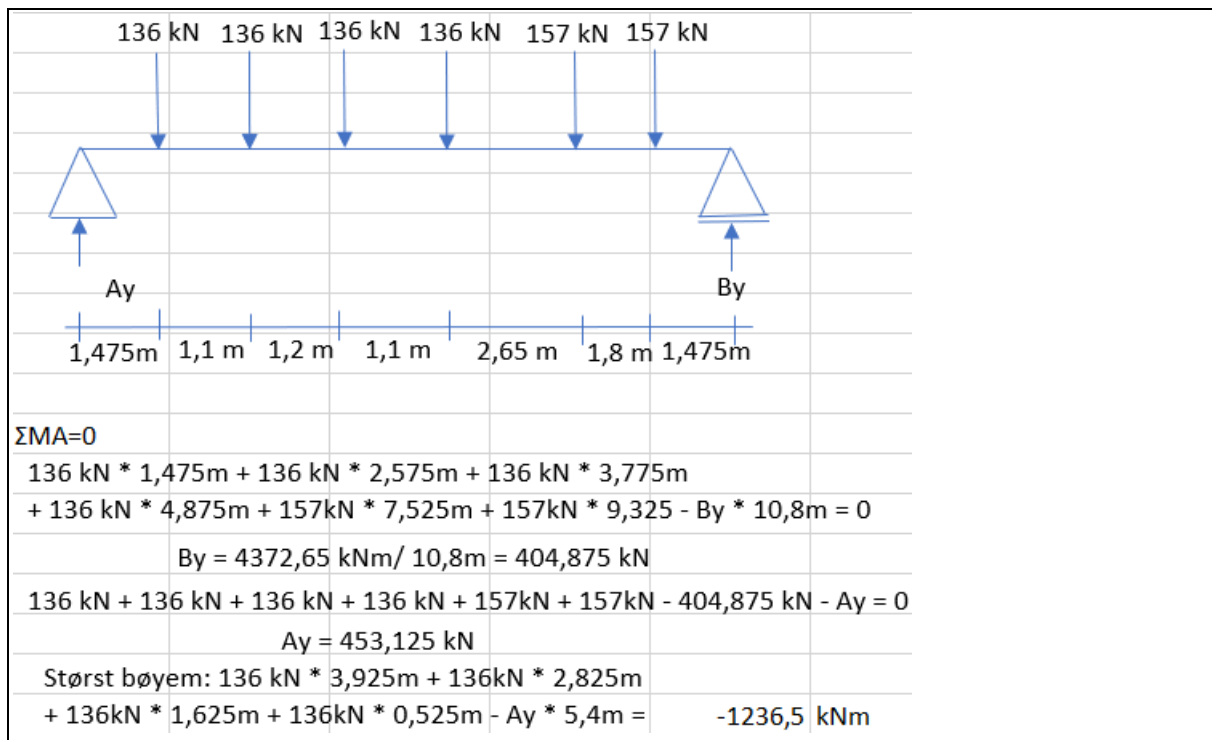
$$A_y = 244,8 \text{ kN}$$

Størst bøymom.:

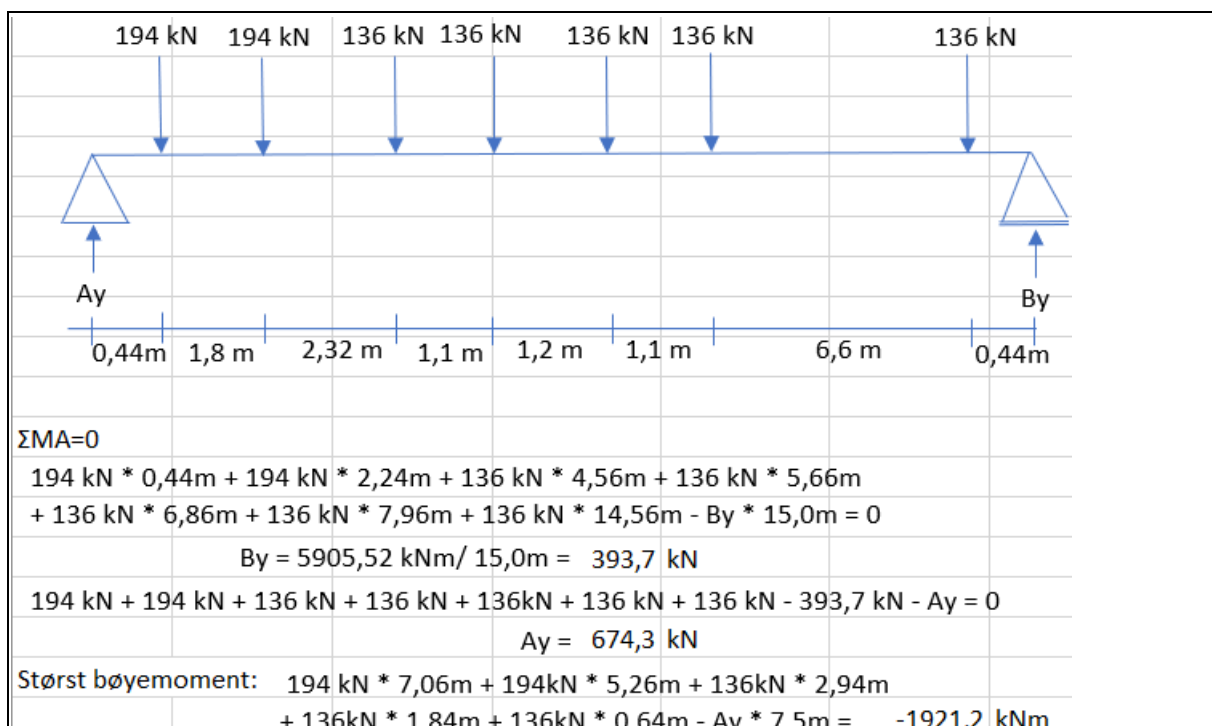
$$136 \text{ kN} * 1,5\text{m} + 136 \text{ kN} * 0,4\text{m} - A_y * 2,0\text{m} = -231,2 \text{ kNm}$$

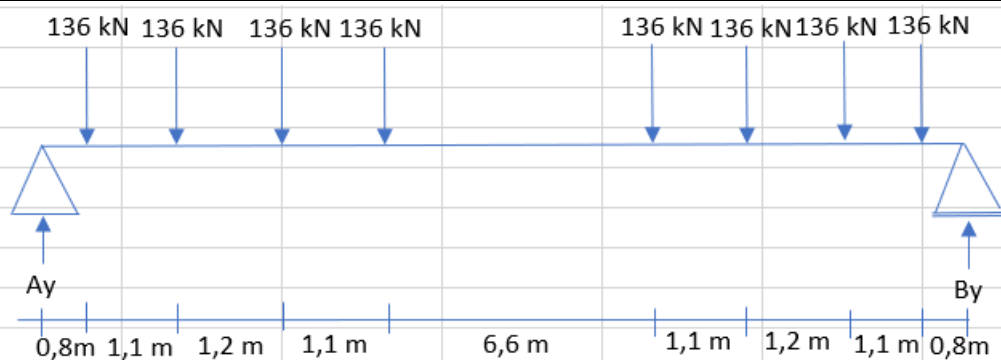
Nedenfor viser beregning av Bygdøla bru for å finne størst bøyemoment med spennvidde på 10,8 meter i de tre forskjellige akselplasseringene på brua.





Vider viser beregning av størst bøyemoment på Vesleåa bru med spennvidde på 15,0 meter i de tre forskjellige akselplasseringene på brua.





