



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Alternativstudie av fagverk i tre eller stål

Alternative study of trusses in wood or steel

Johan Knippen

Thomas Nygård

Gruppe B15

Ingeniør Bygg Bachelor

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Jan Bernt Husebø

30.05.2022

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle

kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

Forord

Denne oppgaven er det avsluttende arbeidet på vår bachelorgrad ved Høgskulen på Vestlandet. Vi går begge to studiet ingeniør bygg under institutt for bygg og landmåling. Oppgaven står for 20 studiepoeng i det avsluttende semesteret av studieprogrammet, og er utarbeidet av Thomas Nygård og Johan Knippen vårsemesteret 2022.


Begge går studieretning konstruksjonsteknikk hvor vi parallelt med oppgaven har hatt ferdypningsfaget trekonstruksjoner. Dette har vært en fordel for tre-delen av oppgaven siden vi stadig har fått innputt fra forelesning. Fra før har begge hatt stål- og betongkonstruksjoner som har gitt oss et godt grunnlag for tankegangen og gjøremåter i ulike konstruksjonsteknikker. Problemstillingene oppgaven stiller drar inn flere elementer fra studiet. Med hovedvekt på dimensjonering av tre og stål, samt å se på relevante faktorer rundt slike konstruksjoner.

Oppgaven er gitt av Multiconsult. De ga oss noen forslag til overordnede problemområder. De ytret ingen spesielle ønsker om hvordan oppgaven skulle vinkles. Dette ga oss en veldig åpen oppgave som vi kunne angripe slik vi ønsket. Gjennom veiledning med skolens representant ble det bestemt å kun se på det ene av to brospenn da dette gir en naturlig avgrensing av konstruksjonen og for oppgaven.

Dimensjoneringen av bæresystemene er gjort med Autodesk Robot. Programvaren ble valgt da det i forbindelse med et annet fag på studiet ble gitt en kort innføring i dette programmet. Gjennom oppgaven har vi i tillegg tilegnet oss større kunnskaper i programmet på egenhånd. Ved å se på materialenes miljøpåvirkning har vi opparbeidet oss nye kunnskaper om materialenes livsløpsanalyser, hvordan disse er bygget opp og blir benyttet i bransjen.

Vi ønsker å takke veileder Jan Bernt Husebø ved Høgskulen på Vestlandet og Erlend Bognøy fra Multiconsult for god hjelp og oppfølging. Vi ønsker også å takke Prøven transport, Norsk Stål, Splitkon og Moelven for priser og informasjon brukt som grunnlag for de økonomisk overslag i oppgaven.

Bergen, mai 2022


Thomas Nygård


Johan Knippen

Sammendrag

Valg av materiale og byggemetode som benyttes i en konstruksjon, avhenger ofte av beslutningstakerens syn og ønsker for sitt prosjekt. Stilles det krav til minst mulig miljøavtrykk? Eller er det ønskelig med minst mulig synlig bærende system? Eller er økonomien det viktigste? Her finnes det mange spørsmål som vil ha ulike svar, avhengig av hvem beslutningstakeren er. Denne oppgaven belyser ulike punkter ved de forskjellige alternativene som kan gjøre beslutningene enklere for den som tar avgjørelsen.

Støren stasjon ligger omtrent fem mil sør for Trondheim og er en del av Bane NOR sin opprustning av trønderbanene. På stasjonen vil det bli store oppgraderinger av både spor, plattformer og verkstedhall. Som en del av dette er det stilt krav til en universell utformet planfri overgang. Problemet er tenkt løst med en overgangsbro mellom plattformene med trapp- og heistilkomst. For akkurat denne konstruksjonen kreves en egen byggemetode hvor brudelen heises på plass og monteres til plassbygde trappe- og heissjakter. Oppgaven ser på det ene av to brospenn hvor det kan knyttes store likheter til det andre spennet.

Gjennomgående i oppgaven stilles byggematerialene limtre og stål opp mot hverandre. Gjennom å dimensjonere et prinsipielt likt fagverk for begge materialtypene vil oppgaven peke ut tekniske fordeler og ulemper og vurdere disse opp mot hverandre. Videre oppbygning av konstruksjonen vil ikke bli sett på i detalj, men er omtalt da det har mye å si for hvordan lastene fungerer på fagverket. Dimensjonering gjøres etter gjeldende eurokoder og utføres i beregningsprogrammet Robot og ved kontrollerende overslagsberegninger for hånd. Laster regnes ut etter gjeldende standarder.

Med grunnlag i Grønn Byggallianse sin materialguide og materialene sine livsløpsanalyser vil materialene bli vurdert mot hverandre med syn på miljø og klimagassutslipp. I hovedsak ses det på perioden fra råmaterialet til materialet blir solgt fra forhandler. Det vil også bli sett på gevinsten materialene gir ved resirkulering. Oppgaven tar kun for seg fagverkene i de to materialtypene og kan ses på som en del av prosjektets totale miljøregnskap.

Gjennom dialog med ledende forhandlere av de aktuelle byggematerialene utformer oppgaven et økonomisk overslag for begge alternativene. Overslaget baserer seg på informasjon innhentet fra leverandørene og antagelser gjort for denne oppgaven. Siden leverandørene ikke har detaljkalkulert alternativene vil resultatet kun være en pekepinn på hva en kan forvente for alternativene.

Det er antatt at leseren av oppgaven har relevante forkunnskaper.

Abstract

Which material and building method that is used in a construction, is often chosen in terms of what preferences the decision maker have for his project. Are there any demands on the environmental impact of the project? Is it preferred to have a less visible structural bearing system? Or does one want a cheap construction? There are many questions that have different answers, depending on who the decision maker is. This assignment will explore options of different alternatives, that will make it easier for a decision maker to make a decision.

Støren station is located roughly 50 km south of Trondheim and is a part of Bane NOR project for improving the trønderbane. There will be major improvements on the station, including new tracks, platforms and a service hall. As part of this project there are demands for a crossing, accessible for anyone. The solution is a pedestrian bridge between the platforms with stairs and elevators on each side. For this specific project there is need for a special building method. The bridge-part of the construction must be lifted and placed on the partly finished stair- and elevator shafts. The bridge consists of two spans where only one of them will be considered. The spans are similar only the one which will be considered is longer.

Throughout the assignment the building materials glue laminated tree and steel will be compared against each other. The assignment will be by designing a fundamental similar truss system for both materials, compare technical advantages and disadvantages. Further designing of the construction will not be looked at in detail but is mentioned because of its importance in terms of how the loads will affect the truss system. Everything is designed after the appropriate Eurocode and done in the calculation program Robot. Estimates is done by hand to control the results from Robot. Loads is also calculated according to appropriate standards.

With Grønn Byggallianse's material guide and the material's life cycle analysis as a foundation, the materials in question will be compared in terms of environment and greenhouse gas emission. It mainly looks at the period from the raw material until the material is sold. The benefits from recycling will also be looked at. This assignment will focus on the truss system of the bridge for both materials and can be look on as part of the total emission for the project.

Through dialog with the leading suppliers an economic estimate has been made for both materials. The estimate is based on information gathered from the suppliers and assumptions done in the assignment. Since the suppliers couldn't calculate the price in detail, the result will only be an estimate of what one could expect.

It is assumed that the reader of this assignment has prior knowledge.

Innhold

Forord.....	ii
Sammendrag.....	iii
Abstract.....	iv
Figurliste.....	vii
Formelliste	viii
Tabelliste.....	ix
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Målsetning	1
1.3 Problemstilling	1
1.4 Omfang.....	2
2 Metode.....	3
3 Teori	4
3.1 Tre	4
3.2 Stål	4
3.3 Fagverkskonstruksjoner	5
3.4 Prosjekteringsregler	5
3.5 Elementmetoden og Robot.....	6
3.6 Miljø	6
3.7 Økonomi.....	10
4 Laster.....	11
4.1 Egenlast.....	11
4.2 Nyttelast.....	12
4.3 Snølast.....	12
4.4 Vindlast	13
4.5 Vind fra tog	15
4.6 Ulykkelaster.....	16
4.7 Lastkombinasjoner	17
5 Dimensjonering.....	19
5.1 Utforming av konstruksjonen	19
5.2 Grunnlag.....	20
5.3 Statisk system	20
5.4 Fagverk.....	21
5.5 Overslagsberegninger statikk fagverk.....	22

5.6 Lastkombinasjoner i Robot	24
5.7 Stål	25
5.7.1 Gurter.....	25
5.7.2 Stegstaver.....	28
5.7.3 Knutepunkt	30
5.8 Tre	34
5.8.1 Gurter.....	35
5.8.2 Fagverk.....	37
5.8.3 Knutepunkt	39
5.9 Nedbøyning.....	39
6. Sammenligningsgrunnlag.....	41
6.1 Miljø	41
6.1.1 Stål.....	41
6.1.2 Tre	43
6.2 Økonomi.....	45
6.2.1 Stål.....	46
6.2.2 Tre	48
6.3 Tekniske løsninger.....	48
7. Diskusjon	49
7.1 Dimensjonering.....	49
7.2 Miljø	51
7.3 Økonomi.....	53
7.4 Konklusjon.....	54
Kilder	55
Vedlegg	58

Figurliste

Figur 1 Skisse av Støren stasjon	1
Figur 2 Oversiktskart over Støren	2
Figur 3 Systemgrenser.....	7
Figur 4 Høydeprofil	13
Figur 5 Tab 6.23 fra NS-EN 1991-2	16
Figur 6 Fagverkets størrelser	19
Figur 7 Statisk system	21
Figur 8 Alternativ 1.....	22
Figur 9 Alternativ 2.....	22
Figur 10 Illustrasjon snittmetoden fra siden.....	23
Figur 11 Illustrasjon snittmetoden ovenfra	23
Figur 12 Lastkombinasjoner i Robot for tre	24
Figur 13 Knekkingsparametere fra Robot	27
Figur 14 Ekvivalent momentfaktor etter NS-EN 1993-1-1[38]	28
Figur 15 Oppdelt gurter i stål	28
Figur 16 Mest utsatte stegstaver horisontalt og vertikalt	30
Figur 17 Knutepunkttyper	31
Figur 18 N-knutepunkt med opptredende normalspenninger	32
Figur 19 V-Fagvergek på overside og underside	37
Figur 20 Løsning for knutepunkt på endene.....	37
Figur 21 Karakteristisk deformasjon for endring av horisontalstav tre	38
Figur 22 Endestaver	38
Figur 23 Typisk fagverksknutepunkt med innslissede plater og dybler. Hentet fra limtreboka.....	39
Figur 24 Utdrag Grønn Materialguide Stål.....	42
Figur 25 Sammendrag limtre i Grønn materialguide	44
Figur 26 Livssyklusen til treprodukter. Hentet fra limtreboka.....	45
Figur 27 Avstand Trondheim - Støren	46
Figur 28 Fagverk i Stål VS Tre	49
Figur 29 Utdrag Grønn Materialguide for Limtre og Stål	51

Formelliste

Formel 1 Egenvekt eksklusiv fagverk	11
Formel 2 Snølast	12
Formel 3 Ruhetsfaktor og stedsvindhastighet	14
Formel 4 Vindhastighet.....	14
Formel 5 Vindkraft y-retning.....	15
Formel 6 Vindkraft z-retning.....	15
Formel 7 Kapasitet i tre.....	18
Formel 8 Snittmetoden for tre.....	23
Formel 9 Tverrsnittsklasse gurter stål.....	26
Formel 10 Kombinasjon av bøyning om to akser og normalkrefter stål.....	26
Formel 11 Overslag Knekkingskontroll stål.....	27
Formel 12 Tverrsnittsklasse stegstaver stål	29
Formel 13 Dimensjonerende momentkapasitet i fagversplanet for knutepunktet	33
Formel 14 Kontroll brudd i gurtflens (a) begge formlene.....	33
Formel 15 Beregning av a-mål	33
Formel 16 Kombinert strekk og bøyning tre med og uten k_h	35
Formel 17 Kombinert trykk og bøyning tre med og uten k_h	37
Formel 18 Total nedbøyning for trebro	40

Tabelliste

Tabell 1 Lastvirkning bygg	14
Tabell 2 Krefter i gurter for tre og stål	24
Tabell 3 Undergurter i Robot	26
Tabell 4 Utnyttelse overgurt Robot	26
Tabell 5 Mest utsatte vertikale stegstaver.....	29
Tabell 6 Mest utsatte horisontale stegstaver	30
Tabell 7 Gyldighetsområdet for N-knutepunkt.....	32
Tabell 8 Staver der 6.10b YS eller 6.10b YN ikke er dimensjonerende	35
Tabell 9 Krefter fra overslag og Robot	36
Tabell 10 Utnyttelse av gurter i tre fra Robot.....	36
Tabell 11 Endestaver	38
Tabell 12 Oversikt nedbøyning	40
Tabell 13 Økonomisk overslag stål.....	47
Tabell 14 Økonomisk overslag tre.....	48
Tabell 15 Resultat dimensjonering	50
Tabell 16 GWP-verdier og terskelverdier systemgrense A1-A3.....	52
Tabell 17 GWP-verdier systemgrense D1	53

1 Innledning

Gjennom en byvekstavtale har Bane NOR fått oppgave om å øke kapasiteten på Trønderbanen. Målet er å legge til rette for halvtimesintervall på togene mellom Støren og Steinkjer. Tiltakene skal knytte sammen Trøndelag til et felles bo- og arbeidsmarked [1]. For å oppnå dette planlegger Bane NOR nye spor, forlengelse av plattformer og planfrie overganger. Planfrie overganger løses enten ved kulvert eller ved overgangsbro. For Støren stasjon er det planlagt overgangsbro.

Multiconsult har av Bane NOR fått i oppgaven å utarbeide hovedplan og detaljplan for den planfrie overgangen. I samtale med Multiconsult ble det gitt uttrykk for Bane NORs ønske om minst mulig nede-tid på toglinjene. Med andre ord ønskes det at færrest mulige tog skal bli berørt av anleggsaktivitet langs linjen. Dette ønsket gjør at byggeplassen må ta hensyn til forbi passerende tog gjennom hele byggeprosessen. I grove trekk vil det medføre at de plassbygde konstruksjonene på plattformene i stor grad blir ferdigstilt, før en tilnærmet ferdig bro-konstruksjon blir heist på plass over natten. Bro-delen utformes som en selvstendig fagverkskonstruksjon, dette gjør at den kan fraktes, heises, og arbeides med før den er på plass.

På Støren stasjon skal det bygges en overgangsbro som binder plattformer og stasjonsbygg sammen. Konstruksjonen har krav om universell utforming og skal derfor oppføres med både trapp og heis. Den består av to bro-spenn på 21 og 13 meter. Som en ser på figur 1 er det ved stasjonsbygget og den midtre plattformen tenkt universell utformet tilkomst. Ved den siste plattformen er det kun behov for en teknisk tilkomst/ rømningsvei så her er det tenkt en enkel vindeltrapp uten krav til universell utforming.



Figur 1 Skisse av Støren stasjon

1.1 Bakgrunn

I dagens samfunn står vi ovenfor en stor klimautfordring. På verdensbasis står bygg- og anleggsbransjen alene for omtrent 40% av verdens klimagassutslipp [2]. Norges mål er å redusere klimagassutslippene med minst 50% innen 2030 sammenlignet med målingene fra 1990[3]. Det er derfor viktig å ta hensyn til miljø i planleggingen av et bygg for å bidra til å nå disse målene. Produksjon og transport av materialer er en stor bidragsyter til klimagassutslippet[2]. Derfor er materialvalg en sentral del for å bidra til å kutte klimagassutslippene.

Vi lever i dag i en turbulent tid, korona og krig i Ukraina har skapt høye energi- og transportpriser. Tilgangen på råvarer er mindre enn på lenge. Som igjen fører til at både produsenter og leverandører hever prisene sine[4]. Derfor er det i dag spesielt viktig å velge rimelige materialer, uten at det går på bekostning av kvaliteten.

1.2 Målsetning

For denne oppgaven ønskes det å se på likheter og ulikheter for to materialer som kan benyttes til samme hensikt. Følgende målsetninger er satt for oppgave:

- Dimensjonere to prinsipielt like fagverksbruer i tre og stål etter gjeldende standarder.
- Fremstille styrker og svakheter ved de ulike produktvalgene med syn på økonomi og miljø.
- Anbefale hvilke materialer som er å foretrekke etter nevnte punkter.

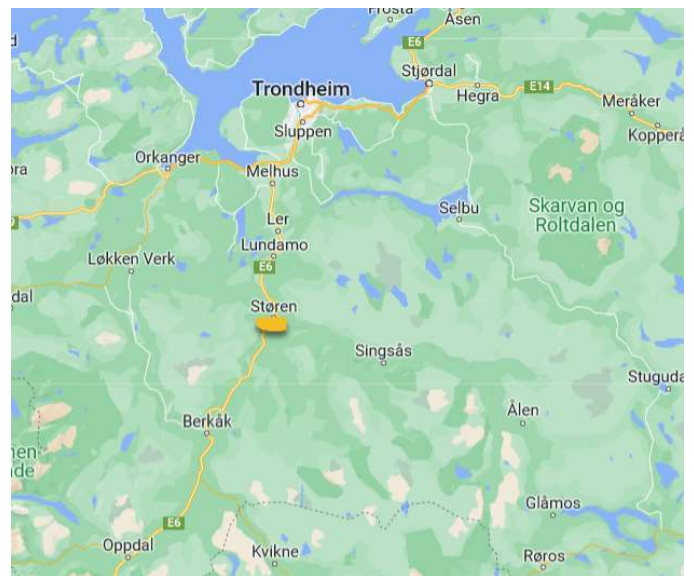
1.3 Problemstilling

Med bakgrunn i de aktualiserte temaene over og Multiconsult sitt oppdrag om en planfri overgang på Støren stasjon, har vi for denne oppgaven utformet følgende problemstillinger som vil bli undersøkt:

- Fremkommer det noen tekniske forskjeller mellom fagverkskonstruksjonene i tre og stål?
- Hvor store miljø- og økonomiske forskjeller er det på fagverk i tre og stål?

1.4 Omfang

Støren Stasjon ligger i tettstedet Støren i Midtre Gauldal kommune. Omtrent 52 kilometer sør for Trondheim stasjon, vist i figur 2. Splittelsen mellom Rørosbanen og Dovrebanen mot Østlandet, og Oslo S, skjer ved Støren stasjon. Regionale tog fra Rørosbanen og ekspressstog på Dovrebanen gjør at stasjonen må kunne betjene alle norske togtyper. Stasjonen ligger 66 meter over havet og har vært i drift siden 1864 [5]. Soknedalen møter Gauldalen ved Støren, i hvert dalføre følger henholdsvis veiene E6 og riksveg 30 i tillegg til jernbanene. Dette gjør Støren til et trafikknutepunkt. Mellom dalførene bærer terrenget preg av vidde [6]. I prosjektområdet er det av miljødirektoratet klassifisert naturtyper som «veldig viktig» med rikt arts mangfold som må hensyntas i totalprosjektet[7].



Figur 2 Oversiktskart over Støren

Oppgaven avgrensner seg til dimensjonering av fagverksbroen som heises på plass. På grunn av byggemetoden ses dette på som en naturlig avgrensning. Det utformes et prinsipielt likt fagverk som dimensjoneres i tre og stål. Dette for å skape et nok så nøytralt sammenligningsgrunnlag. Det vil bli lagt vekt på tekniske løsninger, økonomi og miljø.

Selve løftet kan tenkes skjer i nærliggende knutepunktene ved opplegg. Da vil det sannsynligvis ikke være noen problemer med tanke på global likevekt. Det vil da være omtrent det samme spennet og mindre opptredende laster. Selve løftepunktene må dimensjoneres i en detaljfase, og vil ikke bli sett videre på. Oppgaven ser ikke på trappe- og heissjaktene og hvordan disse dimensjoneres eller utformes. Innfestningen ved oppleggene ses heller ikke på, men det antas god nok kapasitet til å tåle reaksjonskreftene. Innfestning og oppbygning av fasader, gulv og tak vil ikke bli sett på i detalj. Her gjøres det likevel antagelser for å kunne gi et realistisk lastbilde. Flere antagelser vil bli gjort underveis og blir spesifisert i hvert enkelt tilfelle.

2 Metode

Avgrensningen av oppgaven gjør at det gjennomgående blir sett på fagverket isolert og ikke prosjektet i sin helhet. Det blir gjort antagelser av blant annet innfestninger av fasadeelementer og annen oppbygning uten å gå i dybden på dette. Det økonomiske grunnlaget blir hentet på forespørsel fra ledende leverandører i Norge og ligger vedlegglagt oppgaven. Det økonomiske overslaget ser i hovedsak på materialprisen. Det er noe usikkerheter rundt grunnlagene som er innhentet, de blir likevel lagt til grunn da de kommer direkte fra leverandører. Materialguiden til Grønn Byggallianse og materialenes livsløpsanalyser blir lagt til grunn for miljøvurderingene. Her blir det sett på produktene sine miljøavtrykk fra råmaterialet til fabrikkport og hvilke miljøgevinst de har etter gjenvinning[8].

Fagverket utformes tilnærmet likt og dimensjoneres i tre og stål. Dette for å skape et mest mulig likt sammenligningsgrunnlag. Dimensjoneringer gjøres med Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021 [9] og med håndberegninger i PTC Matchcad Express Prime 6.0.0.0 [10]. Dimensjoneringen og påvisning av opptredende laster følger norsk standard og annen litteratur som bygger på disse standardene. Utforming av fagverket gjøres ved testing i Robot, diskusjon med veileder, inspirasjon fra litteratur og befaringer til lignende konstruksjoner i nærområdet.

Bane NOR sitt tekniske regelverk [11] og Statens vegvesens håndbok N400 bruprosjektering[12] blir fulgt på de punkter som er strengere enn kravene i standardene eller som ikke blir omtalt. Dette gjøres siden prosjektet er bestilt av Bane NOR og er krav dem setter til sine prosjekter.

Konstruksjonen er, etter anbefaling fra veileder, dimensjonert med et gjennomgående ønske om å se solid ut og for å motstå store deformasjoner. Dette er for å unngå komplikasjoner med togtrafikken under broen og gi det brukervennlige inntrykket av en solid og trygg konstruksjon. For å hente inspirasjon til oppgaven har gruppen vært på befaring i nærområdet til lignende konstruksjoner. Disse bærer preg av solide tverrsnitt som gir en stiv og brukervennlig bro.

3 Teori

I det følgende vil teorien for oppgaven bli presenter. Kapitelet forklarer og presiserer teorien lagt til grunne for denne oppgaven. Temaer med bred betydning er presisert med tanke på hvordan det benyttes i oppgaven.

3.1 Tre

Helt fram til den industrielle revolusjonen var tre en av de dominerende materialene i byggebransjen. Armert betong, stål og støypejern ble oppdaget og ble mer og mer brukt samtidig som bruken av tre avtok. Fra tidlig 1900-tallet hadde stål og betong tatt helt over og dominerte i bygg som krevde ingeniørarbeid. Tre ble fortsatt brukt en del, men i mindre bygg som krevde ingen eller lite ingeniørarbeid. På grunn av den teknologiske utviklingen har tre gjort et «comeback». I dag har vi utviklet nye produkter som limtre og plateprodukter. Utvikling av sterkere forbindelser slik at tre kan brukes i større avanserte konstruksjoner er en del av utviklingen[13].

Tre som byggemateriale har en lang historie i Norge. I dag spiller tre en viktig rolle i utviklingen som vi kaller for det grønne skiftet. Materialet har flere fordeler stor styrke i forhold til vekt, det er fornybart, det binder CO₂ og det er lett tilgjengelig. Tre blir sett på som et miljøvennlig alternativ. Siden tre lagrer CO₂ gir det enda mer konkurransekraft, ettersom at vi beveger oss inn i en tid med mer fokus på miljø og bærekraft. Noen ulemper med tre er at det kan bli utsatt for sopp, råte og insekts angrep. Det har lav styrke på tvers av fiberretningen, krever ofte store tverrsnitt og materialet krymper og sveller med tanke på fukt og luftfuktighet [13].

3.2 Stål

Stål har blitt brukt som byggemateriale i lang tid, men det var først i 1855, når bessemerprosessen ble oppdaget at produksjonen tok fart[14]. Med tiden har utvinningsprosessen forbedret seg og i dag er det, det mest brukte materiale i lastbærende og strukturelle sammenhenger. Noe av det som gjør stål til et så bra materiale er at man til en viss grad kan bestemme egenskapene stålet skal ha. Det er mulig å endre på blant annet styrke, hardhet, seighet, utmatting, bestandighet, korrosjon og slitasje. Dette gjør at stål er mye brukt. I tillegg er stål veldig standardisert og god etablert i dagens samfunn, som gjør det et kjent materiale for de fleste [15].

Stålkonstruksjoner kan dimensjoneres i elastisk- eller plastisk globalanalyse. For plastisk analyse benyttes den lasten som gir et plastisk sammenbrudd i konstruksjonen. Plastisitetsteoriens grenseteorem gir en øvre og nedre grenseverdi for denne bruddlasten. Teoremets nedre grenseverdi tar hensyn til spenningsfordeling i en konstruksjon med likevekt mellom indre og ytre krefter. Den

øvre grenseverdien benytter flyteleddsmetoden hvor det innføres så mange plastiske ledd at konstruksjonen kollapse som en mekanisme[16, s.25].

Elastisk lastvirkningsanalyse er den vanligste beregningsmetoden og beregnes ved hjelp av linearisert elastisk analyse, også kalt 1. ordens elastiske analyse. Metoden gjør forenklinger slik at små forskyvninger og rotasjon kan lineariseres. Den formulerer likevektsligningene i konstruksjonens ubelastede tilstand. Lineariteten til metoden gjør at differensialligningen til bygningsdelen er enkel å løse, og at *superposisjonsprinsippet* kan benyttes til å kombinere løsninger av flere lastvirkninger. En annen del av lastvirkningsanalysen er 2. ordens elastiske analyse hvor det til motsetning etableres likevektsligninger i deformert tilstand. Dette fører til at differensialligningen blir ikke-lineær og løsningen må finnes numerisk, for eksempel med elementmetoden[16, s.22].

3.3 Fagverkskonstruksjoner

Fagverk er et system satt sammen av fag, eller trekkanter, som danner stive skiver. Stavene i fagverket opptar vekselvis trykk- og strekkrefter. I et horisontalt fagverk er det de horisontale bjelkene som kalles gurter. Gurtene har ofte større dimensjoner og ligger i overkant og underkant. De tar i de fleste tilfeller strekk i underkant og trykk i overkant, fordelt over hele tverrsnittet. De resterende stavene kalles for stegstaver og deles inn i vertikaler og diagonaler. Disse stavene fungerer som søyler i steget til fagverket og tar strekk og trykk vertikalt. Navnet til konstruksjonen kommer ofte fra formen på gurtene[17]. Som en forenkling kan alle knutepunkt beregnes som leddet. Dette gir en statisk bestemt konstruksjon som er enkel å regne på, men som i praksis ikke er hensiktsmessig å utforme. Et mer korrekt statisk system, lignende den virkelige utførelsen, gir et system som ikke er like enkelt å løse ved hjelp av den grunnleggende statikk og fasthetslæren. Slike system må løses numerisk siden det nå ikke er ledd i knutepunktene [16, s.20].

3.4 Prosjekteringsregler

Prosjektering av lastbærende konstruksjoner gjøres på en måte som tar hensyn til statistisk spredning av lastvirkning og materialets motstand på en forenklet måte. Det vil si at man kontrollerer om valgte dimensjoner og materiale har god nok motstand til å bære lastvirkningene. Opptredende laster bestemmes ut fra en spesifisert sannsynlighet av forskning og målinger. Om kapasiteten er god nok defineres av ulike kriterier som motstand mot brudd og deformasjoner[16, s.33].

Det skilles mellom brudd- og bruksgrensetilstand, hvor bruddgrensen tar for seg brudd og forskjellige former for svikt i konstruksjonen. Overskridelse av disse kreftene vil ha store konsekvenser for mennesker og miljøet. Bruksgrensetilstanden ser på funksjonsdyktigheten til konstruksjonen. Blant annet ses det på nedbøyning og vibrasjoner som kan skape ubehag eller

vanskeligheter for brukeren. Ulykkestilstand tar for seg lastvirkninger som sjeldent, eller aldri, opptrer. Brann og kollisjon er eksempler på dette, disse tilstandene vil være dimensjonerende dersom de opptrer og avhenger av pålitelighetsklassen til konstruksjonen. For mer komplekse konstruksjoner er dette ofte mer nødvendig å hensynta enn for enklere konstruksjoner med lavere pålitelighetsklasse[16, s.34].

Dimensjoneringen følger til enhver tid gjeldende Eurokoder[18], spesifiserte tekniske krav fra Bane NOR[19] eller statens vegvesens håndbok N 400 bruprosjektering[12].

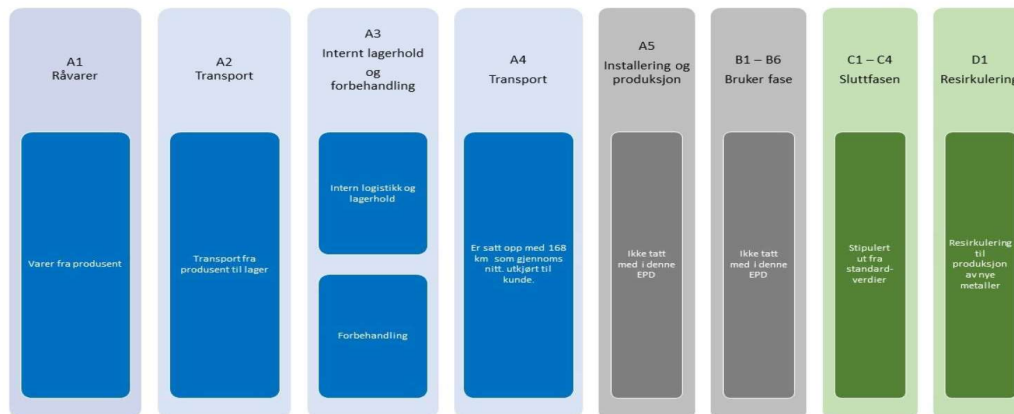
3.5 Elementmetoden og Robot

Elementmetoden deler kompliserte system inn i enkle elementer med kjente egenskaper. Det dannes et system som kan benyttes til å undersøke reaksjonen til elementene og hvordan de virker sammen. Metoden benytter matrisestatikk til å løse de ulike problemene [20]. Robot benytter denne metode for analyse av konstruksjonene og de påførte lastene. Programmet løser store kompliserte matriser og presentere svarene i modellen til videre bearbeiding eller dimensjonering. Programmet avhenger derfor av riktig input og statisk oppbygning for å kunne gi et korrekt resultat [21].

3.6 Miljø

Produksjon og transport av byggevarer er en stor del av miljø- og ressursutfordringene i byggenæringen. Det krever mye energi og råvarer som igjen bidrar til bransjens betydelige klimagassutslipp. Derfor vil det ha stor betydning å benytte bærekraftige byggematerialer, som bidrar til å redusere utslipp og minimere avfall gjennom hele byggets levetid. For å dokumentere dette blir det i byggenæringen i dag etterspurt en tredjepartssertifisert miljødeklarasjoner (EPD) som er byggevarens miljøprestasjon. Et byggverk eller byggevarer sin miljøpåvirkning og ressurseffektivitet gjennom sitt livsløp (LCA) er og en viktig del av byggenæringens strategi innen 'det grønne skiftet'. I miljødeklarasjonene er det oppgitt en rekke tall, hvor det for oppgaven er valgt å fokusere på Global Warming Potential(GWP). Dette tallet tar for seg utslippet og regner det om til hvor mye CO₂ det tilsvarer per kilo. Målenheten er kg-CO₂-ekv/kg [22]. GWP kan ses i sammenheng med Grønn materialguide sine terskelverdier.

Grønn Materialguide er en guid rettet mot utførende og prosjekterende i tidligfase. Den er ment for å gjøre det lettere å velge bygningsmateriale med liten miljøpåvirkning. Guiden beskriver miljøpåvirkningen til flere produktgrupper og måles innenfor miljøtemaene global oppvarming, ressursgrunnlag, sirkulærøkonomi, miljøgifter og inneklime. Lowtek og miljøsertifiseringsystemet BREEAM-NOR blir og omtalt i guiden samt noen relevante miljømerker. Vurderingene av de ulike produktgruppene baserer seg på minst tre EPD-er og annen supplerende litteratur [8].



Figur 3 Systemgrenser

Produktets livsløp deles inn i ulike kategorier, som Figur 3 over viser over. Kategoriene kalles for systemgrenser og tar for seg produktets miljøavtrykk i de ulike fasene av livsløpet. Produktenes EPDer bygges opp rundt disse systemgrensene, som vi ser er det ikke alle kategoriene som er like sikre. En EPD utarbeidet av en produsent har god kontroll på miljøavtrykket i kategori A1 til A3 og C1-C4 og D1. Siden det da er de som behandler produktet. I fasen A2 til B-6 blir produktet transportert rundt og brukt til sitt formål. Da er produktet solgt, og de har ikke lenger kontroll på bruken og levetiden. Når produktet til slutt blir resirkulert har de igjen muligheten til å følge opp miljøavtrykket på gjenvinningsstasjonen. Oppgaven ser i hovedsak på kategori A1-A3 som er perioden fra grunnmaterialet blir utvinner og til ferdig produkt klar til å bli transportert til byggeplass. Kategori C1- C4 tar for seg utslipp ved gjenvinning av produktet. D1 gir et positivt bidrag til miljøregnskapet hvor kategorien ser på de positive sidene av at materialet blir gjenvunnet og ikke kastet. Det totale miljøregnskapet vil være summen av systemgrensene hvor D1, for de fleste produkter er den eneste faktoren som virker i motsatt retning. Verdiene har derfor negative fortegn, siden det regnes på hvor mye CO₂ som slippes ut i løpet av livsløpet[23].

I vurderingene av materialene blir det brukt flere miljøtema og miljøsertifiseringer som kan ha vid betydning. De viktigste for oppgaven blir spesifisert og forklart her:

Miljødokumentasjon er noe som blir mer og mer tilgjengelig for ulike materialer. Forskriftskrav og miljøklassifiseringssystemer er noe som i sterk grad har bidratt til dette. Noen av de viktigste klassifiseringssystemene er følgende:

ECOproduct vurderer byggevarens faktiske miljøegenskaper basert på miljødeklarasjoner, som gir deg muligheten til å velge markedets beste byggevarer med tanke på miljø. Tjenesten er et verktøy for entreprenører, byggherrer og arkitekter for å hjelpe de i prosessen med å velge riktige materialer med gode miljøegenskaper. Det benyttes anerkjente internasjonale standarder og gjeldene norske

krav for å vurdere materialene. Byggevarer blir vurdert på seks forskjellige områder, der hver kategori karakterettes. Kategoriene er: helse og miljø, innelima, drivhuseffekt, råvarer, energi og sirkulærøkonomi [24].

PEFC og FSC er sertifiseringsordninger som gjør det mulig å spore tre, brukt i en konstruksjon, tilbake til bærekraftig skog. PEFC som verdens største skogsertifiseringssystem er særlig etablert i Skandinavia og står sterkt innenfor trelast og konstruksjonsvirke. FSC er mer etablert i tropiske områder og står sterkt innenfor plater og interiørprodukter[8].

BREEAM-NOR er en norsk tilpasning Europas ledende miljøsertifiseringsverktøy BREEAM. Sertifiseringen blir brukt av byggenæringen for å måle miljøpresentasjonene til bygninger. BREAM-NOR er utviklet av Grønn Byggallianse i tett samarbeid med bygg- og eiendomsnæringen i Norge. Formålet med å ha et slikt verktøy er å motivere til bærekraftig utvikling, design og bygging gjennom hele prosjektet[25].

Global oppvarming omfatter materialets klimagassutslipp forbundet med produksjonen, fra «vugge til fabrikkport». Verdiene er hentes fra EPDer og skal minst oppgi utslippet fra den tidlige fasen av materiales levetid, altså til fabrikkporten. Transport fra fabrikk til byggeplass er ikke inkludert og det må derfor bli tatt en egen vurdering på dette. Levetiden til materialet blir tatt med i vurderingen med utgangspunkt i 60 år. Det vil si om et materiale har en forventet levetid på 30 år, blir klimagassutslippene doblet. Levetiden til et materiale er også oppført i dens EPD[8].

Bundet karbon finnes i biologiske materiale som tre. Når tre vokser brukes karbondioksid som «byggstein» og man kan derfor ta dette med i betraktning når tre brukes som bygningsmateriale. Tre får derfor et negativt utslippstall. Dette gjelder ikke bare for tre, det gjelder også andre materialer som inneholder mye biologiske råstoffer. Bundet karbon omtales også som biogent karboninnhold. Klimaeffekten som kommer av bundet karbon, er begrenset til treets levetid hvor karbondioksidet frigis når trevirket har nådd slutten på levetiden sin[8].

Terskelverdier brukes for å sammenligne og vurdere produkter. Det er et forslag til hvor mye karbondioksid en kan kreve fra produksjonen og er eksklusivt bundet karbon. Dette er fordi flere land har ulike beregningsmetoder. Terskelverdier bestemmes som en middelværdi av resultatene til flere like produkters Global Warming Potential som finnes i produktenes EPDer. Det tas derimot ikke hensyn til noe annet, som kvalitative og funksjonelle forskjeller mellom produktene, og en bør derfor være forsiktig med bruken av terskelverdier. Poenget med terskelverdier er å sikre at bestillere får byggevarer med lave klimagassutslipp [8]. I denne sammenheng blir terskelverdier brukt for å

sammenligne med verdiene gitt av leverandøren og om klimagassutslippet ligger på et akseptabelt nivå.

Ressursgrunnlag tar føre seg hvor fornybart materialet er og om det er truet eller ikke. Et materiale kan være truet på den måten at det kun finnes en begrenset mengde. Byggeforskriftene stiller krav til at bygninger blir bygd på en slik måte at det forekommer minst mulig belastning på naturressurser og det ytre miljø. Noen produkter kan inneholde tre fra truet skog, som regnskog. Prosjekterende må derfor spesifisere at produktene må komme fra bærekraftig skogdrift og at det skal dokumenteres[8]. Ressursgrunnlag vil i denne oppgaven bli brukt til å vurdere materialene sine profiler i grønn materialguide opp mot hverandre[8].

Sirkulærøkonomi handler om materialet sine egenskaper når det kommer til ombruk og gjenvinning. Ombruk og gjenvinning er det mest ideelle for gjenbruk av ressurser. Spesielt gjelder dette for truede ressurser. Etter avhending kan mange materialer brukes til energiutnyttelse, som også er en god form for gjenbruk. Deretter kommer produkter som ikke kan ombrukes eller gjenvinnes og har derfor en stor negativ belastning på miljøet. På grunn av utvikling og innovasjon er denne spalten under stor endring. Selskaper nytter seg mer og mer av råstoffer og flere tilbyr ordninger der materialer kan sendes tilbake til produsenter for gjenvinning. Likevel er det ingen garanti for at materialene faktisk blir sendt tilbake. Ombruk og gjenvinning av materialer er sterkt avhengig av hvordan de blir brukt i en konstruksjon. Små forskjeller i utførelse har stor betydning for om de kan ombrukes eller gjenvinnes. Her kommer homogene materialer med mekaniske forbindelser godt [8].
Sirkulær økonomi i denne oppgaven tar for seg hvor resirkulerbart materialet er.

Miljøgifter beskriver materialets forhold til helse- og miljøstoffer. Her blir det brukt flere offentlige lister med de mest skadelige stoffene. REACH kandidatliste er det europeiske kjemikalierregelverket sin liste over stoffer som det er knyttet stor bekymring til, med tanke på helse og /eller miljø. Listen inneholder ca 200 stoffer og stoffgrupper hvor det følger informasjonsplikt dersom stoffet benyttes eller omsettes. Miljødirektoratet i Norge har utarbeidet Prioritetslista som er en lignende nasjonal liste. Denne listen inneholder rundt 400 stoffer eller stoffgrupper som er definert til å utgjøre en alvorlig trussel mot helse og miljø. Ifølge miljødirektoratet er Prioritetslista ikke en forbudsliste, men en nasjonal målsetning mot bruk av miljøskadelige stoffer. BREEAM-NOR stiller krav til dokumentasjon av fravær av miljøfarlige stoffer basert på Prioritetslista. Svanemerkede produkter oppfyller krav til begge listene som trygt kan velges og kan dokumenteres ved BREEAM-NOR-sertifisering. I byggeteknisk forskrift (TEK 17) §9-2 blir følgende spesifisert: «Det skal velges produkter uten eller med lavt innhold av helse- eller miljøfarlige stoffer». I veiledningen til paragrafen henvises det videre til REACH Kandidatliste og Miljødirektoratet sin Prioritetsliste. Der de

mest alvorlige stoffene kan gi alvorlige helseskader. Om et produkt ikke har miljømerke eller annen dokumentasjon om innhold, kan man etter Miljøinformasjonsloven be om skriftlig bekreftelse om produktet ikke inneholder stoffer på REACH kandidatliste eller Prioritertlista[8].

Inneklima knyttes til avgassing og innemiljø. TEK 17 § 13-1 (7) stiller følgende krav: «Produkter til byggverk skal gi ingen eller lav forurensing til inneluften». Videre i veiledningen til paragrafen kommer det frem at produkter som kan påvirke inneluften skal være dokumentert «lavemitterende» med hensyn til en rekke faktorer. Noen av faktorene er overflatebehandling, opplysninger om mulige helseeffekter, rengjøring og vedlikehold. Materiales avgassing til inneklima oppgis ofte i dens EPD. For at et produkt skal komme bra ut i henhold til inneklima må det dokumenteres at emisjonen er innenfor kravene gitt i norske eller internasjonale standarder. For svanemerkede og kjemiske produkter er det krav som skal sikre lav emisjon av både helseskadelige og irriterende stoffer. Kravene sier noe om hvilke stoffer som er tillat å bruke og bruk av emisjonstest der det skulle være relevant. Svanemerkede produkter tilfredsstiller på den måten kravene som stilles i TEK17. Men tilfredsstiller ikke nødvendigvis kravene lagt til grunn i BREEAM-NOR[8]. Inneklima i en overgangsbro er ikke like relevant da konstruksjonen er inne, uoppvarmet med god lufting. Konstruksjonen benyttes heller ikke til varig opphold. Uansett er det interessant å se på emisjonene til materialene når det skal velges bygningsmateriale på et mer generelt grunnlag.

3.7 Økonomi

Økonomi er et begrep med flere betydninger, i denne oppgaven menes økonomi som den studie om hvordan mennesker fatter beslutninger om verdiskapning, sparing og forbruk. Begrepet økonomisk virksomhet beskriver utnyttelse av ressurser, arbeidsinnsats og kunnskap for å skape verdier som dekker behov [26]. Med andre ord vil det bli sett på mengder og kostnader, i relevans til oppgaven og de ulike alternativene.

4 Laster

For brukonstruksjoner skal det påvises at virkningene av de dimensjonerende lastene ikke overskrider tverrsnittskapasiteter og motstandskriterier. Konstruksjoner av denne typen skal alltid kontrolleres for brudd- og bruksgrense samt ulykkestilstand. I noen tilfeller vil det i tillegg være nødvendig å se på utmattingsgrense. Lastbildet til de ulike tilstandene finnes ved å multiplisere de karakteristiske lastene med lastfaktorer[27].

Lastverdier som blir lagt til grunnlag i denne oppgaven er de permanente og variable lastene som virker på konstruksjonen. Disse antas å opptre under normal bruk og forutsetninger. Det ses vekk fra laster i midlertidige faser, unormale påvirkninger samt deformasjons- og ulykkeslaster. Verdier som kommer frem, er funnet ved håndberegninger. Det er valgt å benytte disse verdiene i oppgaven, selv om det kan diskuteres for at disse konservativt kan rundes opp til mer hele tallverdier.

4.1 Egenlast

Egenvekten er funnet ved å summere vektene til alle deler av bro-konstruksjonen. Siden det er usikkert hvilke materialer og hvordan oppbyggingen av de ikke-bærende elementene blir, gjøres det et overslag til sikker side. Overslaget for de lettere konstruksjonsdelene er, som formel 1 viser, beregnet til 1 kN/m pr. gurt, der fasade og andre installasjoner er inkludert. Utregningene for dette er vist i vedlegg A1, hvor det er brukt de tyngste materiellene oppgitt for hver bygningsdel til sikker side. Tallene som er benyttet i utregningen er hentet fra Byggforskserien sitt byggedetaljblad 471.031 [28]. Vekten til den bærende delen av konstruksjonen er avhengig av hvilket tverrsnitt som blir brukt og oppbyggingen av fagverket. Robot tar hensyn til dette i sine beregninger. For overslagsberegningene er den totale vekten regnet ut og fordelt på de fire gurtene som en jevnt fordelt linjelast. Dette er en forenkling da egenvekten fra stegstavene i praksis vil virke som punktlaster på gurtene. Egenvekten vil virke over hele levetiden og blir derfor betraktet som en permanent last. Videre ses det vekk fra eksentrisitet som måtte oppstå fra innfestningen til fasaden. Lasten fra fasaden er i Robot satt inn som en sentrisk plassert linjelast langs gurtene. Disse forenklingene ses på som akseptable da prosjektet enda er i en tidlig fase. Nøyaktig vekt og eksentrisitetsmoment må kontrolleres i detaljfasen.

$$q_{fasade} := \frac{(G_{tak_og_gulv} + G_{vegger})}{4 \cdot 21 \text{ m}} = 0.998 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Formel 1 Egenvekt eksklusiv fagverk

4.2 Nyttelast

Nyttelasten er funnet i NS-EN-1991-1-1[29]. Konstruksjonen er i utgangspunktet en bro hvor menneskene er i bevegelse. Likevel kan det samle seg mennesker for eksempel ved togbytte eller at flere tog er på stasjonen samtidig. Det velges derfor til sikker side å plassere konstruksjonen under kategori for arealer der folk kan samles. Mer spesifikt kategori C3 Tab NA 6.1, arealer uten hindring for personer i bevegelse. Konstruksjonen befinner seg i et relativt lite tettsted. Derfor er det usannslig at det oppstår en situasjon der konstruksjonen lett overfylles (kategori C5). Kategori C3 i Tab NA 6.2 gir en nyttelast på 5 kN/m².