$\Sigma MA=0$

$$136 \text{ kN} \cdot 0,8\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 1,9\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 3,1\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 4,2\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 10,8\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 11,9\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 13,1\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 14,2\text{m} - B_y \cdot 15,0\text{m} = 0$$

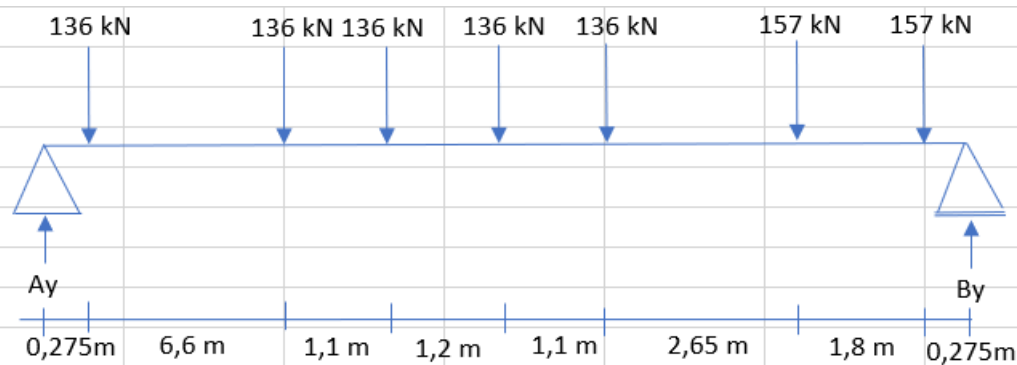
$$B_y = 12308,93 \text{ kNm} / 15,0\text{m} = 820,6 \text{ kN}$$

$$136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} - 820,6 \text{ kN} - A_y = 0$$

$$A_y = 267,4 \text{ kN}$$

Størst bøyemoment:

$$136 \text{ kN} \cdot 6,7\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 5,6\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 4,4\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 3,3\text{m} - A_y \cdot 7,5\text{m} = 714,5 \text{ kNm}$$



$\Sigma MA=0$

$$136 \text{ kN} \cdot 0,275\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 6,875\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 7,975\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 9,175\text{m} + 136 \text{ kN} \cdot 10,275\text{m} + 157 \text{ kN} \cdot 12,925\text{m} + 157 \text{ kN} \cdot 14,725\text{m} - B_y \cdot 15,0\text{m} = 0$$

$$B_y = 9043,25 \text{ kNm} / 15,0\text{m} = 602,9 \text{ kN}$$

$$136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 136 \text{ kN} + 157 \text{ kN} + 157 \text{ kN} - 602,9 \text{ kN} - A_y = 0$$

$$A_y = 391,1 \text{ kN}$$

Størst bøyemoment:

$$136 \text{ kN} \cdot 7,225\text{m} - A_y \cdot 7,5\text{m} = -1950,7 \text{ kNm}$$

Tabell nedenfor får vi viktig informasjon bl.a. antall bruer, type bru, type konstruksjon, om disse er i drift og spennvidde.

Tabell 14 Viser liste over alle 48 jernbanebruer i denne strekningen mellom Hønefoss og Bergen (Bane NOR, 2022a)