4.3 Snølast

For å finne opptredende snølast benyttes NS-EN-1991-1-3[30]. Snølast på tak finnes ved å benytte formel 2 under. Her ser vi at det oppstår en dimensjonerende snølast på 2.88kN/m². Full utregning kan ses i vedlegg A2.

$$S := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \quad S = 2.88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (5.1)$$

Formel 2 Snølast

Støren stasjonen ligger på 66moh i Midtre Gauldal kommune. Tabell NA.4.1(901) gir en høydegrense på 150mho. Når beliggenheten ligger lavere enn høydegrensa sier NA.4.1 at den karakteristiske verdien for snølast på mark, S_k , kan settes lik grunnverdien $S_{k0} = 4,5\text{kN/m}^2$.

C_t er den termiske faktoren og er en reduksjonsfaktor som hensyntar snøsmelting fra tak med høy varmegjennomgang. Det antas ingen former for oppvarming av konstruksjonen så denne faktoren settes lik 1,0.

Eksponeeringskoeffisienten C_e settes i følge NA.5.1 lik 0,8. Broen vil i liten grad være skjermet mot vind fra andre bygninger eller vegetasjon. Den vil være høyere enn nærliggende bygninger og det vil være en «vindgate» langs sporene som treffer broens langside. Denne langsiden er kortere enn 50m og middelvind hastigheten for kommunen ligger på 25m/s som er høyere 8m/s, dette tillater benyttelse av faktoren 0,8.

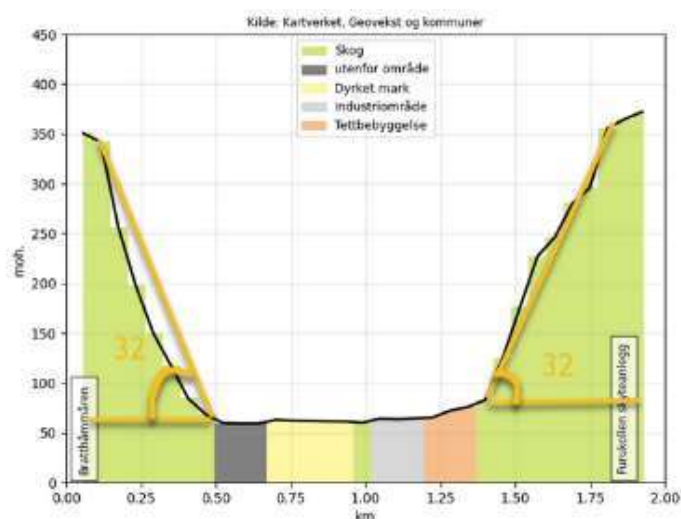
«NA.5.3.1(3), Merknad til Tabell 5.2: Anbefalt verdi for $\mu_i (0^\circ)$ er $\mu_i (0^\circ) = 0,8$ » [30].

For konstruksjonens helhet vil det videre være av interesse å vurdere snødrivere og snø fra nærliggende tak for takene over trappene og eventuelle krefter fra snøfangere over trappeutløpet.

Takene er dog av en slik størrelse at neglisjering kan faglig vurderes. Oppgavens avgrensning gjør at det ikke ses nærmere på, da dette ikke har innvirkning på lastbildet til avgrensingsområdet.

4.4 Vindlast

Vindlast beregnes etter NS-EN 1991-1-4[31]. Beliggenheten til konstruksjonen gjør at det må tas hensyn til økende turbulens på tvers av dalføret. Undersøkelser ved høydeprofiler fra norgeskart [32] viser en gjennomsnittlig helning på 30 grader hvor den største helningen ble funnet til 32 vist i Figur 44. Avstanden til begge sider av dalføret er under $8H$, hvor H er høydeforskjellen mellom foten og det høyeste punktet av det bratte terrenget. Dette betyr at man må følge NA.4.3.3(901.4) siden byggestedet ligger på lesiden av bratt terreng med fall større enn 30 grader i vindretningen. For å øke turbulenssensiteten benyttes Figur NA.4(901.5) for å finne parameterne C_0 og K_i . Konservativt benyttes 180 graders sektor hvor skjæringstrekantene i figuren blir sett bort fra. C_0 settes likevel lik 1,0 og ikke lik 0,9 som figuren viser, dette siden området er et dalføre etter punktet A.3(4).



Figur 4 Høydeprofil

Basisvindhastigheten settes konservativt lik referansevindhastigheten ifølge NA.4.1. Da de ulike reduksjonsfaktorene ikke ses relevante nok for bruk, settes disse lik 1,0. Referansevindhastigheten hentes fra tabell NA.4.1 og er 25m/s.

NA.4.3.3(901.4) fastsetter at terrengruhetskategori 2 skal benyttes uavhengig av terrengkategoriene i området. Dette gir verdier i Tabell NA.4.1 for beregning av ruhetsfaktoren (C_{rz}) som videre benyttes for å finne stedsvindhastigheten (V_{mz}). Utdrag i formel 3 er hentet fra vedlegg A3 hvor full utregning kan ses.

$$Crz := Kr \cdot \ln\left(\frac{Z}{Z0}\right) \quad Crz = 1.025$$

$$Vmz := Crz \cdot C0 \cdot Vb \quad Vmz = 25.62 \frac{m}{s}$$

Formel 33 Ruhetsfaktor og stedsvindhastighet

Turbulensintensiteten (I_v) vil øke på grunn av det bratte terrenget rundt prosjektområdet. Faktoren påvirkes av C_0 - og K_i -faktorene som videre er med på å finne vindhastighetstrykket (q_{pz}), vist i formel 4. Siden det er vidde på toppen av det bratte terrenget antas en terrengruhetskategori 1 her. Dette gir en overgangsfaktor på 1,15. Som benyttes til å finne vindhastigheten på plassen. Denne verdien legges til grunne for å finne vindens påvirkning på konstruksjonens ulike deler.

For vind langs med dalføret ses det i denne sammenheng som greit å bruke den samme verdien for vindlast som på tvers av dalføret. Likevel kan det her tenkes det burde bli tatt hensyn til hastighetsøkning på grunn av traktvirkning i dalen. Dette bør vurderes i en detaljfase.

$$q_{pz} = 1.342 \frac{kN}{m^2} \quad K3 := 1.15$$

$$q_{kast} := q_{pz} \cdot K3 \quad q_{kast} = 1.543 \frac{kN}{m^2}$$

Formel 4 Vindhastighet

For å definere kreftene som virker på konstruksjonen ser vi både på formfaktorer for bygninger og broer. Dette siden denne typen konstruksjoner ikke helt er definert i standarden. For videre beregninger vil de største kreftene som er verst for konstruksjonen bli valgt. Formfaktorer for bygninger følges punkt 7.2. Disse tar ikke for seg konstruksjoner i lufta, men bygg som står på bakken. Det forutsettes skarp takavslutning og vind vinkelrett på brospennet. Vind parallelt på brospennet vil bli tatt opp av brotårnene og ses derfor ikke nærmer på. Lastvirkningene kan ses i Tabell 1 under.

Sone	Lastvirkning kN/m^2
D	1.2
E	-0.8
F	-2.8
G	-1.8
H	-1.1
I	0.3

Tabell 1 Lastvirkning bygg

Vindpåvirkninger på bru er definert i kapittel 8 i NS-EN 1991-1-4[31]. Det antas ikke nødvendig med dynamisk beregning etter punkt 8.2, merknad 3. Dette siden både broen er mindre enn 40m og er i forbindelse med jernbane. Kraftene som virker på broen i y- og z-retning finnes ved punkt 8.3. Faktoren $C_{f,y}$ leses av figur 8.3 og eksponeringsfaktor C_e regnes ut etter formel 4.9. Vindkraften i y-retning kan ses i formel 5 under. I z-retning settes $C_{f,z}$ lik 0,9 etter NA.8.3.2. For utregning av kraftene i z-retningen benyttes samme formel som for y-retning i formel 6 under, da annet ikke er oppgitt. Krefter i x-retning antas neglisjerbare, men kan settes som en prosentsats av y-retning etter 8.3.4. For full utregning se vedlegg A3.

$$F_{wy} := 0.5 \cdot \rho_0 \cdot Vb^2 \cdot C1 \quad F_{wy} = 3.086 \frac{kN}{m^2}$$

Formel 5 Vindkraft y-retning

$$F_{wz} := 0.5 \cdot \rho_0 \cdot Vb^2 \cdot C2 \quad F_{wz} = 1.208 \frac{kN}{m^2}$$

Formel 6 Vindkraft z-retning

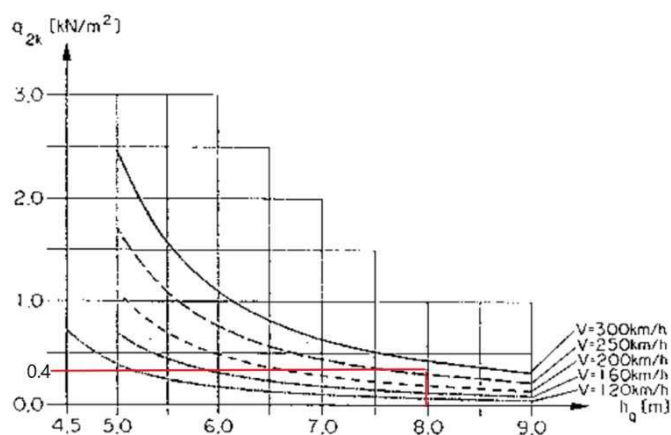
Vindkraftene i horisontal retning ser vi er større når konstruksjonene betraktes som en bro, enn som et bygg. Forskjellen er ganske betydelig så det velges å benytte lasten for bro selv om det kan diskuteres for at denne er konservativt høy. Ser man på global likevekt og deformasjon har den horisontale kraften stor påvirkning. I vertikal retning ser man at trykket på hustak er større enn på broen. Konservativt burde lasten for sone F bli benyttet, da denne er størst. Denne sonen ligger dog utenfor avgrensingsområdet da dette er hjørnet på taket. Sone G kan da argumenteres for å bli benyttet. Bestemmelse av hvilken av lastene, både horisontalt og vertikalt, som er mest reelt for denne type konstruksjon er ikke lett. Valget krever nøye vurderinger og kanskje også målinger på stedet. For oppgaven er det valgt å betrakte overgangsbrosen som en bro og dermed legge begge dens verdier til grunn for dimensjoneringen. Selv om det kan argumenteres godt for sone G og kanskje sone F. Videre i en detaljfase vil disse lastene være en faktor som må vurderes.

4.5 Vind fra tog

Det vil oppstå vindlaster på nærliggende konstruksjoner fra tog når det passerer. Denne lasten er avhengig av farten på toget og avstanden mellom skinnene og konstruksjonen. Siden vi i denne oppgaven har fokus på selve bruovergangen, tar vi kun hensyn til lastene som virker på overgangen og ikke resten av konstruksjonen. Siden bruovergangen er såpass slank, vil vindlasten fra toget virke

på hele bredden. Trykk- og sugeffekter opptrer ikke samtidig. Når et tog kjører forbi vil det oppstå trykkeffekter når det er i ferd med å passere, og deretter sugeffekter når det er passert. Størrelsen på denne kraften skal ifølge Bane NOR bestemmes av figur 6.23 i NS-EN 1991-2 for trafikklast på bruer [33].

I standarden er det oppgitt reduksjonsfaktorer for utforming av toget. Til sikker side ignoreres dette. Belastet lengde av konstruksjonen er 10m fra senterlinjen til togsporene. Dette betyr at det er noen små områder på endene som ikke blir belastet, men velger å belaste hele konstruksjonen til sikker side. I figur 5 ser vi hvordan vindlasten fra tog er funnet. Høgden mellom skinnene og underside av konstruksjonen er 8m. Antar til sikker side høyhastighetstog med toppfart på 250km/t[34]. Dette gir oss en vindlast på 0,4kN/m². Siden det kan forekomme en situasjon der hvor tog passerer samtidig, må lasten dobles[11]. Vindkrefter som virker på bruene fra passerende tog blir derfor 0,8kN/m². Runder denne opp til 1kN/m² til sikker side.



Figur 5 Tab 6.23 fra NS-EN 1991-2

4.6 Ulykkelaster

For denne typen konstruksjon finnes de flere ulykkelaster det bør tas hensyn til. De mest aktuelle ulykkelastlastene for akkurat denne bruene er avsporing under bruene, ulykkelast på grunn av neddriving av kontaktledningsutstyr og brann. For avsporing under bruene henviser Bane NOR til NS-EN 1991-1-7. I denne standarden står det i punkt 4.5.1.3(2) at det vanligvis ikke er nødvendig å ta hensyn til støt på overbygningen fra avsporet jernbanetraffikk under eller i nærheten av en konstruksjon. Overgangsbruene vil i denne sammenhengen være overbygning og det kan derfor ses vekk fra ulykkelaster relatert til avsporing.

Ulykkelast som kommer av ledningsbrudd eller neddriving av ledninger, skal betraktes som en statisk kraft på 20kN. Angrepsretningen til denne kraften vil være i samme retning som den intakte delen av bærelinja. I dette tilfellet er det to spor som betyr at det skal være mulig å rive to bærelinjer og to

kontaktledninger om gangen. Ved dimensjonering velger man ledningene som gir mest ugunstig lasttilfelle[11]. Gitt oppgavens avgrensning vil disse kreftene ikke bli hensyntatt. I et videre arbeid er dette en last som bør vurderes i samsvar med utformingen av kjøreledningen for togene på stedet.

Bane NOR sitt tekniske regelverk spesifiser at ved brann skal konstruksjonen være brannbestandig nok til at passasjerer og personale har tid til å redde seg selv eller evakueres, og at redningstjenestene skal kunne utføre sitt arbeid[11]. Konstruksjonen har veldig korte redningsveier og trenger derfor ikke holde seg kontakt i lang tid. Likevel ses det vekk fra branndimensjonering i denne oppgaven.

Oppgaven ser ikke på jordskjelv eller vibrasjoner fra tog. Stort sett er det fundamentene som er mest utsatt for eventuelle jordskjelv. Siden dette er utenfor avgrensningsområdet, ses dette ikke på. Vibrasjoner fra forbigående tog blir ikke hensyntatt i oppgaven. Dette må dog vurderes i en detaljfase. Både når det kommer til påvirkning på materialene og eventuelle hensyn i oppbygging- og innfestningsdetaljene.

4.7 Lastkombinasjoner

Oppgavens avgrensning gir at det er bruks- og bruddgrensetilstanden til konstruksjonen som vil være av interesse. For å finne grensetilstandene benyttes NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [35]. Standeren bestemmer de ulike lastfaktorene som multipliseres med de karakteristiske lastene som er funnet for konstruksjonen. Lastfaktorene avhenger av kombinasjonene, hvor det vil være den verste kombinasjonen for konstruksjonen som vil være dimensjonerende. I tilfeller hvor en tung konstruksjon er negativt vil det benyttes faktorer for å øke den karakteristiske egenlasten. Spiller tyngden positivt inn, skal en reduksjonsfaktor benyttes for de samme karakteristiske lastene. Ser man på global likevekt og stabilitet av konstruksjonen vil det være fordel med en tyngre konstruksjon, da benyttes reduksjonsfaktoren. For kontroller i bruddgrensetilstand er en tyngre konstruksjon negativt og vil være dimensjonerende. For denne oppgaven ses det ikke på global likevekt av hele konstruksjonen.

Tillegg A2.2.3 (4) i NS-EN 1990 sier at «spesielle lastkombinasjoner bør bestemmes for gangbruer der fotgjengere og syklistene er fullstendig beskyttet mot alle typer dårlig vær.» Hvor det videre i merknaden blir presisert at lastkombinasjonene for bygninger anbefales [35]. Utformet overgangsbros for oppgaven er tenkt med tak. Brukerne vil da være beskyttet mot dårlig vær og A2.2.3(3) blir gjeldende. Dimensjonering i bruddgrense benyttes derav lastkombinasjonene etter ligning 6.10a eller 6.10b med psi-faktorer fra tabell NA.A2.2 spesifisert for gangbruer.

Konstruksjonen blir sjekket for begge lastkombinasjonene, der den verste blir dimensjonerende. Ved dimensjoneringen ses det at 6.10b som er dimensjonerende lastkombinasjon. Det er også tatt hensyn til at vind i horisontal retning kan virke fra begge sider. Og at vindkreftene fra tog kan virke opp og ned. En enkelt stav i fagverket vil ha ulik utnyttelse ut ifra hvordan disse vind-lastene fungerer. Derfor er det lagt inn i Robot for beregninger, lastkombinasjon med vind som virker i to forskjellige retninger.

Spesielt for trekonstruksjoner er kapasiteten tidsavhengig. Dette betyr at man klassifiserer lastene ut ifra hvor lenge de virker på konstruksjonen. I NS-EN-1995 punkt 3.1.3 kommer det frem at lastkombinasjoner hvor det er en kombinasjon av forskjellige lastvarighetsklasser, velges fasthetsfaktor k_{mod} for lasten med kortest varighet. k_{mod} er en fasthetsfaktor er avhengig av klimaklasse og lastvarighet. Den kan variere mellom 0,5 og 1,1. For trekonstruksjoner regnes ulike kapasiteter ut som vist i formelen 7 under. Der f er fastheten og γ_m er materialfaktor. Faktoren avtar desto lenger virkning lasten har, som betyr at kapasiteten vil øke dersom lasten virker over en kort tidsperiode i motsetning til en lang tidsperiode. Dette blir tatt med i betraktning i Robot og gjør at trekonstruksjonen kan få andre dimensjonerende lastkombinasjoner enn stålkonstruksjonen.

$$\sigma_d = f * \frac{k_{mod}}{\gamma_m}$$

Formel 7 Kapasitet i tre

Lastkombinasjon for bruksgrensetilstand blir omtalt som *karaktteristisk, ofte forekommende og tilnærmet permanent*. Verdiene for lastene til bruk i disse kombinasjonene finnes i tabell NA.A2.6. Med ψ -faktor for gangbruer etter tabell NA.A2.2. Disse kombinasjonene baserer seg mer på tidsperspektivet lastene opptrer på og benyttes for å se på konstruksjonens brukbarhet. I beregningene legges kombinasjonene inn og betraktes i hovedsak med syn på nedbøyning.

I vedlegg D1 og D2 kan en se hvordan lastene og kombinasjonene er lagt inn i Robot for begge alternativene. Vedleggene viser summen av reaksjonskreftene og summen av påførte krefter i de ulike kombinasjonene. Verdiene er like som tyder på at alle kreftene som blir påført, blir tatt opp i oppleggene. Dette er en god kontroll på at alle kreftene påført konstruksjonene blir tatt opp der det er tenkt.

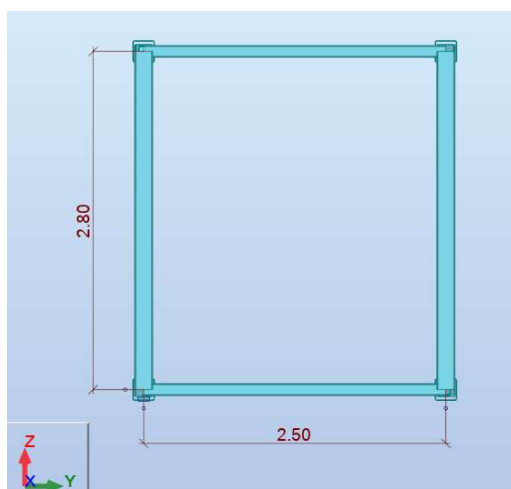
5 Dimensjonering

For dimensjoneringen er det gjort den antagelsen at veggfasadene festes direkte til gurtene. Dette gjør at lastene som virker på konstruksjonen blir ført over som linjelaster på gurtene. Da vil stegstavene ikke få noen krefter sideveis, kun være utsatt for aksialkrefter. Antagelsen gjør at det kan oppstå eksentrisitetsmoment i gurtene, dette blir ikke kontrollert. Innfestningsdetaljene må dimensjoneres i en detaljfase sammen med oppbyggingen av de andre lette konstruksjonsdelene.

5.1 Utforming av konstruksjonen

I Bane NOR sitt tekniske regelverk stilles det krav til en fri bredde på 2300mm [36]. I utformingen av konstruksjonen er det valgt en senteravstand mellom gurtene på 2500mm. Avstanden mellom insidene av gurtene blir da rundt 2300mm etter valgte dimensjoner. Dette tilfredsstillers kravet om fri bredde. Videre spesifiserer regelverket at bredde på gangsoner innendørs er 1600mm og 1800mm utendørs[36]. Disse kravene overholdes siden gangsonen i denne bruene vil være like bred som den frie bredden på 2300mm.

I figur 6 kan en se fagverkets utforming. Kravet for fri høyde i gangbroer er minimum 2400mm[36]. Det er satt en senteravstand på gurtene i vertikal retning på 2800mm. Dette gir en fri høyde på rundt 2600mm, dersom både tak og gulv bygges opp slik at det går i ett med overkant gurt. Dersom dette ikke ser seg mulig eller ønskes endret med tanke på oppbygging av gulv og tak har vi god margin til kravet. Bane NOR krever en fri høyde på minst 6,35m mellom skinnene og underkant broen. Dette er for å sikre tilstrekkelig rom for den strømførende kontaktledningen til togene. Dersom broen er 7,6m over skinneoverkant har kontaktledningen ingen påvirkning på broen[19]. Som en forenkling til denne oppgaven velges det en fri høyde på 8 m som gir en overkant tak på rundt 11m og broen er fri for kontaktledningen. I tillegg er det da god plass på undersiden av broen til fasade.



Figur 6 Fagverkets størrelser

Bane NOR sine generelle tekniske krav til broer og konstruksjoner stiller i punkt 3.9 krav om estetisk utforming og landskapsmessige tilpasning[37]. For broer i byer og tettbygde strøk som er iøynefallende skal broene gis en tiltalende form. For overgangsbroen vil dette si at broen både skal være funksjonell og pen å se på. Kravet er et tolkningsspørsmål hvor det for alternativene kan ses på synligheten av fagverket da resterende utforming antas likt. Stål gir et slankere fagverk med mindre tverrsnitt. Tre gir større synlig fagverk, men gir et miljøvennlig inntrykk som har en form for affeksjonsverdi for mennesker i dag.

5.2 Grunnlag

For å sikre konstruksjonens pålitelighet med hensyn på brudd og funksjonssvikt benyttes det i Norge fire pålitelighetsklasser. Klassifiseringen tar for seg konsekvensene for tap av menneskeliv samt økonomiske, sosiale og miljømessige konsekvenser[27, s.37]. Støren stasjon havner i pålitelighetsklasse 3, hvor 4 er høyest, dette skyldes muligheten for tap av menneskeliv ved en ulykke hvor bruene detter ned. De sosiale og økonomiske konsekvensene av at bruene detter ned og at togene ikke får passere vil være store.

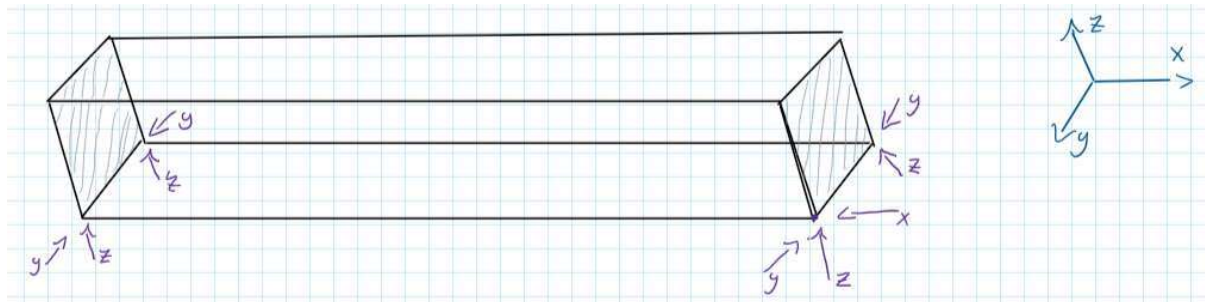
Tilhørende pålitelighetsklassene følger det krav til prosjekteringskontroll. For pålitelighetsklasse 3 er det krav om utvidet kontroll som omfatter egenkontroll, internkontroll og uavhengig kontroll. Utvidet kontroll skal blant annet kontrollere global likevekt, kritiske komponenter, oppfylte funksjonskrav, relevans av materialegenskaper med mer. Det stilles også krav til utførelsen hvor det også skal være egenkontroll, internkontroll og uavhengig kontroll for de høyere utførelsesklassene[35].

Konstruksjonens ønskede levetid vil være en faktor for prosjekteringen. For brukonstruksjoner skal det dimensjoneres for 100-års levetid. Dette gjør at man må ta med i beregninger fremtidige økning i belastning og mulig utmatting av det bærende systemet[27 s.25]. Denne oppgaven vil ikke gå nærmere inn på dette.

5.3 Statisk system

Bane NOR sitt ønske om lite nede-tid på togstrekningene sine krever en egen byggemetode. Byggingen av broen blir ferdigstilt med fasade og andre installasjoner før den transporteres og heises på plass. Trappe- og heissjaktene plassbygges på plattformene og forankres til grunnen. Disse vil virke som avstivende sjakter og vil føre kreftene fra broen, samt krefter som virker fra/på egen konstruksjon, ned i bakken. For å minimere nedetiden på togene heises broen på plass over natten. På den måten kan tog passere på dagtid. Oppgavens avgrensning følger dette ønsket fra bane NOR.

Siden broen skal heises på plass vil det være fire opplagspunkt på trappesjaktene som broen heises ned på. Det statiske systemet for broen vil være et opplager som tar krefter i x-, y-, og z-retning, de tre andre tar krefter oppover og på tvers av broen, illustrert i figur 7. Dette gjør at broen er holdt fast på et punkt og at den kan bevege seg fritt i lengderetningen. Når den blir påvirket av lastene vil den kunne utvide seg, spesielt temperaturendringer kan føre til at konstruksjonen krymper og utvider seg over tid. Ved å utforme opplagerne på denne måten unngås tvangspenninger i konstruksjonen som igjen kan føre til ødeleggelser.



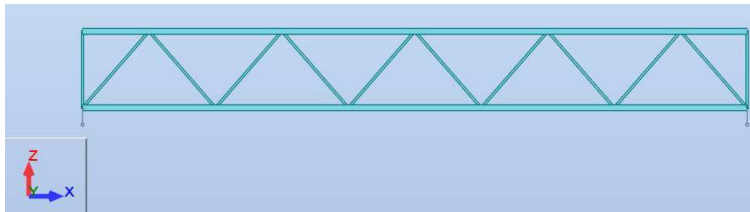
Figur 7 Statisk system

Brospennet på 21 meter er innenfor kravet om fugefri utførelse av broen etter punkt 3.4.2 i Statens vegvesens håndbok N400 [12]. Det vil si at det ikke behøver å tas hensyn til tvangskrefter som kan oppstå i de lettere konstruksjonsdelene. Likevel er det god praksis å utforme disse delene på en slik måte at det ikke går ut over brukervennligheten. Dette må vurderes og prosjekteres i detaljfasen sammen med utførende entreprenør.

Denne oppgaven vil ikke ta for seg selve utformingen og dimensjonering av oppleggene, men det tenkes en konsoll eller en form for flate som broen legges ned på og festes til. Den lukkede fagverksbroen vil ha en form for innfestning i topp. Dette kommer av takttilslutningen mellom broen og trappesjaktene. Oppbygning og dimensjonering av trappesjaktene vil ha en påvirkning på broen og hvor kreftene vil gå. Dersom det plasseres opplager i de øvre hjørnene, kan dette føre til tvangskrefter i konstruksjonen. Det er derfor ikke lagt inn noe lager her selv om det i praksis vil være en form for avstivning. Det statiske systemet for denne oppgaven ses på som konservativt utformet, spesielt med tanke på deformasjoner i horisontal retning.

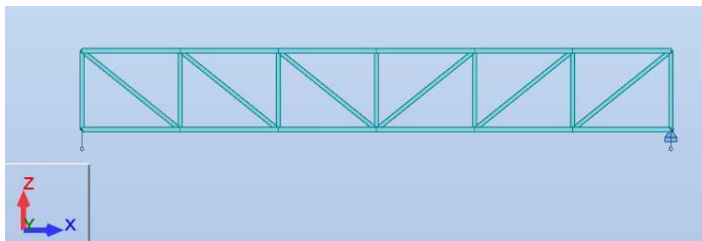
5.4 Fagverk

Utformingen av det prinsipielt like fagverket ble det vurdert to typer fagverk. Alternativ 1 i figur 8 ble ført utformet med kun diagonalstaver og kalles et V-fagverk. Dette fagverket gir et fint utseende med et mer åpent fagverk. Det bruker mindre materialer og på den måten er positivt for både miljø og økonomien. Alternativet er ikke like god til å motstå deformasjoner. Den får og trykk i noen av diagonalstavene som har en lengre knekkengde som kan slå negativt ut for knekkingsberegninger.



Figur 8 Alternativ 1

Alternativ 2 vist i figur 9 gir et veldig solid fagverk som er god til å ta opp deformasjoner. Fagverket er utformet på en slik måte at de vertikale staver tar trykk og diagonalene tar strekk. Dette gjør at staverne i trykk som er utsatt for knekking og vipping har den korteste knekk lengde som er mulig å oppnå. Fagverket krever en del flere staver og krever derav mer materiale. Ønsket om at broen skal se solid ut gjør også at dimensjonene ikke kan reduseres like mye som dimensjonering i bruddgrense tillater. For oppgaven er alternativ 2 valgt med grunnlag i styrken til å motstå deformasjon gjennom geometriens styrker.



Figur 9 Alternativ 2

Begge alternativene har fagverk i gulv og tak for å ta opp horisontale krefter. Dette er med på å stive av hele konstruksjonen, ta opp krefter og minimere deformasjoner horisontalt. Det horisontale fagverket blir utformet veldig likt som alternativ 1. Forskjellen er at det i det horisontale fagverket vil være vertikale staver i tillegg. Fagverket vil også være speilvendt i forhold til hverandre. Begge alternativene gir noen kompliserte knutepunkt hvor flere staver møtes. På grunn av dette ble ikke dimensjonering av knutepunktene avgjørende for valgt fagverk. For dimensjoneringen i tre ble det dog bestemt å forskyve fagverket i gulv og tak for å oppnå gjennomførbare knutepunkt, uten at det har noen påvirkning for valget.

5.5 Overslagsberegninger statikk fagverk

Lastene som virker på både stål- og trekonstruksjonen er identiske, utenom egenvekt. Det er derfor valgt å gjøre felles overslagsberegninger for å finne de opptredende kreftene. For å finne aksialkreftene i gurtene benyttes snittmetoden, se formel 8. Ved å snitte fagverket på midten, og ta momentet om et punkt C på den ene gurt, finner man aksialkreftene i motsatt gurt. Illustrert i Illustrert i figur 10 hvor C ligger på undergurt og aksialkraften er navngitt C_{x1} i overgurt. q_{oppe} og

q_{nede} er en sum av kreftene som virker på konstruksjonen i vertikal retning, avhengig om de virker på over- eller undergurt, vist for tre i figur 11 under. For full utregning, se vedlegg A4. Den grønne streken i figur 10, er den same som i figur 11. For å finne kreftene om den andre aksen blir det gjort akkurat det samme. Bare at den eneste lasten som fungerer er vind i y-retningen. Summen av $Cx1$ og $Cx2$ vil da tilsvare aksialkreftene i overgurt. Tilsvarende blir gjort for å finne strekkreftene i undergurt. $Cx1$ og $Cx2$ kan både være strekk og trykk siden vindlasten kan virke fra begge sider vil det verste tilfellet alltid gi økning ved summering.

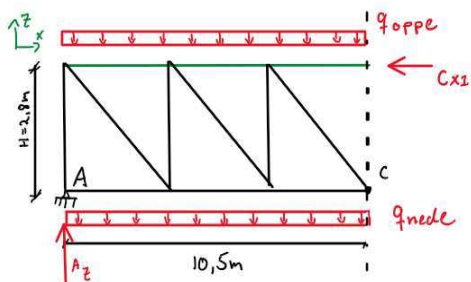
$$Cx1_{tre} := \frac{Az_{tre} \cdot \frac{L}{2} - q_{sum_tre} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4}}{H} = 370.139 \text{ kN}$$

$$Ay := \frac{q_{vind_y} \cdot L}{2} = 48.51 \text{ kN}$$

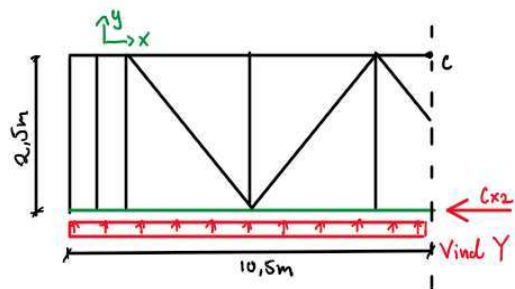
$$Cx2 := \frac{Ay \cdot \frac{L}{2} - q_{vind_y} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4}}{B} = 101.871 \text{ kN}$$

$$Nf_{tre} := Cx1_{tre} + Cx2 = 472.01 \text{ kN}$$

Formel 8 Snittmetoden for tre



Figur 10 Illustrasjon snittmetoden fra siden



Figur 11 Illustrasjon snittmetoden ovenfra

I tabell 2 er overslagskreftene fra vedlegg A4 oppstilt ved siden av hverandre. Her ser vi at for stålkonstruksjonen er kreftene litt større, grunnen til dette er egenlasten. Forenklet har vi for egenlasten regnet det om til linjelaster, som for resten av lastene. For å finne denne lasten tok vi totalvekten og delte det på lengden til alle fire gurtene. Denne forenklingen kan gjøres på grunn av symmetri, og siden det antas at fasadene blir festet i gurtene. Innfestningen vil viderefører alle kreftene som virker på fasaden gjennom gurtene.

Krefter	Stål	Tre
$N_{ed} Overgurt$	504 kN	472 kN
$M_{edz} Overgurt$	7,1 kN*m	7,1 kN*m
$M_{edy} Overgurt$	11,6 kN*m	10,3 kN*m
$N_{ed} Undergurt$	504 kN	472 kN
$M_{edz} Undergurt$	7,1 kN*m	7,1 kN*m
$M_{edy} Undergurt$	19,7 kN*m	18,5 kN*m

Tabell 2 Krefter i gurter for tre og stål

Overslagsberegningen er utført ved å anta fritt dreibare og momentfrie knutepunkt. Denne forenklingen gir en beregningsmessig enkel konstruksjon å løse [16, s.20]. Forenklingen gjør og at man kan benytte bjelkeformler for fritt opplagt bjelke for å finne opptredende momenter om begge akser.

I den virkelige verden vil et fagverk ha mer stive, enn leddet knutepunkt. Dette gir en statisk ubestemt konstruksjon som må løses numerisk. En slik løsning er mer komplisert, men mer realistisk. Et beregningsprogram som Robot løser systemene sine numerisk og vil i dette tilfellet være en mer realistisk løsning. Selv om knutepunktene aldri blir helt matematisk stive. Det vil være naturlig å tro at overslagsberegningene vil ligge høyere i utnyttelse enn Robot. Det er derfor til sikker side å benytte slike forenklinger i overslagsberegninger i en tidligfase, før mer realistiske utregninger og vurderinger må gjøres i en detaljfase.

5.6 Lastkombinasjoner i Robot

Programmet fungerer slik at den sjekker for alle kombinasjoner og velger den kombinasjonen som gir høyest utnyttelse for hver enkelt stav. I figur 12 ser man de lastkombinasjoner som er tatt med i betraktning i tre-modellen i Robot, for å illustrere hvordan vi har navngitt kombinasjonene. Som tidligere nevnt er det slik i trekonstruksjoner at lastene sin påvirkning er avhengig av hvor lenge de virker. For de ulike kombinasjoner er det ikke alle lastene som opptrer. Det kan føre til at verdiene i utregningene av kapasitetene endre seg. Det er derfor det er tatt med så mange forskjellige lastkombinasjoner for tre. I modellen for stålbroen er det benyttet færre lastkombinasjoner da stål ikke er avhengig av hvor lenge lastene virker på samme måte som tre. Det er dog brukt noe lunde lik navngiving og nummerering.

Tilfelle 1-9 i figur 12 er de opptredende lastene som virker på konstruksjonen. Vekten av fasade blir betraktet som egenlasten og er inklusiv andre installasjoner. For vindlastene er det brukt forkortelser i navnet, der Y står for Y-retning (altså på tvers av lengderetning). Z står for Z-retning (opp og ned) og T er trykk og sug kreftene fra tog. Der trykk funker oppover og sug nedover. Krefter i x-retning, langs broen, neglisjeres.

- 1 : Egenlast
- 2 : Fasade
- 3 : Nyttelast
- 4 : Snø
- 5 : Vind Y Sør
- 6 : Vind Y Nord
- 7 : Vind Z
- 8 : Vind T Ned
- 9 : Vind T Opp
- 101 : 6.10a YN
- 102 : 6.10a u/Vind
- 103 : 6.10a u/Tog YN
- 104 : 6.10a Tog Opp YN
- 105 : 6.10a YS
- 106 : 6.10a u/Tog YS
- 107 : 6.10a Tog Opp YS
- 108 : 6.10a Egenlast og Nyttelast
- 201 : 6.10b YN
- 202 : 6.10b u/Vind
- 203 : 6.10b u/Tog YN
- 204 : 6.10b Tog Opp YN
- 205 : 6.10b YS
- 206 : 6.10b u/Tog YS
- 207 : 6.10b Tog Opp YS
- 208 : 6.10b Egenlast og Nyttelast
- 301 : Bruksgrense - Karakteristisk
- 302 : Bruksgrense - ofte forekommende
- 303 : Bruksgrense - tilnærmet permanent

Figur 12 Lastkombinasjoner i Robot for tre

I kombinasjonene 101-108 er det benyttet bruddgrenselaster etter ligning 6.10a i NS-EN-1990, og tilsvarende med ligning 6.10b for kombinasjonene 201-208. Verdiene oppgitt i tabell «NA.A2.2– Verdier for Ψ -faktorer for gangbruer» er benyttet for begge ligningene. For alle kombinasjonene, med mindre noe annet er spesifisert i navnet funker vindkraften fra toget nedover. Forkortelsene YN og YS forklarer hvilken retning vindkraftene i y-retningen funker, der YS står for sørover og YN for nordover.

5.7 Stål

Stålkonstruksjoner dimensjoneres etter NS-EN 1993-1-1 og med spesielle punkter etter NS-EN 1993-2 som omhandler broer i Stål. For å benytte plastisk analyse må tverrsnittet tilfredsstille tverrsnittsklasse 1 eller 2. Punkt 5.4.1 i standarden sier at elastisk analyse konservativt alltid kan benyttes[38].

Fagverket blir dimensjonert med kvadratisk varmevalsedde hulprofiler. Dette er et profil som ikke er følsomme for vipping, er like sterkt om begge aksene og som gir gode, gjennomførbare knutepunktsløsninger. Profilet gir et solid uttrykk som er verdsatt i utformingen. Hulprofilene leveres i stålkvalitet S355 som er det mest benyttede i Norge i dag. Dette gir en mindre kostbare konstruksjon i forhold til spesial bestilling av annen stålkvalitet.

5.7.1 Gurter

Fagverkets over- og undergurter er dimensjonert til HUP 180x180x6,3. Profilet gir en solid konstruksjon som gir liten deformasjon og lav utnyttelse av tverrsnittet. Valget av profilen begrunnes med at det ikke er ønskelig med stor deformasjon da dette kan påvirke underpasserende tog. Lav utnyttelse i gurtene er ønskelig med tanke på at det er knutepunktene som ofte blir dimensjonerende. Mest mulig like tverrsnittstørrelser gjør sveising og overføring av krefter i knutepunktene enklere. I tillegg har profilet den egenskapen at det håndterer vipping og torsjon på en god måte. Formel 9 viser at valgte dimensjon for gurtene tilfredsstiller tverrsnittsklasse 1. Punkt 6.3.3 (5) merknad 3 i NS-EN 1993-1-1 gir muligheten til å forenklet påvise tverrsnittsverdier etter elastisitetsteorien[38]. Selv om tverrsnittet ligger i tverrsnittsklasse 1 og dermed kan behandles etter plastisitetsteorien, velges det å konservativt å regne elastisk, både for hånd og i Robot. Elastisk beregning i Robot må overstyres så lenge tverrsnittet tilfredsstiller kravene til plastisk analyse.

$$c/t \leq 72 \cdot \epsilon$$

$$\frac{c1}{t} = 26.571 \quad 72 \cdot \epsilon = 58.58$$

Formel 9 Tverrsnittsklasse gurter stål

I Robot ser man at strekkreftene i undergurtene er større en trykkreftene i overgurtene. Forenklingene gjort i overslagsberegningene gjør at disse blir like. Det vil si at tverrsnittets kapasitet i overslagsberegningene etter formel 6.2 i NS-EN 1993-1-1 kan påvises for hvilken som helst stav[38]. Overslagsberegningene kan ses i sin helhet i vedlegg B1. Formel 10 under viser en kapasitet på 71%. Utdrag fra Robot i tabell 3 under og i Vedlegg B2, vises en utnyttelse på 58% og 52%. Vi ser at Robot kommer frem til ulike utnyttelser for undergurtene til tross for at vindkreftene fra sidene er like store. Det stilles spørsmål til dette da trekonstruksjonen får like verdier. Mulig grunn kan være grunn av de horisontale fagverkene er speilvendt i forhold til hverandre. Eventuelt ser man her en tydelig forskjell på en numerisk utregning med elementmetode i Robot og forenklinger gjort ved overslagsberegninger. Begge kapasitetene er godt innenfor så for oppgaven anses det som akseptable.

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} + \frac{M_{ed,y}}{M_{rd}} + \frac{M_{ed,z}}{M_{rd}} = 0.709 < 1.0 \text{ ok (6.2)}$$

Formel 10 Kombinasjon av bøyning om to akser og normalkrefter stål

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
1 Undergurt	RHSS 180x180x6	S355	44.52	44.52	0.58	202 6.10b Sør
2 Undergurt	RHSS 180x180x6	S355	44.52	44.52	0.52	201 6.10b Nord

Tabell 3 Undergurter i Robot

Overgurtene vil være utsatt for trykkrefter, noe som vil si at denne må kontrolleres for knekking. Etter punkt 6.3.3 (3) i NS-EN 1993-1-1 kan påvisning av stabilitet gjøres ved å påvise enkeltstavers kapasitet[38]. Forenklingene i overslagsberegningene gjør at lastbildet er likt for begge overgurtene. Samtidig ser man at Robot finner også her ulikheter i lastbildene. Dette viser seg med ulik utnyttelse i tabell 4.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
4 Overgurt	RHSS 180x180x6.3	S355	44.52	44.52	0.51	202 6.10b Sør
3 Overgurt	RHSS 180x180x6.3	S355	44.52	44.52	0.49	201 6.10b Nord

Tabell 4 Utnyttelse overgurt Robot

Tillegg BB.1.3 (1) i NS-EN 1993-1-1 sier at knekk lengden til gurtstaver i et fagverk kan settes lik $0,9 \cdot L$, hvor L er systemlengden både inn og ut av planet[38]. Konstruksjonens gurter får da en knekk lengde

på 3,15m. Tabell 4 viser et utdrag fra vedlegg B2, hvor vi ser at konstruksjonsdelen har en kapasitet på 51% og 49% her er det kapasitet mot knekking som er dimensjonerende. Samtidig gir overslaget i formel 11 en kapasitet på 68%, hentet fra vedlegg B1.

$$\frac{Ned}{Nbrd} + k_{yy} \cdot \frac{Medy_o}{1.0 \cdot Mrd} + k_{yz} \cdot \frac{Medz}{Mrd} = 0.678 \quad (6.61)$$

$$\frac{Ned}{Nbrd} + k_{zy} \cdot \frac{Medy_o}{1.0 \cdot Mrd} + k_{zz} \cdot \frac{Medz}{Mrd} = 0.645 \quad (6.62)$$

Formel 11 Overslag Knekkingskontroll stål

Sammenligner vi overslagsberegningene og Robot ser man i figur 13 at Robot velger en c_{my} - og c_{mz} -faktor på 0,9 hvor overslaget velges 0,95. Denne faktoren har påvirkning på interaksjonsfaktorene i formel 6.61 og 6.62. Interaksjonsfaktorene blir funnet i tillegg B metode 2. Ekvivalent momentfaktor, C_m , blir valgt etter Tabell B.3, vist med utdrag i figur 14 under[38]. Forenklingene i overslagsberegninger gir leddet knutepunkt og jevnt fordelte last på bjelken. Dette gir ingen moment i knutepunktene og alfa-faktor lik 0. Ser man på beregningene fra Robot velger den likt momentforløp, men ulik C_{my} -faktor. Her regnes knutepunktene som stive punkter som vil overføre moment som vil gi ulik C_{my} . Likevel stilles det spørsmål til 0,9 hvor det ikke lykkes overslagsberegningene å nærme seg denne på noen måte eller å finne hvor i Robot dette styres. Merknad til metoden forteller at 0,9 kan benyttes ved forskyvelige endepunkter. Globalt sett er konstruksjonene forskyvelig. Ses det kun på en stav mellom to knutepunkter er ikke disse forskyvelig. I denne sammenligningen er det likevel konservativt å benytte 0,9 som ekvivalent momentfaktor og er ikke avgjørende for dimensjoneringen.