Beskrivelse	Navn/Nr	Stad	Eier	Hovedt.	Brutype	Bygge	Konstruksjon
Bruer, UG BYGDEVEG. VEME, Veme stasjon	UG BYGDEVEG. VEM		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	4
Bruer, UG RIKSVEG, Veme - Sokna	UG RIKSVEG		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	6,7
Bruer, BRU LANGVANNOSOSET, Sokna - Trond	BRU LANGVANNOSO		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	15,9
Bruer, Leknes, Trolldalen - Gulsvik	Leknes		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Trommdalstø, Trolldalen - Gulsvik	Trommdalstø		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Strandrudningen, Trolldalen - Gulsvik	Strandrudningen		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	6
Bruer, Solheimselva, Gulsvik stasjon	Solheimselva		Bane NOR	Jernbanebr	Fagverksbru	Stål	20,04
Bruer, Brunåa, Gulsvik - Flå	Brunåa		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	6
Bruer, Bru over Suserudfilt, Gulsvik - Flå	Bru over Suserudfilt		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	6
Bruer, Vesleåa, Flå - Bergheim	Vesleåa		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	15
Bruer, Saulidelva, Flå - Bergheim	Saulidelva		Bane NOR	Jernbanebr	Fagverksbru	Stål	24
Bruer, Bygdøla, Flå - Bergheim	Bygdøla		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	10,8
Bruer, Austvoll øst, Flå - Bergheim	Austvoll øst		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Steinøyri, Flå - Bergheim	Steinøyri		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Bergheim I, Bergheim stasjon	Bergheim I		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Bergheim II, Bergheim stasjon	Bergheim II		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3
Bruer, Velta, Bergheim - Nesbyen	Velta		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Støen, Bergheim - Nesbyen	Støen		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	6
Bruer, Bru over Todøla, Bergheim - Nesbyen	Bru over Todøla.		Bane NOR	Jernbanebr	Fagverksbru	Stål	25
Bruer, Torpinrud, Nesbyen - Gol	Torpinrud		Bane NOR	Jernbanebr	Trau	Stål	3,5
Bruer, Nøreim, Gol stasjon	Nøreim		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	4
Bruer, Slåtten, Gol - Torpo	Slåtten		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Fossheim, Gol - Torpo	Fossheim		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Rotneim I, Gol - Torpo	Rotneim I		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Rotneim II, Gol - Torpo	Rotneim II		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Evjen, Gol - Torpo	Evjen		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	4
Bruer, Ridalselva, Gol - Torpo	Ridalselva		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	10,2
Bruer, Velte, Gol - Torpo	Velte		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Bru o. Sagbekken., Torpo - Ål	Bru o. Sagbekken.		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	7
Bruer, Kuleia 1, Ål - Hol	Kuleia 1		Bane NOR	Jernbanebr	Trau	Stål	3,5
Bruer, Kuleia 2, Ål - Hol	Kuleia 2		Bane NOR	Jernbanebr	Trau	Stål	3,5
Bruer, Kuleia 3, Ål - Hol	Kuleia 3		Bane NOR	Jernbanebr	Trau	Stål	5
Bruer, Sundåa, Ål - Hol	Sundåa		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	4,3
Bruer, Driva, Ål - Hol	Driva		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	5
Bruer, Breifoss, Hol - Geilo	Breifoss		Bane NOR	Jernbanebr	Fagverksbru	Stål	41,4
Bruer, Skogheim, Hol - Geilo	Skogheim		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	3,5
Bruer, Geilo stasjon, Geilo stasjon	Geilo stasjon		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	6
Bruer, Øinaden, Ustaoset - Haugastøl	Øinaden		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	9
Bruer, Ljosangrovi, Myrdal - Mjølfjell	Ljosangrovi		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	5
Bruer, Eggjareid, Mjølfjell - Reimegrend	Eggjareid		Bane NOR	Jernbanebr	Trau	Betong	4,6
Bruer, Flage, Bulken stasjon	Flage		Bane NOR	Jernbanebr	Fagverksbru	Stål	48
Bruer, Væhle elv III, Evanger stasjon	Væhle elv III		Bane NOR	Jernbanebr	Trau	Betong	7
Bruer, Væhle elv II, Evanger stasjon	Væhle elv II		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	5,5
Bruer, Hjørnevikselv, Evanger - Bolstadøyri	Hjørnevikselv		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	7
Bruer, Stanghellestrømmen, Stanghelle stas	Stanghellestrømmen		Bane NOR	Jernbanebr	Trau	Betong an	7
Bruer, Trengereid bru., Trengereid stasjon	Trengereid bru.		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	10,2
Bruer, Glamregjelet, Trengereid - Arna	Glamregjelet		Bane NOR	Jernbanebr	Trau	Betong an	3,7
Bruer, Ug, Møllendalsv. ved F., Bergen stasjon	Ug, Møllendalsv. ved F.		Bane NOR	Jernbanebr	Bjelkebru	Stål	22