Method of interaction parameter calculations - Annex B				
C_{my}	0.90		Parameter related to bending moment distribution	(Table B.3)
C_{mz}	0.90		Parameter related to bending moment distribution	(Table B.3)
C_{mLT}	0.90		Parameter related to bending moment distribution	(Table B.3)

Figur 13 Knekkingsparametere fra Robot

Tabell B.3 – Ekvivalente momentfaktorer, C_{m1} , for tabell B.1 og B.2

Momentforløp	Område	C_{m1} og C_{m2} og C_{mLT}		
		Jevnt fordelt last	Punktlast	
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$		
	$0 \leq \alpha_y \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_y \geq 0,4$	
	$-1 \leq \alpha_y < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_y \geq 0,4$	
	$0 \leq \alpha_y \leq 1$	$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_y \geq 0,4$	
		$0 \leq \psi \leq 1$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_y \geq 0,4$	
	$-1 \leq \alpha_y < 0$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_y$	$0,90 + 0,10\alpha_y$
		$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_y$	$0,90 + 0,10\alpha_y$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_y(1+2\psi)$	
			$0,90 + 0,10\alpha_y(1+2\psi)$	

For staver [E] med forskyvelige endepunkter [G] bør ekvivalent momentfaktor antas til $C_{m1} = 0,9$ henholdsvis [E] $C_{m2} = 0,9$ [G].

C_{m1} , C_{m2} og C_{mLT} bør beregnes etter momentdiagrammet mellom de relevante fastholdte punktene på følgende måte:

momentfaktor bøyeakse punkter avstivet i retning

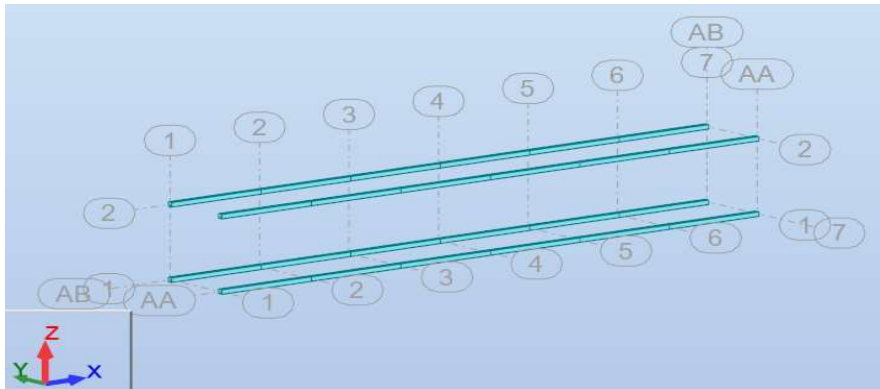
C_{m1} y-y z-z

C_{m2} z-z y-y

C_{mLT} y-y y-y

Figur 14 Ekvivalent momentfaktor etter NS-EN 1993-1-1[38]

Som et forsøk på å gjøre beregningene i robot mer lik overslagsberegningene ble det, som figur 15 viser, tegnet gurtene i flere enkeltstaver mellom knutepunktene. Dette gjør at systemlengden og kreftene som fungerer på systemlengden blir sammenfattende. Ulempen med dette er en mer uoversiktlig modell og en lengre tegnings-prosess, spesielt ved større prosjekter. Siden robot regner knutepunktene som stive, blir det i dette tilfellet ingen store globale forskjeller av lastfordelingen. Standarden sier at kneklengden til gurtene kan settes lik systemlengden. Derfor tolkes det ditt hen at oppdeling på denne måten ikke blir helt korrekt. Oppdelingen førte heller ikke til likhet med overslagsberegningene.



Figur 15 Oppdelt gurter i stål

5.7.2 Stegstaver

Stegstaven ble valgt utført i HUP 150x150x6,3 i veggene og HUP 100x100x6,3 i tak og gulv. Profilene sikrer gjennomførbare knutepunkt og gir et robust uttrykk. Gulv- og tak-stavene gir plass til innfestning av gulv og tak til gurtene som er antatt oppbygning. For veggene gjelder det samme da fasadene festes til utside gurt. For dimensjoneringen er det valgt å kun benytte Robot sine beregninger. Siden Robot gir en mer realistisk løsning på systemet, vil dette være nok til å bestemme og dokumentere utnyttelsesgraden til tverrsnittene.

Av stegstavene er det de vertikale stavene i trykk ved opplegg som er mest utsatt. Fra vedlegg B3 og Tabell 5 under, ser vi en utnyttelse på 68 % som ses på som en fornuftig utnyttelse rundt opplegg. Profilet tilfredstiller som vi ser i formel 12 også tverrsnittklasse 1, så også her kan man regne plastisk. Likevel er det valgt å regne elastisk til sikker side og etter anbefaling for knekkings beregninger. Ifølge tillegg BB.1.3 (3) i NS-EN 1993-1-1 kan knekk lengden til stegstavene settes lik $0,75L[38]$. Dette gir en knekk lengde på 2.1meter, Robot benytter den fulle lengden på 2,8m. Med andre ord er utnyttelsen vist i 5 på 68% veldig til sikker side. Ser vi på aksialkreftene tar diagonalstavene i fagverket kun strekkrefter og de vertikale stavene tar kun trykk. Begge har god kapasitet mot de opptredende kreftene, som vi kan se i Tabell 5.

$$c/t \leq 72 \cdot \epsilon$$

$$\frac{c2}{t} = 21.81 \quad \frac{c3}{t} = 13.873 \quad 72 \cdot \epsilon = 58.58$$

Formel 12 Tverrsnittklasse stegstaver stål

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio▲	Case
44 Stav V Ende	OK RHSS 150x150x6.3	S355	47.91	47.91	0.68	202 6.10b Sør
56 Stav V Ende	OK RHSS 150x150x6.3	S355	47.91	47.91	0.68	202 6.10b Sør
5 Stav V Ende	OK RHSS 150x150x6.3	S355	47.91	47.91	0.68	201 6.10b Nord
17 Stav V Ende	OK RHSS 150x150x6.3	S355	47.91	47.91	0.68	201 6.10b Nord
16 Stav V Diagon	OK RHSS 150x150x6.3	S355	76.69	76.69	0.38	201 6.10b Nord
6 Stav V Diagona	OK RHSS 150x150x6.3	S355	76.69	76.69	0.38	201 6.10b Nord
46 Stav V	OK RHSS 150x150x6.3	S355	47.91	47.91	0.36	202 6.10b Sør

Tabell 5 Mest utsatte vertikale stegstaver

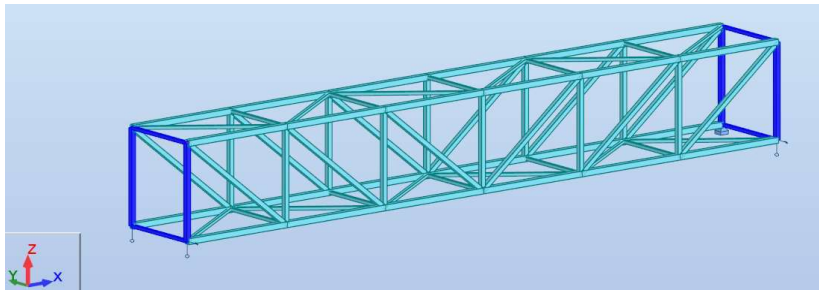
Stegstavene i gulv og tak sørger for stabilitet i hovedsak mot vindkreftene fra siden. Her benyttes en mindre dimensjon for å gi plass til oppbygging av gulv og tak uten at dette påvirker fagverket i større grad. Av de mest påvirkede stavene er det de horisontale stavene ved opplegg som tar opp mest krefter. Plasseringen av de mest utsatte stegstavene både horisontalt og vertikalt er vist i figur 16. Plasseringen er naturlig da det er ved opplegg alle kreftene blir tatt opp.

Tabell 6 viser en utnyttelse på 68% for de horisontale stegstavene hvor det er utnyttelsesgraden etter formel 6.1 eller 6.2 i NS-EN 1993-1-1 som blir dimensjonerende[38]. Utnyttelsen ses på som fornuftig da det også her er regnet elastisk selv om plastisk analyse kan benyttes, etter formel 12 er også dette tverrsnittet i tverrsnittklasse 1. Mindre justeringer av vindlasten vil heller ikke ha betydning for valget av dimensjon. I motsetning til de andre stavene blir ikke kapasiteten mot knekking dimensjonerende. Dette skyldes at det mindre tverrsnittet har mindre kapasitet og at de her er utsatt for mindre aksialkrefter. Dette fører til at reduksjonsfaktorene som følge av knekking,

ikke slår like mye inn som for de vertikale staverne. Interaksjonsfaktorene, k_{yy} og k_{yz} , slår i større grad inn for de horisontale staverne som reduserer utnyttelsen om sterk og svak akse. Dette gjør at knekking ikke blir dimensjonerende, men at lineær summering av utnyttelsesgradene blir.

Member	Section	Materi	Lay	Laz	Ratio▲	Case
43 Stav H Ende	RHSS 100x100x6.	S355	65.69	65.69	0.69	202 6.10b Sør
31 Stav H Ende	RHSS 100x100x6.	S355	65.69	65.69	0.69	202 6.10b Sør
18 Stav H Ende	RHSS 100x100x6.	S355	65.69	65.69	0.67	202 6.10b Sør
30 Stav H Ende	RHSS 100x100x6.	S355	65.69	65.69	0.67	202 6.10b Sør
19 Stav H Diagon	RHSS 100x100x6.	S355	113.02	113.02	0.59	202 6.10b Sør
29 Stav H Diagon	RHSS 100x100x6.	S355	113.02	113.02	0.59	202 6.10b Sør
20 Stav H	RHSS 100x100x6.	S355	65.69	65.69	0.43	201 6.10b Nord

Tabell 6 Mest utsatte horisontale stegstaver



Figur 16 Mest utsatte stegstaver horisontalt og vertikalt

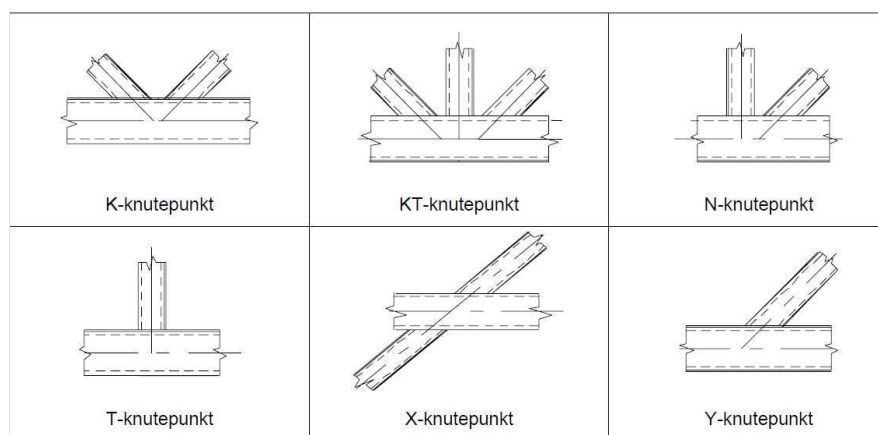
5.7.3 Knutepunkt

Innfestningsdetaljene avhenger av stavprofilene og er ofte knyttet til den største kostnaden i fagverket. Derfor er det ofte lønnsomt å velge stavprofiler som gir enkle innfestningsdetaljer, selv om staverne får lav utnyttelse. Forbindelser utført på verksted blir ofte sveiset, mens på byggeplass benyttes det skrue- og bolteforbindelser[39, s.11]. Det er NS-EN 1993-1-8 som er dimensjonerende standard for knutepunkt i stål[40]. Norsk stålforbund har laget en detaljhåndbokserie basert på denne standarden som gir enkel oversikt, eksempler på utførelse og dimensjonering av forbindelsene. For denne oppgaven vil vi se generelt på knutepunktene og gjøre noen enkle overslag for staver i et plan. Dette avsnittet henviser til vedlegg B4, heretter kalt håndberegningene.

Det er flere ting som er med på å bestemme kapasiteten til et knutepunkt. Knutepunkttype, belastningsforhold samt stavenes geometri og dimensjoner. Ifølge Norsk stålforbunds detaljhåndbok om stavinnfestning er det følgende bruddformer som vil bestemme kapasiteten til et knutepunkt:

- a) Brudd i gurtens flens på grunn av plastifisering.
- b) Gjennomlukkingsbrudd i gurtens flens (utrivning av diagonal).
- c) Brudd i diagonalstaven på grunn av redusert effektiv bredde.
- d) Brudd i gurtens steg på grunn av stukning, inntrykking eller knekking på grunn av trykkdiagonal.
- e) Brudd i diagonalstaven på grunn av lokal plateknekkning.
- f) Skjærbrudd i gurtens steg.

Knutepunkttypene som blir benyttet i stål-fagverket er sveiste N-, K-, T- og KT-knutepunkt mellom hulprofiler, disse er illustrert i figur 17 under. For å utføre kontinuerlige sveiser i knutepunktet forskyves stavene slik at et gap på 30mm oppnås. Gapet skal etter NS-EN1993-1-8 7.1.2 (5) ikke være mindre enn $t_1+t_2 = 12.4\text{mm}$ for valgte profiler. Utførelsen velges i stedet for knutepunkt med overlapp som ses på som mer komplisert utførelse og hvor ikke alle sider blir sveist. Gapet gir et eksentrisitetsmoment som må kontrolleres ved dimensjoneringen.

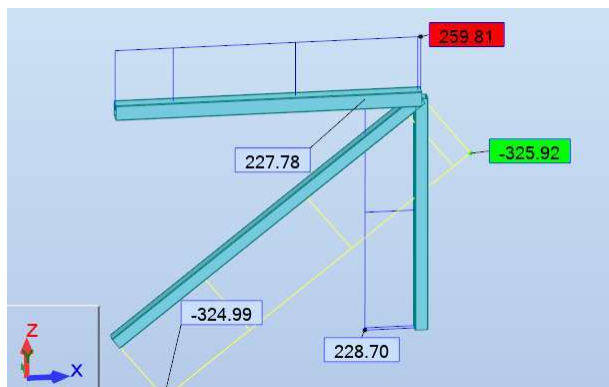


Figur 17 Knutepunkttyper

Håndberegningene kontrollerer N-knutepunktet i figur 18. Opptredende krefter er illustrert i samme figur. Knutepunktet ligger øverst i hjørnet av konstruksjonen og regnes forenklet i et plan.

Fremgangsmåten følger detaljhåndboken 3.1.2.5 [39]. Slike knutepunkt bør kontrolleres for bruddform a, b, c og f. I tabell 7 under kontrolleres gyldighetsområdet for knutepunktet. Her ser man at knutepunktet er innenfor gyldighetsområdet noe som gjør at det ikke er behov for å ta hensyn til bruddform d og e, samt sekundærvirkninger på grunn av rotasjonsstivhet.

Eksentrisitetsmomentet som oppstår mellom diagonalens skjæringspunkt og gurtens midtlinje er av en slik størrelse at det kan utgjøre en forskjell for kapasiteten.



Figur 18 N-knutepunkt med opptredende normalspenninger

	Krav	Godkjent
Gurt tvsnk1?		Ja
Diagonal, tvsnk1?		Ja
Vinkel = 51 > 30 grader		Ja
Nominell godstykkelse mellom 2,5 og 25mm		Ja
$B_1/b_t = 150/180 = 0.83 > 0.35$		Ja
$0.83 > 0.1 + 0.01b_0/t_0 = 0.38$		Ja
$B_1/t_1 = 150/6,3 = 23.8 < 35$		Ja
$0.5 < h_1/b_1 = 1 < 2.0$		Ja
$B_0/t_0 = 28.57 < 35$		Ja
$0.5 < h_0/b_0 = 1 < 2.0$		Ja
$0.5 < g/b_0 (1-b) = 1 < 1.5$		Ja
$e = 91.5 > 0.25 \times h_0$		Oppmerksom på
(vedlegg B4)		eksentrisitetsmoment

Tabell 7 Gyldighetsområdet for N-knutepunkt

Formel 13 under viser en dimensjonerende momentkapasitet på 46%, siden dette er et enkelt overslag i et plan tas det ikke hensyn til eksentrisitetsmoment fra z-aksen og eventuelle andre kontroller for knutepunkt i flere plan. Håndberegningene viser at N-knutepunktet har god kapasitet for alle de relevante bruddformene. For kapasitetsberegningene for brudd i gurtflens er formlene i NS-EN 1993-1-8 og detaljhåndboken ulike. 14 under viser at formelen for NS1.Rd fra standarden gir

tilnærmet lik kapasitet som N1.Rd fra detaljhåndboken. Derfor antas det at detaljhåndboken benytter en formel som er etter intern bruk, henger igjen fra en tidligere standard eller er en annen måte å skrive formelen på.

$$\frac{N_0}{N_{0.Rd}} + \frac{M_{edy}}{M_{ip.Rd}} + \frac{M_{dz}}{M_{ip.Rd}} = 0.46$$

Formel 13 Dimensjonerende momentkapasitet i fagversplanet for knutepunktet

$$NS1.Rd := \frac{(8.9 \text{ kn} \cdot fy \cdot t^2 \cdot \sqrt{\gamma}) \cdot \left(\frac{bi + bi + hi + hi}{4 b_0}\right)}{\gamma M_5} \quad NS1.Rd = 538.4 \text{ kN}$$

$$N1.Rd := \frac{1.57 \cdot kn \cdot fy \cdot t^2 \cdot \sqrt{\frac{t}{b_0}} \cdot (bi + bi + hi + hi)}{\sin(90) \cdot \gamma M_5} \quad N1.Rd = 537.26 \text{ kN}$$

$$N2.Rd := \frac{1.57 \cdot kn \cdot fy \cdot t^2 \cdot \sqrt{\frac{t}{b_0}} \cdot (bi + bi + hi + hi)}{\sin(39) \cdot \gamma M_5} \quad N2.Rd = 498.35 \text{ kN}$$

N1.Rd > N1 og N2.Rd > N2. Ok! (24)

Formel 14 Kontroll brudd i gurtflens (a) begge formlene

Kapasitet med hensyn til utrivningsbrudd (gjennomlokking), kapasitet med hensyn til brudd i diagonal, og kapasitet med hensyn på skjærbrudd har alle høyere kapasitet som kan ses i vedlegg B4. Kombinasjon av aksialkrefter og skjærkrefter kan også ses i vedlegget at har veldig god kapasitet. Knutepunktet vil dermed tåle de opptredende lastene.

Håndberegningene vist i formel 15 gir en kontinuerlig kilsveis med a-mål på 8mm. Etter punkt 3.1.2.4 i detaljhåndboken er det anbefalt å benytte innskutt kilsveis med delvis gjennomsvising ved 8mm[39]. Det burde derfor her tas en vurdering om det er nødvendig. 8mm kilsveis er innenfor anbefalingen, men ved en mer detaljert beregning bør det gjøres en vurdering på valg av gjennomførelsen.

$$a := \sqrt[2]{2} \cdot t \cdot \frac{\beta w \cdot \gamma M_2 \cdot fy}{\gamma M_0 \cdot fu} \quad a = 7.21 \text{ mm}$$

Formel 15 Beregning av a-mål

Overslaget i håndberegningene viser et forenklet knutepunkt, det er et av de mer utsatte i konstruksjonen med store normalkrefter. Likevel er det trolig ikke det aller mest utsatte. De nedre KT-knutepunktene midt på gurten antas å være det mest utsatte knutepunktene. Her kommer det på det meste inn seks staver, fordelt over på to akser. Midt på gurten opptrer den største aksialkraften som vil gi en stor utnyttelse av gurten. Dog har ikke stegstavene like store krefter i dette punktet, så sannsynligheten for at det går er til stede. Eksentrisitetsmomentet kan, etter tabell 2.1 i detaljhåndboken, ses vekk ifra siden knutepunkt er generelt bedre på strekk enn på trykk[39, s.13]. NS-EN 1993-1-8 punkt 7.5.3 (2) gir en μ -faktor for å hensynta romlige knutepunkt. Faktoren multipliseres med dimensjonerende kapasitet for det plane knutepunktet og settes lik 0,9. Dette gir en utnyttelse på 51% og er ingen drastisk økning i knutepunktet. Videre detaljert arbeid her vil være å kontrollere flere utsatte knutepunkt og gjøre eventuelle tilpasninger for å oppnå gode, gjennomførbare knutepunkt. I de tilfeller hvor en detaljberegning skulle vise at valgte dimensjoner ikke skulle holde vil økning av godstykkelsen være aktuelt. Dette gir en sterkere konstruksjon mot bruddformene og gjør at utvendige mål og løsninger i prosjektet ikke blir påvirket. Dette ses på som en bedre løsning enn eventuell endring av tverrsnitt eller stål type[40].

5.8 Tre

Dimensjoneringen av det prinsipielt like fagverket i tre viser seg å være problematisk. Dette fordi det i noen av knutepunktene kan være opp til seks staver. For trekonstruksjoner er dette vanskelig å få til i praksis. Det er tiltenkt å bruke dybler i knutepunktene, som i grove trekk er innslissede stålplater som ligger ved siden av hverandre. En slik løsning gjør at knutepunkt om to akser ikke er fysisk mulig i samme punkt. Knutepunkt er krevende og ofte den dyreste delen av en brokonstruksjon i tre[41, s.150]. Derfor vil det være lurt å forskyve fagverket slik at man får flere knutepunkt som ikke er like kompliserte. Dimensjonene til fagverket er funnet ved prøving og feiling i Robot. Ved å starte med et tilfeldig profil og justere opp i dimensjoner til spesielt deformasjonen var innenfor et akseptert krav.

Fasthetsklassen er satt til GL30c i alle stavene og gurtene. Dette fordi det er den fasthetsklassen som er standard blant leverandører og noe utover dette kan by på ekstra unødvendige kostnader.

Gjennom vedlegg C5 ble vi anbefalt av Moelven å bruke bredde mellom 90-215mm med sprang på 25mm for gurtene. Større dimensjoner utenom dette måtte det blokklimes, noe som også kan by på ekstra kostnader.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
53 Diagonal V	215x215	GL30c	72.22	72.22	0.09	202 6.10b u/Vind
77 Diagonal V	215x215	GL30c	72.22	72.22	0.09	202 6.10b u/Vind
121 Stav H	215x215	GL30c	40.28	40.28	0.07	6 Vind Y Nord
124 Stav H	215x215	GL30c	40.28	40.28	0.07	5 Vind Y Sør
24 Stav V	215x215	GL30c	45.11	45.11	0.07	104 6.10a Tog Opp Y
9 Stav V	215x215	GL30c	45.11	45.11	0.07	107 6.10a Tog Opp Y
117 Stav H	215x215	GL30c	40.28	40.28	0.05	6 Vind Y Nord
116 Stav H	215x215	GL30c	40.28	40.28	0.05	5 Vind Y Sør

Tabell 8 Staver der 6.10b YS eller 6.10b YN ikke er dimensjonerende

Tabell 8 viser alle staverne i konstruksjonen hvor det varierer hvilke lastkombinasjoner som blir dimensjonerende. Dette viser at Robot bruker den verste lastkombinasjonen for hver enkelt stav. For de resterende staverne veksler det mellom kombinasjonene 6.10b YS og 6.10b YN. For noen av staverne er det alenevirkende vindkrefter som gir høyest utnyttelse. Det vil aldri oppstå en situasjon der kun vindlasten virker alene. Utnyttelsen i staverne det gjelder vil derfor være mindre i virkeligheten.

5.8.1 Gurter

Undergurten er utsatt for omtrent like mye krefter som overgurten. Siden tre tåler mindre i strekk enn i trykk og bøyning, får vi noe høyere utnyttelse enn for trykkgurtene. Overslagsberegningene i formel 16 gir en utnyttelse på 77% dersom en nyter k_h -faktoren, som er litt høyere enn kalkulasjonen i Robot på 63% vist i tabell 9. Robot bruker denne faktoren automatisk, og har satt den til 1,1. I handbergingen er det gjort utregninger både med og uten k_h -faktoren for å vise at utnyttelsen går en del ned, spesielt for undergurten. Ved bruk av små tverrsnitt minker sannsynligheten for virkefeil som påvirker egenskapene for treet, derfor kan man øke kapasiteten i strekk og bøyning med faktoren k_h . Dette er en faktor som ofte blir brukt som sikkerhet dersom det skulle oppstå noen uforutsette regnefeil eller feil i utførelsen. På den måten har man noe å gå på, om det skulle vise seg at bjelken plutselig ble utsatt for større krefter. I en tidligfase er en slik kapasitet greit å ha i bakhånd.

$$(6.17) \quad \frac{-\sigma_{tod}}{f_{tod}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.848$$

$< 1,0$ OK!

$$(6.17) \quad \frac{-\sigma_{tod}}{f_{tod} \cdot k_h} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd} \cdot k_h} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd} \cdot k_h} = 0.765$$

Formel 16 Kombinert strekk og bøyning tre med og uten k_h

I tabell 9 er kreftene som opptrer i gurtene fra Robot satt opp mot de som er funnet i overslagsberegningene. Ut ifra tabellen ser vi at tallene er ganske ulike og at det veksler på å være størst. Grunnen til dette er at det er gjort ganske store forenklinger for å finne kreftene, som tidligere nevnt.

KREFTER	OVERSLAG	ROBOT
N_{ED} OVERGURT	472 kN	453 kN
M_{EDZ} OVERGURT	7,1 kNm	7,3 kNm
M_{EDY} OVERGURT	10,3 kNm	4.8 kNm
N_{ED} UNDERGURT	-472 kN	-485 kN
M_{EDZ} UNDERGURT	-7,1 kNm	-1.8 kNm
M_{EDY} UNDERGURT	-18,5 kNm	-12.0 kNs

Tabell 9 Krefter fra overslag og Robot

Gurtene er dimensjonert til en tverrsnittstørrelse på 215x250 som betyr at det må foretas en stabilitetskontroll på overgurtene som kommer i trykk. I tabell 10 ser vi at den mest belastede overgurt har en utnyttelse på 58%, som er veldig likt overslagsberegningene gjort i vedlegg B5. Fra overslagsberegningene, vist i formel 17, kommer utnyttelsen på 65%. Resultatet i Robot ses på som troverdig siden de stemmer bra overens med de overslagsberegningene som er gjort, som skal ligge på litt høyere utnyttelse. For å sammenligne blir utnyttelsene i overslagsberegningene for trykkgurten redusert med 2% med k_h -faktoren, mens for strekkgurten blir utnyttelsen redusert med 8%. Grunnen til at strekkgurten får en høyere reduksjon er fordi at k_h -faktoren kan benyttes på staver i strekk. Det kan man ikke for trykkstaver. For mer utfyllende utregninger av gurtene i Robot, se vedlegg B6.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
1 Undergurt	215x250	GL30c	48.50	56.39	0.63	205 6.10b YS
16 Undergurt	215x250	GL30c	48.50	56.39	0.63	201 6.10b YN
2 Overgurt	215x250	GL30c	48.50	56.39	0.58	201 6.10b YN
17 Overgurt	215x250	GL30c	48.50	56.39	0.58	205 6.10b YS

Tabell 10 Utnyttelse av gurter i tre fra Robot

For stålkonstruksjonen er det lagt inn reduksjonsfaktor for knekk lengden til stavene i konstruksjonen. I trekonstruksjonen settes knekk lengden lik systemlengden på 3,5m for gurtene, mens for fagverksstavene benyttes det en reduksjonsfaktor på 0,9. I noen tilfeller kan knekk lengden reduseres litt siden knutepunktene i fagverket kan gi en form for innspenning[41, s.148]. Undergurtene vil ikke komme i en situasjon der de kan knekke siden det ikke vil oppstå krefter store nok til å overstige egenvekten, for da å komme i trykk.

$$(6.24) \quad \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.672$$

$$+ \quad < 1.0 \text{ OK!}$$

$$(6.24) \quad \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd} \cdot k_h} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd} \cdot k_h} = 0.65$$

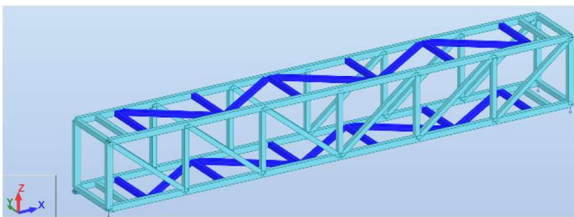
Formel 17 Kombinert trykk og bøyning tre med og uten k_h

Siden gurtene er rektangulære, må det også sjekkes for vipping. I overslagsberegningene i vedlegg B5 har overgurten en utnyttelse på 46% for vipping i motsetning til Robot sin utrekning som er funnet til 42%. Igjen er disse tallene like nok til at det bygger på troverdigheten til modellen. Grunnen for ulike tall er at i overslagsberegningene er det gjort forenklinger og Robot bruker elementmetoden.

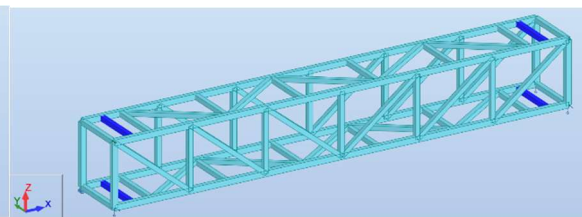
Poenget med overslagsberegningene gjort i MathCAD er å kontrollere at utregningene fra Robot er troverdige. Siden både overgurten og undergurten har relativt like resultat i overslagsberegningene og i Robot anses det som at Robot regner korrekt.

5.8.2 Fagverk

En løsning på problemet med kompliserte knutepunkt er å forskyve fagverket oppe og nede. Ved å forskyve 1.75 meter vil knutepunktene for de horisontale stavene komme midt mellom knutepunktene for vertikalstavene. Dette vises i figur 19 under. Forskyvningen gjør at konstruksjonen vil bli mindre stiv. Som igjen betyr større dimensjoner for å minimalisere nedbøyning.



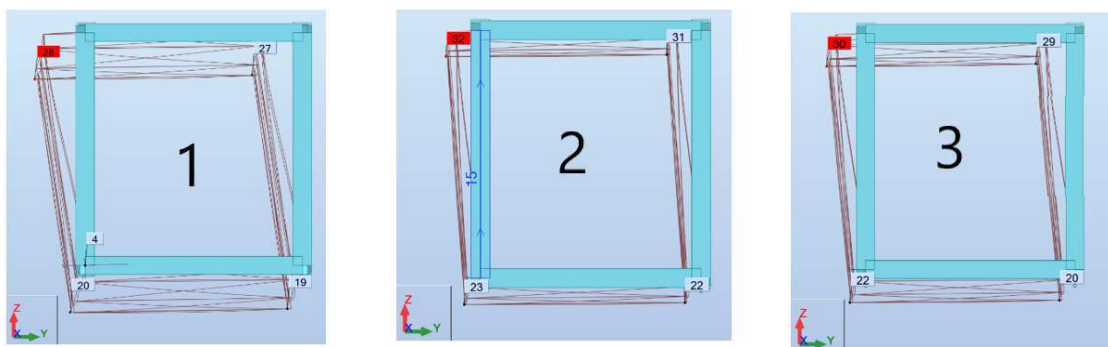
Figur 19 V-Fagvergek på overside og underside



Figur 20 Løsning for knutepunkt på endene

Fagverket markert i figur 19 er dimensjonert til 215x215. Det er nødvendig med så stor profil siden konstruksjonen blir utsatt for en betraktelig vindlast som prøver å rotere konstruksjonen. Vinden gjør at konstruksjonen får sin største karakteristiske deformasjon i horisontal retning på 32mm. I realiteten vil denne være mindre siden broen vil ha en form for avstivning i topp. Som vist på figur 1 i innledningen vil overgurtene ha en form for innfestning. Dette gjør konstruksjonen stivere og deformasjonen vil derfor være mindre.

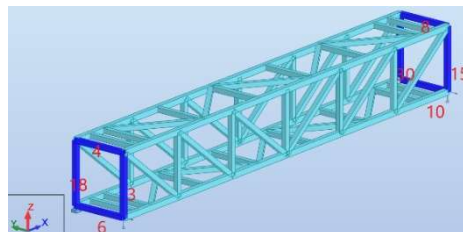
Figur 20 viser fire markert horisontalstaver som er endret fra skråstaver til rette staver. Dette er for å hindre at det kommer for mange staver i knutepunktene på endene av konstruksjonen. Dette gjør konstruksjonen mindre stiv. Under ser vi tre figurer som illustrer karakteristisk deformasjon for forskjellige tilfeller med stavene fra figur 20. figur 21-1 viser deformasjonen dersom stavene fra figur 20 er skråstaver. Sammenligner man den situasjonen med den faktiske situasjonen figur 21-3, der stavene er rette som i figur 21, får vi 2mm mer deformasjon til siden og nedover. Hadde vi bare tatt vekk stavene ville det komt ytterligere 2mm til siden og 1mm nedover, som vist i figur 21-2. Dette viser at broen blir litt mindre stiv av å endre skråstavene til rette staver.



Figur 21 Karakteristisk deformasjon for endring av horisontalstav tre

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
18 Stav V Ende	215x215	GL30c	45.11	45.11	0.90	201 6.10b YN
15 Stav V Ende	215x215	GL30c	45.11	45.11	0.90	205 6.10b YS
3 Stav V Ende	215x215	GL30c	45.11	45.11	0.88	205 6.10b YS
30 Stav V Ende	215x215	GL30c	45.11	45.11	0.88	201 6.10b YN
6 Stav H Ende	215x215	GL30c	40.28	40.28	0.71	201 6.10b YN
10 Stav H Ende	215x215	GL30c	40.28	40.28	0.71	205 6.10b YS
4 Stav H Ende	215x215	GL30c	40.28	40.28	0.66	201 6.10b YN
8 Stav H Ende	215x215	GL30c	40.28	40.28	0.66	205 6.10b YS

Tabell 11 Endestaver



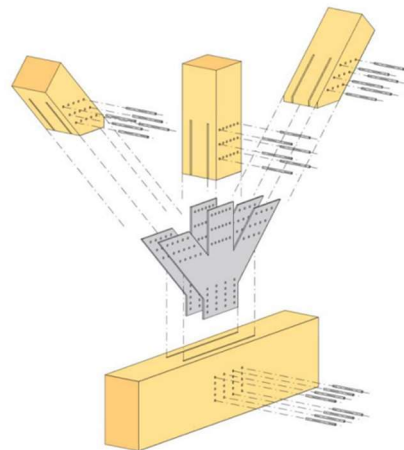
Figur 22 Endestaver

I figur 22 er stavene med høyes utnyttelse i konstruksjonen markert og navngitt med tall som samsvarer med tallene i tabell 11. I tabellen ser vi at noen av stavene har en veldig høy utnyttelse på opptil 90%, der det er vertikallstavene som har høyest. En utnyttelse på 90% er i det høyeste laget, men er noe som er enkelt å endre på i en senere detaljdimensjonering av konstruksjonen. Her kan alternativ som å endre materiale eller gå opp i tverrsnitt være aktuelle. For de mest belastede stavene som ikke er vist i tabell 11, er utnyttelsen alt i fra 90% til 17% vist i vedlegg B7.

5.8.3 Knutepunkt

Knutepunkt er en viktig del av dimensjoneringen. Fagverkets staver skal krysse hverandre i et og samme punkt. Da unngås eksentrisiteter som er viktig for å unngå sprøbrudd. Et sprøbrudd kommer av tverrstrekkspenninger som igjen oppstår av sekundær momenter fra eksentrisiteter [49, s.146]. Siden det er tiltenkt å bruke dybler som festemiddel i knutepunktene vil dyblehullene redusere kapasiteten til stavene, spesielt for strekkstavene. Som et grovt estimat kan man si at tverrsnittarealet blir redusert med 30% [49, s.147]. Ved å ha en utnyttelse under 70% i strekkstavene vil ikke reduksjonen av tverrsnittet være et problem, siden strekkkapasiteten er direkte avhengig av tverrsnittarealet. I vedlegg B7 kommer det fram at staven som er mest utsatt for strekk har en utnyttelse på 71%, som er over 70%. Her kan det være lurt å gjøre grundigere utregninger eller gjøre tiltak. Likevel er det noe som lett kan fikses i en senere detaljfase. Dette ses ikke på som noe stort problem.

Størrelsen på stavene i en konstruksjon som dette er avhengig av hvor mange stålplater som er nødvendig i knutepunktene. I figur 23 ser man et eksempel på hvordan et typisk fagverksknutepunkt med dybler er bygd opp. Siden det er anbefalinger til avstandene mellom stålplatene og dyblene vi dette være veiledende for stavstørrelsene. I denne oppgaven antar vi at det er tilstrekkelig plass og ser ikke mer på dette.



Figur 23 Typisk fagverksknutepunkt med innslissede plater og dybler. Hentet fra limtreboka

5.9 Nedbøyning

For nedbøyning er det ikke gitt noen spesielle krav. Standardene sier at dette skal bestemmes mellom partene. N400 bruprosjektering krav 3.5-2 gir et krav om at overhøyde skal beregnes etter bruksgrensetilstand-kombinasjonen tilnærmet permanente laster. Videre er det anbefalt nedbøyning begrenses til $< L/350$ [12]. For oppgavens konstruksjon gir dette en tillatt nedbøyning på 60mm. Det må i praksis vurderes om en slik nedbøyning er for stor. Nedbøyning på denne størrelsen kan gi en konstruksjon som er vanskelig å bruke og kan derfor ikke aksepteres. Kravet om fri høyde under broen må vurderes når tillatt nedbøyning bestemmes. Fører nedbøyningen til komplikasjoner med underpasserende tog kan nedbøyningen ikke godtas. Betrakning av den opptredende

nedbøyning og eventuelt behov for overhøyde må derfor settes basert på fornuft og ikke en brøk. For lengre spenn er det en visuell faktor å betrakte også. Selv om broen er i vater kan det se ut som den krummer seg nedover. Det vil derfor være lurt å bygge med overhøyde, slik at de som benytter broen ikke opplever det som ubehagelig. For en bro med 21 meter spenn er denne optiske illusjonen likevel i grenseland av relevans, da det ikke betraktes som en lang bro.

KOMBINASJON	NEDBØYNING TRE	NEDBØYNING STÅL	KRAV
KARAKTERISTISK	22 mm	19 mm	L/450 = 46mm
OFTE FOREKOMMENDE	16 mm	15 mm	L/500 = 42mm
TILNÆRMET PERMANENT	15 mm	14 mm	L/350 = 60mm

Tabell 12 Oversikt nedbøyning

Tabell 12 over gir en indikasjon på hvor stor vertikal nedbøyning konstruksjonene i tre og stål får i Robot, i forhold til krav. Da NS-EN 1990 sier at kravet i kombinasjon karakteristisk og ofte forekommende skal fastsettes i de enkelte prosjekt er dette noe vi har valgt. For kombinasjonen tilnærmet permanent blir det lagt fram et forslag på L/250 i standarden, men velger å være strengere enn dette. Dette viser også hvor unøyaktig det kan bli å benytte brøk-krav for lengre konstruksjoner. Derfor er det viktig at man er bevist på faktisk nedbøyning og konsekvenser av dette. Ser man på opptredende nedbøyning for konstruksjonene ses dette på som akseptabelt. Dette begrunnes med at kontaktledningen under bruene vil være uhindret og bruene av konstruksjonen vil ikke bli forhindret eller påvirket i negativ grad. Videre kan det vurderes å bygge med en overhøyde tilsvarende verdiene tilnærmet permanent. For trekonstruksjonen vil ikke overhøyde være noe problem da 200mm enkelt kan oppnås under produksjon[39, s.17].

$$(2.3) \quad d_{fin_g} := d_{inst_g} \cdot (1 + k_{def}) = 9 \text{ mm}$$

$$(2.4) \quad d_{fin_p} := d_{inst_p} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) = 19.72 \text{ mm}$$

$$d_{fin} := d_{fin_g} + d_{fin_p} = 28.72 \text{ mm}$$

Formel 18 Total nedbøyning for trebro

I Formel 18 ser vi utregningen av total nedbøyning for trekonstruksjonen. For en såpass avansert konstruksjon vil det være hensiktsmessig å hente nedbøyninger fra et beregningsprogram, da det kan bli utfordrende å regne det ut for hand. Total nedbøyning kommer på 29mm, som er godt innenfor kravene vi har satt. For med utfyllende utregning se vedlegg B8.

6. Sammenligningsgrunnlag

Når man skal velge byggematerialer er det mange faktorer som spiller inn. I dag er det et stort ønske å benytte bygningsmaterialer som gir lavt klimagassutslipp, men dette kan ikke alltid gå på bekostning av funksjonaliteten og egenskapene som trengs for konstruksjonen. For noen konstruksjoner er faktorer som bæreevne, tekniske løsninger og levetid vel så viktige som lite klimaavtrykk. De økonomiske rammene for et bygningsprosjekt er alltid en faktor når det skal velges materialer og byggemåte.

For denne oppgaven er det valgt å se på følgende sammenligningsfaktorene:

- Miljø
- Økonomi
- Tekniske løsninger (dimensjonering, bæreevne)

6.1 Miljø

For at Norge skal nå sine klimamål har bygg- og eiendomssektoren en stor betydning. Selve sektoren har direkte små utslipp, men har stor innkjøpsmakt og på den måten stor påvirkning på utslipp fra industri-, transport-, energi-, og avfallssektoren. Bygg- og anleggsbransjen står for 8% av nasjonalt utslipp. Sammen med utslipp i andre land vi importerer fra, har innkjøpskravene bransjen setter stor betydning for materialindustriens klimagassutslipp, både lokalt og globalt[42].

6.1.1 Stål

Av verdens totale CO₂-utslipp står stålindustrien for hele 7%. Hovedproblemet i industrien er en energikrevende produksjon med store utslipp. Nye metoder i produksjonen med bruk av mer skrap gir gjennomsnittlig 60% mindre energibehov og 70% mindre utslipp av CO₂ en tradisjonell malmutvinning. Reduksjon av energibruk og utslipp har lenge vært et satsningsområdet for flere store stålverk hvor man tror på en framtid uten utslipp av drivhusgasser[43].

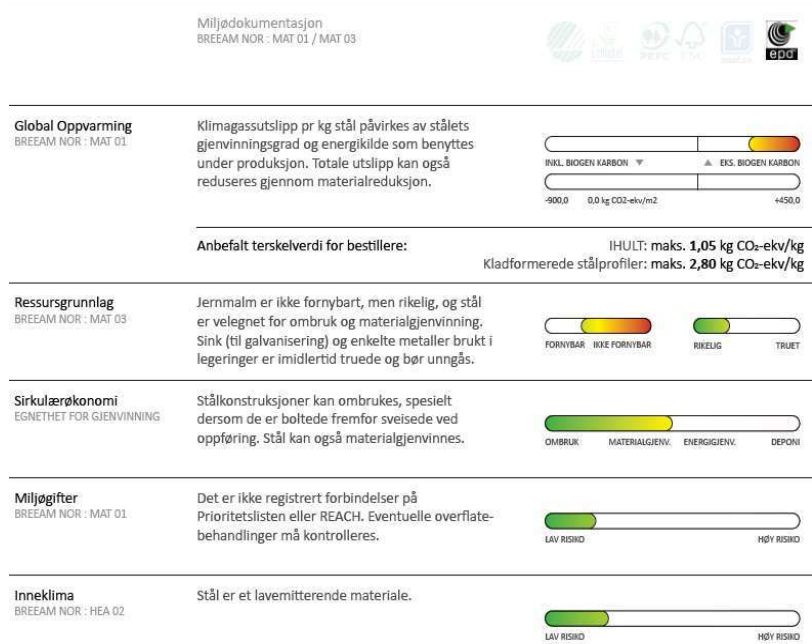
Terskelverdiene for varmformede stålprofiler i systemgrense A1-A3 er satt til 1,05 kg CO₂-ekv/kg[8]. EPD levert av norsk stål for Varmformede hulprofiler har en global oppvarming potensiale (GWP) på 2.82 kg CO₂-ekv/kg [23]. Valgt profil har et betydelig høyere CO₂ utslipp enn hva guiden mener man kan kreve. Ser man på GWP-verdiene til andre typer profiler hos norsk stål, er disse noe mindre enn HUP-profilet, men det er kun armeringsstål som er under terskelverdien. Leverandøren skriver dog at det er mulig å utføre prosjektspesifikke EPD-er gjennom å håndplukke materialer med lavest utslipp. De antyder at disse produktene er mindre attraktive i dag og at de ønsker en høyere etterspørsel av slike produkter før det blir standardisert [44].

Jernmalm er et ikke fornybart materiale, men det er noe vi har mye av i verden. Selve produksjonene fra jernmalm til stål krever mye energi. Denne kan være forbundet med store utslipp, avhengig av hvordan energien er blitt utvinnet. Materialet er velegnet for gjenbruk, spesielt ved skrudde forbindelser kan produktet gjenbrukes direkte. Produkter som ikke direkte lar seg gjenvinne kan effektivt smeltes om og på den måten gjenbrukes. Noe det i dag finnes veletablerte

returordninger for. I dag er det mulig å kreve 40% gjenvunnet innhold i sveisede plateprofiler og 70 % i valsede profiler. Armeringsjern inneholder alltid 100% skrap. At stål tåler mye gjenvunnet materiale uten å miste styrke gjør at materialguiden, vist i figur 24, gir produktet en god karakter innenfor sirkulærøkonomi[8].

Verden har enorme mengder jern (Fe), som verdens fjerde vanligste grunnstoff. Produksjonen av stål fra jernmalm kan likevel forventes å minke da skrapbasert produksjon stadig blir mer vanlig. Metoden avhenger av tilgang på skrapstål, så det er vanskelig å spå når et selvforsørgende kretsløp kan oppnås. Siden stål er fullstendig resirkulerbart og det er det mest resirkulerte materiale, finnes det et veletablerte marked for handel av skrapstål. Dette bidrar stort til at metoden kan bli dominerende og en del av et bærekraftig kretsløp for stål[43]. Systemgrense D1 i produktets EPD gir en miljøfordel i miljøregnskapet på -1,45 kg CO₂-ekv/kg. Gevinsten kommer stort fra at helle 92% av stålet som kastes kan gjenvinnes, hvor resterende 8% går til deponi[23].

Stålprofiler inneholder ingen miljøgifter eller andre stoffer på prioritetslisten eller REACH. Overflatebehandling eksempelvis mot brann eller korrosjon må kontrolleres opp mot listene. Materialet i seg selv får derfor en god karakter mot miljøgifter og inneklime. Sink og andre metaller som blir benyttet til legering eller galvanisering er truende. Spesielt når det kommer til utvinning og hvor mye som finnes i verden. Derfor er det overflatebehandlingen eller sammensetningen av legeringen som har størst miljøpåvirkning. Bruk av brannmaling som beskyttelse av stålkonstruksjonen må spesielt kontrolleres mot helse- og miljøfarlige stoffer [8].



Figur 24 Utdrag Grønn Materialguide Stål

Stålindustrien er fortsatt en stor årsak til CO₂-utslipp i verden. Likevel mener norsk stål at industrien lenge har jobbet for en grønnere industri. Det skal være en stor vilje til å ta grep, og åpenhet mot nytenkning og innovasjon som er nødvendige for et bærekraftig produkt. Som et av verdens viktigste byggematerialer har stål en rekke egenskaper som ikke enkelt lar seg erstatte av andre materialer. Spesielt med tanke på størrelse, utforming, styrke og vekt er stål veldig hensiktsmessig og kan spille positivt inn i en større livsløpsanalyse, eksempelvis i kjøretøy hvor nevnte faktorer er av betydning. Stål har en solid posisjon i næringen hvor de fleste entreprenører kan ta på seg oppdrag med stålkonstruksjoner[43].

6.1.2 Tre

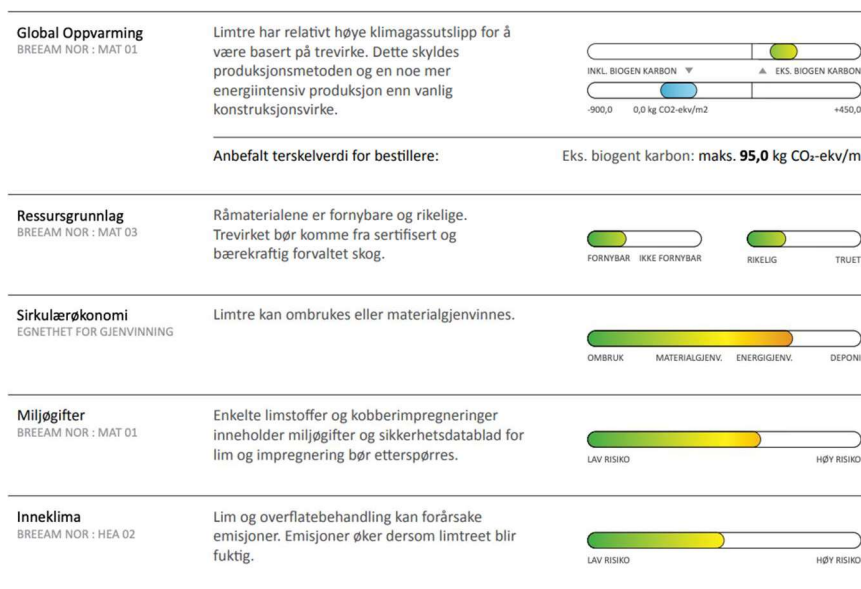
I Norge har vi mye tre, spesielt gran og furu er vel egnet i konstruksjoner. Limtre som er limt sammen av flere lameller av tre, er et fornybart materiale. Trevirket skal komme fra en sertifisert og bærekraftig forvaltet skog. I tillegg er limtre et materiale som kan gjenbrukes og gjenvinnes. Når det kommer til gjenvinning blir limtre ofte benyttet som brennstoff til energiproduksjon av praktiske og økonomiske grunner[8].

Limtre har noe høyere klimagassutslipp enn vanlig konstruksjonsvirke. Dette skyldes at limtre har en mer omfattende produksjonsmetode som er mer energikrevende. Sammenlignet med tilvirkning av andre materialer er energimengden fortsatt relativt lav. I tillegg benyttes ofte biproduktene fra produksjonen av tre som sagflis og resterende tre tømmer til energikilde for tørking av tre. Tørking er den mest energikrevende delen av treproduksjonen. Dersom man ikke bruker mer tre enn det blir plantet i naturen, vil det forbli en fornybar ressurs. Fra Moelven sin EPD for prosjektlimtre gir systemgrense D1 gir et positivt bidrag på miljøregnskapet med -30,4 kg CO₂-ekv/kg [45]. Verdien kommer i hovedsak av varme og elektrisitet fra brenning av materialet som har endt sin levetid. Siden CO₂en som blir sluppet ut ved forbrenning ikke er «ny», men lagret, betraktes dette som mindre negativt og kategorien gir et større bidrag enn andre materialer.

I EPDen for prosjektlimtre kommer det fram at klimagassutslippsverdiene ligger under terskelverdien i Grønn materialeguide med god margin. EPDen gir i systemgrens A1-A3 en GWP på 0,17 kg CO₂-ekv/kg hvor Grønn materialguide sin terskelverdi er på 0,22kg CO₂-ekv/kg[45]. Disse verdiene er eksklusivt bundet karbon. Grønn materialguide setter en terskelverdi på 95 kg CO₂-ekv/m³. Siden limtre blir behandlet som kubikk og stål i kilo er det valgt å regne om limtre til kilo for enklere sammenligning.

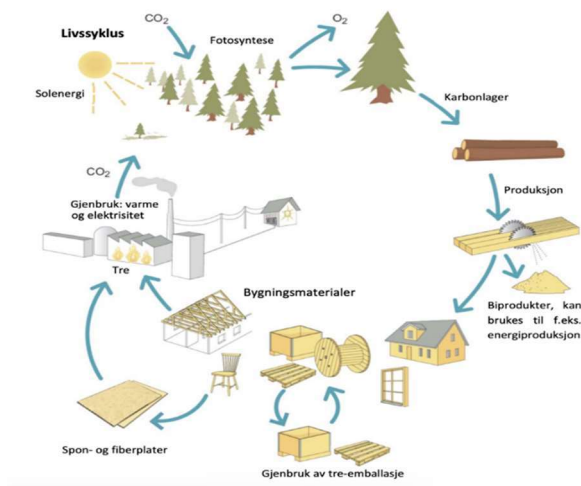
Tre som vokser benytter CO₂ som byggeklosser. Gjennom fotosyntesen lagres CO₂ i treet frem til det blir frigjort igjen ved forbrenning eller råte. Unge trær binder mer CO₂ enn eldre trær som har sluttet å vokse. Derfor er det viktig å hogge skogen når den er hogstmoden. På den måten får man

materiale å bruke og en ung skog som kan vokse og binde mer CO₂. Dersom et tre dør på rot slippes karbondioksid ut igjen i atmosfæren. Ved å hogge skogen før treet dør vil treet fungere som et karbonlager. Det vil si at om man bruker tre framfor et materiale som er mindre klimavennlig, har man etablert et midlertidig karbonlager. Selv om det før eller siden vil ende opp i atmosfæren igjen, betyr det mye at det midlertidig reduserer utslipp av drivhusgasser [46]. Egentlig lagrer ikke tre CO₂, det er bare karbon som blir lagret i tre, men i miljørammen omtaler man det som antall kg CO₂. Det fungerer slik at man regner ut hvor mye kg CO₂ som blir dannet av en viss mengde karbon som er lagret i et tre. Det er mengden av CO₂ i atmosfæren som påvirker klimaet og ikke karbon. Siden CO₂ veier litt under 4 ganger så mye som karbon vil mengden CO₂ som blir lagret i treet være nesten fire ganger mengden karbon. En norsk enebolig av tre kan inneholde opptil 22m³ tre, som tilsvarer 16 tonn CO₂[13 s.31]. For limtre tilsvarer 1 kubikkmeter omtrent 750kg CO₂ [41, s.4].



Figur 25 Sammenndrag limtre i Grønn materialguide

Lim som blir brukt i produksjonen av limtre er ikke fornybar. Det vil si at det påvirker miljøprofilen til limtre i negativ retning. Likevel er andel av lim som blir brukt så liten at den negative påvirkningen ikke er så stor[41,s. 4]. Mengden lim som blir brukt utgjør bare 1-2 vektprosent, men selv om det blir brukt små mengder lim utgjør det tilnærmet 10% av totalt energiforbruk ved produksjon. Dette viser at små komponenter kan ha stor betydning for miljøegenskapene til et produkt[47]. Impregnering av limtre kan være veldig miljøgiftig. Kreosot- og kobberimpregnering er eksempler på miljøgiftige impregneringsmidler. Sammen med miljøgiftene limen kan inneholde bør sikkerhetsdatablad alltid etterspørres og kontrolleres opp mot REACH og prioritetslisten [8]. Fra Moelvans EPD som omhandler standard limtre ser vi at produktet inneholder under 0,1% av stoffer fra REACH kandidatliste [45].



Figur 26 Livssyklusen til treprodukter. Hentet fra limtreboka.

Tre et miljøvennlig materiale, mye på grunn av dens evne til lagre karbon og at det er fornybart gjennom vekst av nye trær. Livssyklusen som er illustrert i figur 26, tar for seg reisen til et tre fra det tar opp karbon til det slipper det ut igjen. Ved å utnytte treet sine evner til å lagre karbon kan drivhuseffekten motvirkes. Når mengden tre som er i syklusen økes, samtidig som skogene vokser, vil den totale mengden CO₂ i atmosfæren reduseres. Selv om det er energikrevende å tørke tre og lime lamellene, ser en på figur 25 at limtre ligger i det øvre sjiktet innenfor de fleste vurderings kategoriene Miljøguiden vurderer. Miljøguiden viser at limtre er PEFC og FSC godkjente, det vil si at trærne kommer fra bærekraftige skoger som forvaltes på en god måte. Det betyr også at trærne ikke stammer fra truede skogstyper som regnskog. Limtre er og ECOproducts sertifisert som viser at tre er av de bedre materialene miljømessig.

6.2 Økonomi

Opgavens avgrensing gjør at vi i dette kapitlet ser på de økonomiske forskjellene på selve fagverket. Det vil si at det forenklet antas like kostnader for oppbygging av de lette konstruksjonsdelen, drift og annen aktivitet på byggeplass. De økonomiske overslagene gjøres på grunnlag hentet fra produsentene Norsk Stål, Moelven, Splitkon og Prøven transport.

Punkter som transport av materiale frem til verksted, hvor fagverket monteres og bygges ferdig, er for denne oppgaven vanskelig å gi et korrekt bilde av. Derfor antas det like kostnader selv om det kan være større forskjeller mellom alternativene. Heising av ferdig brokonstruksjon antas likt selv om det kan variere i forhold til hvilken krantype det er behov for basert på totalvekt av de ulike broene, heising vil ikke bli sett videre på.

Når broen er satt sammen på verksted skal den transporteres til byggeplassen, noe som kan være krevende. Broen er 21 meter lang, og tillatt total lengde på normaltransport på norske veier er 19,5m. Dette betyr at det må nyttes spesialtransport med følgebil avhengig av hvilket vogntog som brukes. For å kunne transportere gods av denne lengden må det søkes om dispensasjon fra myndighetene. Det skal likevel ikke være noen problem praktisk sett [41, s.22]. Maks tillatt vekt på normaltransport i Norge er på 50 tonn. Tillatt vekt er langt over egenvekten med fasade for alternativene. Henholdsvis 14 tonn for trebro og 16 tonn for stålbro[48]. Utregninger for totalvekten er vist i vedlegg A1. Det vil være andre begrensninger i forhold til hvilken lastebil som brukes, aksellast, vegnett og høyde. Der aksellast er den samlede vekten av alle hjulene på en aksel. Det ses likevel ikke på som et problem siden det er mulig å få dispensasjon til dette. Siden broen skal monteres over jernbanespor, kan muligheter for transport av broen på tog utforskes. For å finne ut av dette må det sendes en søknad om spesialtransport til Bane NOR, der de vurderer om det er forsvarlig å transportere broen. Dette er ikke gjort, og vil ikke bli sett mer på.

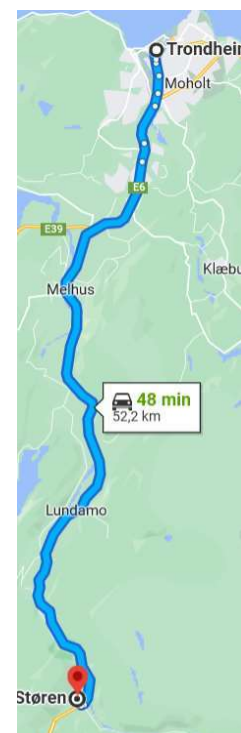
Frakt av ferdig fagverk antas likt da konstruksjonenes størrelser er tilnærmet like. Et estimat er gitt av Prøven transport, som kan ses i vedlegg C2, hvor transport av en ferdig fagverksbro vil ligge på 33kr/km for semitrailer med uttrekk + 13kr/km per følgebil. Hvor fagverket blir satt sammen har en naturlig faktor for transporten. Som en forenkling antar vi dette, skjer i Trondheim. Transport fra Trondheim til Støren tur/ retur ser vi i figur 27 blir rundt 105km. Totalt gir dette en transport av ferdig fagverk med anbefalt to følgebiler på 7800 kr.

Montering er satt etter en tenkt timesats og timebruk. Det er valgt å ikke gjøre større undersøkelser for å finne mer korrekte verdier. Til tross for at montering av de ulike alternativene er svært forskjellige og stiller ulike krav til utførelse og tidsbruk.

Full utregning og mengdeberegninger av det økonomiske overslaget kan ses i vedlegg C1.

6.2.1 Stål

Kostnadsanalysen er gjort med bakgrunn i materialkostnader oppgitt i vedlegg C3 fra leverandøren Norsk Stål. I tillegg er det lagt til grunne kapp og rigg etter deres egne prislister[49]. Kapp og rigg er her ment som den jobben leverandøren gjør på fabrikken for å pre-cute profilene slik at de er klare til montering. Under, i tabell 13, ser man det økonomiske resultatet for et ferdig fagverk klart for videre oppbygning og tetting.



Figur 27 Avstand Trondheim - Støren

Stålprofilene leveres i 12 meter, mengdeberegningene er derfor gjort slik at det går opp i disse lengdene. Det er også tenkt minst mulige skjøter. Eksempelvis for gurtene er det valgt en ekstra 12meter slik at alle gurtene får en skjøt teoretisk tiltenkt 12 + 9 meter. I teorien kan den ene gurten få tre skjøter dersom den benyttet restene av de andre gurtene slik at den ble 12 + 3 + 3 + 3 meter. Dette er vurderinger som ved bestilling kan gjøres etter anbefalinger fra leverandør og utførende montør.

<i>Post</i>	<i>Kostnad</i>
<i>Materialkostnad</i>	626 000
<i>Rigging</i>	21 750
<i>Kapp</i>	49 110
<i>Montering</i>	101 250
<i>Utkjøring</i>	7375
<u>Sum</u>	<u>805 485</u>

Tabell 13 Økonomisk overslag stål

Det økonomiske overslaget for fagverket i stål gir en total sum på 805 485 kr. Den tydeligste faktoren er materialkostnadene som Norsk Stål har oppgitt. Som de skriver i vedlegg C3, er denne for nyetablerte kunder. Det vil si at det kan tilbys rabatterte priser for forskjellige bedrifter etter størrelse og kundeforhold. Denne posten er derfor en post som kan forhandles om med leverandør for å oppnå en lavere pris.

Veiledning til oppgaven kom det frem at stål er et veletablert materiale i Norge og Verden. Hvor de fleste rådgivende ingeniører kan beregne bærende konstruksjoner i stål. For entreprenører er det et vanlig materiale som flere har gode kunnskaper om og brukt mye i tidligere prosjekter. Dette gjør at det er større konkurranse i markedet som kan være med å presse ned prisen. Stål er et vanlig bygningsmateriale som gjør at det finnes mange lignende konstruksjoner og detaljløsninger som gjør at tid og penger kan spares ved å bruke lignende utforming.

6.2.2 Tre

Det økonomiske overslaget for tre-alternativet er gjort på bakgrunn vedlegg C4 og C5. Ifølge begge leverandørene er denne type bro komplisert å prisette. Splitkon antar en pris på 55 000kr per kubikk for ferdig bru, ferdig montert. Moelven antar ferdig tilvirket limtre, klar til montasje til 25 000kr per gurt inklusiv moms. Differansen mellom ferdig bro og materialkostnadene med utkjøring og montasje, settes på posten rigg. Her vil rigg-posten inneholde stålmengder og bolter i forbindelsene samt dekke utgifter for kompleksitet og andre utgifter. Denne posten virker stor, men er det som kommer ut fra prisinnhenting. Rigg-posten er ofte en form for samlepost for uforutsette hendelser i prosjekter. Med tanke på at leverandørene mener dette er komplisert å prisete er det naturlig å tro at denne posten er lagt på litt ekstra for egen sikkerhet.

<i>Post</i>	<i>Kostnad</i>
Materialkostnad	308 048
Rigg	276 327
Kapp	-
Montering	101 250
Utkjøring	7375
<u>Sum</u>	<u>693 000</u>

I tabell 14 kan man se det økonomiske overslaget for tre-

alternativet. Fullstendig utregning kan ses i vedlegg C1 hvor

kubikkmeter og lengdemeter er regnet ut for hånd. Totalt kostnad blir

693 000 kr som anses som realistisk ut ifra Splitkon sine opplysninger for denne type konstruksjoner, uten at noen leverandører har regnet på dette.

Tabell 14 Økonomisk overslag tre

Gjennom veiledning for oppgaven kom det frem at tre er et vanlig bygningsmateriale for mindre bygg i konstruksjonsvirke. Videre viser det seg at bransjen i dag er tre mer og mer attraktivt da det er et miljøvennlig alternativ. Likevel er det ikke like etabler som andre materialer. Det er færre rådgivende som beregner slike konstruksjoner og ikke alle entreprenører tar på seg slike oppdrag. Det finnes færre like konstruksjoner som gjør at det ved dimensjonering må brukes mer tid og penger på detaljprosjektering og utførelsen kan ta lenger tid da entreprenørene må sette seg inn i en ny bygningsmetode.

6.3 Tekniske løsninger

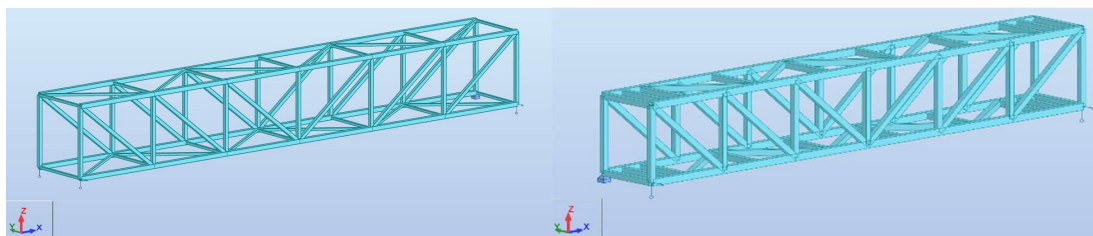
Sammenligning av de tekniske løsningene ses i sammenheng med kapittel 5 over. Dette punktet er tenkt for å kunne se på de praktiske forskjellene ved materialvalget. Ulike størrelser og dimensjoner, samt utnyttelse av tverrsnitt og knutepunkt er faktorer som blir vurdert mot hverandre.

7. Diskusjon

Oppgaven har dimensjonert to fagverk i henholdsvis tre og stål. Den har sett på de økonomiske rammene for alternativene og hvilke miljøavtrykk de har på verden. Begge alternativene har både styrker og svakheter hvor graden av vektlegging vil variere ut ifra hvilke syn beslutningstakeren har for materialvalget i prosjektet.

7.1 Dimensjonering

Vi ser at begge materialalternativene er godt egnet til formålet som bærende elementer i en fagverkskonstruksjon. Trekonstruksjonen gir et fagverk bestående av større dimensjoner som gir et solid inntrykk. Utformet fagverk i tre ligger høyt i utnyttelse for enkelte staver og vil ved detaljprosjektering kunne være i grenseland av hva som holder. Noe som igjen kan føre til økte dimensjoner og enda mer synlig fagverk. For noen beslutningstakere kan dette massive inntrykket virke voldsomt. Da kan det heller være foretrukket et fagverk i stål. Stål har betydelig bedre kapasitet ved mindre dimensjoner, som gir et slankere uttrykk. Utformet fagverk i stål ligger lavt i utnyttelse, noe som gjør at den kan tåle å gå mer ned i dimensjoner for å gi et enda mindre synlig bærende system. Figur 28 stiller fagverkene opp mot hverandre og illustrerer tydelig at treboren er kraftigere enn stålbroen. For brokonstruksjoner er det ytet et ønske om at konstruksjonen skal se solid ut. Det stilles krav til nedbøyning på grunn av passasje av tog under broen. Begge utformede fagverk tilfredsstillende disse kravene og andre gjeldende dimensjonerende krav etter norsk standard.



Figur 28 Fagverk i Stål VS Tre

I tabell 15 under vises en oppsummering av resultatene fra dimensjoneringen. Her kommer det tydelig frem at det er de vertikale stavene i trykk som er mest utsatt for begge konstruksjonene. Dette kjennes igjen i fagverkets oppbygning og benyttelse av rette, vertikale trykkstaver. Stavene er plassert over opplegg og er utsatt for store aksiallaste og må derfor kontrolleres for knekking. Størrelsesmessig krever tre 65mm større tverrsnitt, som naturlig tar større plass og synlighet.

	Stål		Tre	
	Dimensjon	Utnyttelse	Dimensjon	Utnyttelse
<i>Udergurt</i>	HUP 180x180x6,3	58 %	GL30C 215x250	63%
<i>Overgurt</i>	HUP 180x180x6,3	51 %	GL30C 215x250	58%
<i>Fagverkstaver vertikalt</i>	HUP 150x150x6,3	68%	GL30C 215x215	90%
<i>Fagverkstaver horisontalt</i>	HUP 100x100x6,3	69%	GL30C 215x250	71%

Tabell 15 Resultat dimensjonering

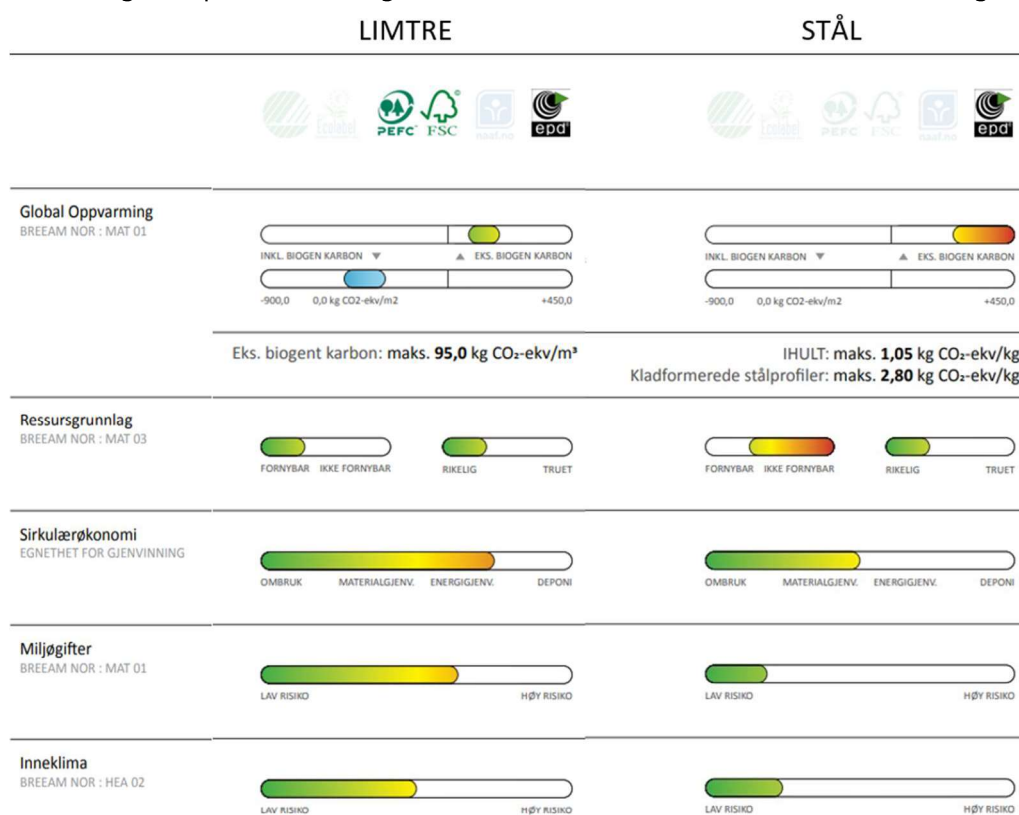
Som vi har sett er knutepunktene kritiske i et fagverk. Dette er punkter hvor flere staver kommer inn med tilhørende krefter som gjør at det ofte er dimensjonerende for hele konstruksjonen. Oppgaven gjør ingen store beregninger her, da det for tre er meget komplisert. Det vises likevel til typer og oppbygning som vil være relevante for konstruksjonene. Vi ser at trekonstruksjonen er nødt til å gjøre større endringer på fagverket for å praktisk kunne utføre knutepunktene. Knutepunkt utført ved dybler krever plass til å felle inn stålplater i treet, derfor kan ikke disse ta staver i et og samme punkt om både sterk- og svak akse, noe stålkonstruksjonen kan. Dette løses med forskyvning av fagverket som gjør konstruksjonen mindre stiv. For stål vil sveisen være sterkere enn grunnmaterialet så det vil være grunnmaterialet som blir dimensjonerende. Ved en detaljberegning kan en økning i godstykkelsen sannsynlig være løsning dersom valgte dimensjoner ikke skulle holde. Løsningen gjør at det ikke skjer store endringer. Overslagene gjort for det ene knutepunktet viser veldig god kapasitet i et utsatt knutepunkt. Sannsynligheten heller derfor mot at valgte dimensjoner vil holde.

For nedbøyning ser man at begge alternativene er dimensjonert innenfor satte krav. For en slik fagverksbro med tog passerende under er det viktig å bygge på en slik måte at nedbøyning ikke blir et problem for driften. Stål er et veldig stivt materiale og står godt imot nedbøyningen uten for store tverrsnitt. Tre er derimot som for dimensjoneringen i bruddgrense, ikke like sterkt og må derfor kompensere med større tverrsnitt for å komme innenfor kravene.

Gjennomgående for dimensjonering ses det at stål gir et slankere fagverk og relativt enkle, gjennomførbare knutepunkt. Mens i tre må det kompenseres med større tverrsnitt og forskyvning av fagverk for å oppnå tilstrekkelig bæreevne. Likeså er begge materialene vel egnet for bruk i denne typen konstruksjoner så valg av materiale basert på dimensjonering vil i stor grad ligge på punkter som estetikk og entreprenørens ønskede arbeidsmetode.

7.2 Miljø

Figur 29 viser profilene til limtre og stål fra Grønn materialguide. Figuren er utklipp fra de tilsvarende figurene i kapittel 6 og det henvises til denne i avsnittene under. For temaet global oppvarming ser vi at limtre har en blå slider, som stål ikke har. Denne sliden tar for seg klimagassutslipp inklusiv biogent karboninnhold, og ligger i -450 kg CO₂-ekv/m³ området. Siden denne materialguiden bare tar for seg materialets reise til fabrikkporten kommer tre ut med negativ verdi når man tar hensyn til karbonlagringen. Vi ser at tre har et betraktelig lavere produksjonsutslipp enn det stål har. I tabell 16 er GWP-verdiene for systemgrense A1-A3 for limtre og stål oppgitt. Verdiene er hentet fra kapittel 6.2.1 og 6.2.2. Verdiene til limtre er eksklusivt bundet karbon siden det sammenlignes med stål som ikke har denne egenskapen. Sammenligner man med terskelverdiene fra Grønn materialguide og



Figur 29 Utdrag Grønn Materialguide for Limtre og Stål

materialenes GWP-verdier i tabell 16 ser vi at limtre kommer best ut. Limtre ligger under terskelverdien mens stål ligger over sin terskelverdi. Stålleverandøren mener på sine nettsider at de kan levere stål med lavere GWP-verdi. Selv om de klarer å levere et stål til terskelverdi vil limtreet ha en betydelig mindre GWP-verdi. Det kommer tydelig frem her at tre er et mer miljøvennlig alternativ enn stål.

Parameter	Enhet	Stål	Limtre
Terskelverdi - Grønn	CO ₂ -ekv/m ³	-	95
materialguide	CO ₂ -ekv/kg	1,05	0,22
GWP	CO ₂ -ekv/m ³	-	72
	CO ₂ -ekv/kg	2,82	0,17

Tabell 16 GWP-verdier og terskelverdier systemgrense A1-A3

Ser vi på ressursgrunnlag finner vi ut at det finnes rikelige mengder av begge materiaene. Stål er et ikke fornybart materiale, men det kan lett gjenbrukes og smeltet om til ny bruk.

Gjenvinningsprosessen er energikrevende som kan være forbundet med en del utslipp. Prosessen er likevel mindre energikrevende enn utvinning fra jernmalm som er mer miljøskadelig. Grønn Materialguide velger derfor å plassere stål i det nedre sjiktet i kategorien fornybar. Ser man vekk fra limen er limtre et helt fornybart materiale. Den er plassert helt i topp sjiktet siden det er et plantebasert materiale og produksjonen av tre ikke krever mye strøm. Tørkeprosessen av tre kan være mer energikrevende, men her er det brukt gode energikilder som gjør at utslippet minimaliseres. Limtreet til Moelven kommer fra bærekraftige skoger og er PEFC og FSC sertifisert. Tre er også ECOproduct sertifisert, dette er med på å bedre materialenes karakter. Sammenlignet med stål som ikke har noen miljømerker for sine produkter.

Sirkulærøkonomien for limtre strekker seg helt ned til energigjenvinning mens stål stopper på gjenvinning. Limtre kan gjenbrukes, men er ikke like godt egnet til gjenbruk som stål. Dette siden det påvirkes i mye større grad av utførelse og små detaljer som innfestning og beskjæring. Tre einer seg derimot veldig godt som energikilde og blir gjerne brukt til dette etter endt levetid. Stål som nevnt er velegnet for gjenbruk og om det ikke lar seg gjøre kan det lett smeltes om til nye produkter.

For tema miljøgifter og inn klima ser vi en stor forskjell på profilene. Limen som brukes i limtre inneholder giftstoffer og kan avgi emisjoner. Det samme gjelder impregnering som kan inneholde giftstoffer. Emisjonene skal sjekkes opp mot REACH og prioritetslisten for å ivare ta et godt inn klima. For stål er dette ikke et problem siden stål er et lavemitterende materiale. Ved bruk av overflatebehandling kan det forkomme emisjoner som må kontrolleres etter de samme listene.

Systemgrense D1 er den kategorien i miljøregnskapet som har en positiv innvirkning. I tabell 17 under ser vi at tre kommer mye bedre ut enn stål. GWP-verdien til tre kommer i hoved sak fra bruk til varmeproduksjon i form av fjernvarmeanlegg og utvinnes av elektrisitet gjennom å varme opp vann som driver en turbin. Stål sin GWP-verdi kommer fra resirkulering, der det er estimert at 92% av stålet blir resirkulert, dersom det ikke kan gjenbrukes direkte.

MATERIALE	GWP D1
TRE	-30,4 kg CO ₂ -ekv/kg
STÅL	-1,45 kg Co ₂ -ekv/kg

Tabell 17 GWP-verdier systemgrense D1

De resterende systemgrensene har ikke oppgaven gått nærmere inn på. Dette er siden kategorier som transport og levetid er svært variable faktorer som vil være forskjellig fra enhet til enhet. Likevel er det viktig å påpeke at disse kategoriene er like viktig i et totalt livsløp. Det vil derfor være feil å legge sammen de ulike GWP-verdiene som er trukket frem for hvert materiale. Verdiene er ment som en sammenligning materialene imellom i de ulike fasene, ikke en total livsløpsanalyse. Tatt dette i betraktning kan vi si at tre kommer klart best ut i perioden fra det blir hogd, til det blir klargjort for transport fra fabrikk. Også gevinsten materialet gir miljøet etter endt livsløp er tre best. Basert på dette kan vi si at tre er et mer miljøvennlig byggemateriale.

7.3 Økonomi

Selv om de økonomiske overslagene ikke er detaljkalkulert fra leverandører gir de en god pekepinn på hva som er å forvente ved bestilling. Selv om trekonstruksjonene har behov for noe mer materiale viser overslaget at den er rundt 112 tusen kroner rimeligere enn alternativet i stål. Da det for oppgaven er gjort forenklinger og antagelser rundt overslagene av ulike poster er det selve materialprisen som er naturlig å sammenligne ut fra informasjon fra leverandørene. Her ser vi at trekonstruksjonen er hele 318 tusen kroner rimeligere enn stålkonstruksjonen.

Posten for montering av fagverket er svært usikker, og det kan tenkes at trekonstruksjonen vil være mer tidskrevende å montere, da forbindelser i dybler er veldig millimeter presisjon. En tanke er at totalprisene kan nærme seg hverandre enda mer, men er ikke sikkert. For oppgaven legges oppgitte verdier til grunne basert på de data som er innhentet hvor trekonstruksjonen er det rimeligste alternativet med 693 000kr for ferdig fagverk. Det vises store usikkerheter ved denne prisen.

Stål er et veletablert material i dagens marked hvor de fleste entreprenører kan bygge dette. De fleste rådgivende kan prosjektere stålbren. For tre er det færre som både bygger og dimensjonerer slike konstruksjoner i dag. Dette fårer til større konkurranse for stålbren som kan presse ned prisen. Motsatt gjelder for tre hvor det blir liten konkurranse og aktuelle firmaer ser muligheten for å tjene penger.

Transportprisen for de ulike alternativene er usikre, spesielt med dagens energipriser. Transporten avhenger av vekt og avstand. For oppgave er dette regnet likt da detaljene rundt dette er utfordrende å fremskaffe. Transport med semitrailer fra Prøven transport gir et overslag på 7800kr. For å frakte en slik konstruksjon med to følgebiler ses dette på som en billig transport. Eventuell

undersøkelse om å frakte konstruksjonene med tog vil trolig ikke bli veldig mye rimeligere enn denne prisen.

7.4 Konklusjon

I denne oppgaven ble det stilt følgende spørsmål:

- Fremkommer det noen tekniske forskjeller mellom fagverkskonstruksjonene i tre og stål?
- Hvor store miljø- og økonomiske forskjeller er det på fagverk i tre og stål?

Å konkludere på et generelt grunnlag med det ene materialet fremfor det andre er vanskelig da det er mange faktorer som spiller inn. Som et svar på spørsmålene er det blitt belyst de fordeler og ulemper som er ved de to alternativene. Tre skiller seg godt ut med tanke på miljø og materialpris. Stål er et mer etablert materiale i bransjen som kan presse ned prisen og utføres av flere. Stål gir et slankere og stivere konstruksjon som kan være ønskelig. Hvert prosjekt har sine ønsker og behov så det vil derfor ikke være noe generalisert svar på hvilket materialet som egner seg best for denne typen konstruksjoner. Beslutningstaker sitt syn og holdninger er det mest avgjørende for selve valget.

For denne oppgaven og Støren stasjon vil vi basert på funnene i denne oppgaven anbefale å utføre fagverket i tre. Med begrunnelse i at det materialet tilfredsstillende de samme dimensjonerende kravene som for stål, er bedre med tanke på miljø og er rimeligst i materialpris. Da overgangsbroen ikke er noe spesielt estetisk byggverk, ses de store dimensjonene på som akseptable. Materialet blir stadig brukt mer og det finnes kompetanse, både prosjektering og utføring. Selve materialprisen er rimeligere enn for stål, selv om det er usikkerheter rundt denne og andre kostnader forbundet med bruk av materialet. Tre kommer dermed best ut av alternativstudiet.

Kilder

- [1] «Kapasitetsøkende tiltak på Trønderbanen - Bane NOR». <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/kapasitetsokende-tiltak-pa-tronderbanen/> (åpnet 8. februar 2022).
- [2] «Bygg og anlegg», *ZERO*. <https://zero.no/fagomrade/bygg-og-anlegg/> (åpnet 11. mai 2022).
- [3] K. miljødepartementet, «Klimaendringer og norsk klimapolitikk», *Regjeringen.no*, 22. oktober 2021. <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/> (åpnet 11. mai 2022).
- [4] «Prisinformasjon | Maxbo Proff». <https://proff.maxbo.no/artikler/prisinformasjon2> (åpnet 13. mai 2022).
- [5] «Bane NOR Eiendom - Støren stasjon - Støren stasjon». <https://www.banoreiendom.no/storen-stasjon> (åpnet 8. februar 2022).
- [6] «Google Maps», *Google Maps*. <https://www.google.no/maps/place/St%C3%B8ren/@63.0507242,10.2843692,15z/data=!4m13!1m7!3m6!1s0x466c46edada40cad:0x7f1b8d2d4e5df097!2sR%C3%B8rosvidda!3b1!8m2!3d62.8333333!4d11.8333333!3m4!1s0x466cd04d16802a5f:0xab076f69ed4e920f!8m2!3d63.0513868!4d10.2849023?hl=no> (åpnet 8. februar 2022).
- [7] «Naturbase faktaark». <https://faktaark.naturbase.no/?id=BN00044795> (åpnet 11. mai 2022).
- [8] R. Hagen, E. Smith, R. Hagen, K. Bramslev, og L. Palm, «Grønn Materialguide». Grønn Byggallianse, 2021. Åpnet: 24. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <https://byggalliansen.no/kunnskapssenter/publikasjoner/gronn-materialguide-versjon-2-2/>
- [9] «Robot Structural Analysis 2021 Help | Autodesk». <https://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2021/ENU/> (åpnet 20. mai 2022).
- [10] «Mathcad Express Free Download | Mathcad». <https://www.mathcad.com/en/try-and-buy/mathcad-express-free-download> (åpnet 20. mai 2022).
- [11] «Bruer og konstruksjoner/Prosjektering og bygging/Laster – Teknisk regelverk». https://trv.banenor.no/wiki/Bruer_og_konstruksjoner/Prosjektering_og_bygging/Laster#Ulykkeslaster_fra_jernbanetraffic (åpnet 11. februar 2022).
- [12] «N400 Bruprosjektering», januar 2022. <https://svv-cm-sv-apppublic-prod.azurewebsites.net/product/859933/nb#id-02f8d15b-87a4-460e-f37d-f688a21fd040> (åpnet 28. mars 2022).
- [13] K. Bell, *Dimensjonering av trekonstruksjoner*. 2017.
- [14] N. Ryum og A. Almar-Næss, «bessemerprosessen», *Store norske leksikon*. 31. august 2020. Åpnet: 2. mars 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/bessemerprosessen>
- [15] J. K. Solberg, N. Christensen, og A. Almar-Næss, «stål», *Store norske leksikon*. 23. november 2021. Åpnet: 2. mars 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/st%C3%A5l>
- [16] P. K. Larsen, *Dimensjonering av stålkonstruksjoner*, 3. utg. Fagbokforlaget, 2020.
- [17] H. T. Øderud og R. S. Nordahl, «bro», *Store norske leksikon*. 28. februar 2022. Åpnet: 21. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/bro>
- [18] «Standard Norge | standard.no». <https://www.standard.no/> (åpnet 20. mai 2022).
- [19] «Bruer og konstruksjoner/Prosjektering og bygging/Overgangsbruer – Teknisk regelverk». https://trv.banenor.no/wiki/Bruer_og_konstruksjoner/Prosjektering_og_bygging/Overgangsbruer (åpnet 30. mars 2022).
- [20] K. Bell og R. W. Meyer, «elementmetoden», *Store norske leksikon*. 7. november 2021. Åpnet: 25. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/elementmetoden>
- [21] «Robot Structural Analysis Professional», *Symetri*. <https://www.symetri.no/produkter/robot-structural-analysis-professional/> (åpnet 20. mai 2022).
- [22] «Bygg Arkiver», *Norsus*. <https://norsus.no/forskningsomrade/bygg/> (åpnet 24. april 2022).
- [23] H. Nuland, «Environmental product declaration Varmformet hulprofil». Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner, 2020. [Online]. Tilgjengelig på:

- <https://www.norskstaal.no/Default.aspx?ID=6605&groupid=GROUP282&productid=PROD812>
- [24] «ECOproduct - byggevarenes faktiske miljøegenskaper», *Byggtjeneste*. <https://byggtjeneste.no/ecoproduct/> (åpnet 13. mai 2022).
- [25] «Hva er BREEAM / BREEAM-NOR», *Byggtjeneste*. <https://byggtjeneste.no/breeam-nor/> (åpnet 13. mai 2022).
- [26] «Økonomi», *Wikipedia*. 19. mars 2022. Åpnet: 27. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%98konomi&oldid=22361217>
- [27] T. Østmoen, *Brubygging*, 2. utg. NKI forlaget, 2000.
- [28] «471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler - Byggforskserien». https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler (åpnet 27. mai 2022).
- [29] Standard Norge, «NS-EN 1991-1-1 Laster på konstruksjoner Del 1-1: Allmenne laster Tetthet, egenvekt, nyttelast i bygninger». Standard Norge, 2002.
- [30] Standard Norge, «NS-EN 1991-1-3 Laster på konstruksjonen -del 1-3: Allmenne laster Snølaster». Standard Norge, 2008.
- [31] Standard Norge, «NS-EN 1991-1-4 Laster på konstruksjoner Del 1-4: Almenne laster Vindlaster». Standard Norge, 2009.
- [32] «Norgeskart». <https://www.norgeskart.no/#!?project=Fastmerker&layers=1003,1013,1014,1015,1016&zoom=15&lat=6731253.06&lon=-31244.48&markerLat=6731253.0553710945&markerLon=-31244.4755859375&panel=Koordinater&showSelection=false&sok=Kanalveien> (åpnet 1. november 2019).
- [33] Standard Norge, «NS-EN 1991-2 Laster på konstruksjoner Del2: Trafikklast på bruer». Standard Norge, 2003.
- [34] B. Holøs, «høyhastighetstog», *Store norske leksikon*. 15. januar 2022. Åpnet: 23. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/h%C3%B8yhastighetstog>
- [35] Standard Norge, «NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner». Standard Norge, 2016.
- [36] «Overbygning/Prosjektering/Publikumsareal – Teknisk regelverk». <https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Publikumsareal#Overgangsbruer> (åpnet 10. mars 2022).
- [37] «Bruer og konstruksjoner/Prosjektering og bygging/Generelle tekniske krav – Teknisk regelverk». https://trv.banenor.no/wiki/Bruer_og_konstruksjoner/Prosjektering_og_bygging/Generelle_tekniske_kvav#Estetiske_kvav (åpnet 24. mai 2022).
- [38] Standard Norge, «NS-EN 1993-1-1 Prosjektering av stålkonstruksjoner Del1-1: Allmenne regler og regler for bygninger». Standard Norge, 2015.
- [39] *Stav-forbindelser*. Norsk stålforbund, 2016.
- [40] Standard Norge, «NS-EN 1993-1-8 Prosjektering av stålkonstruksjoner Del 1-8: Knutepunkter og forbindelser». Standard Norge, 2009.
- [41] «Limtreboka». Norske limtreprodusenters forening, juni 2015. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf
- [42] S. Tiltnes, «Bygg- og eiendomssektorens betydning for klimagassutslipp». *Bygg21*, 2018. Åpnet: 27. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <https://byggalliansen.no/kunnskapsenter/publikasjoner/bygg-og-eiendomssektorens-betydning-for-klimagassutslipp/>
- [43] «Grønnere – Stålproduksjon i dag», *Grønnere – Stålproduksjon i dag*. <https://www.norskstaal.no/Default.aspx?ID=6474> (åpnet 26. april 2022).

- [44] «Oversikt over våre EPD'er», *Miljødeklarasjoner (EPD)*.
<https://www.norskstaal.no/Default.aspx?ID=6997> (åpnet 26. april 2022).
- [45] K. Sveen, «Environmental product declaration Prosjektlimtre». Moelven Limtre AS, 2. juli 2018. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.moelven.com/no/produkter-og-tjenester/alt-om-limtre/sertifiseringer-og-dokumentasjon-for-limtre-og-lvl/>
- [46] «Hvorfor kan bruk av tre bidra til å løse klimakrisen?», *Moelven*.
<https://www.moelven.com/no/aktuelt-og-nyheter/nyhetsarkiv/2018/hvorfor-kan-bruk-av-tre-bidra-til-a-lose-klimakrisen/> (åpnet 25. mai 2022).
- [47] «Litt lim har stor miljøeffekt», *SINTEF*. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2012/litt-lim-har-stor-miljoeffekt/> (åpnet 27. april 2022).
- [48] «Forskrift om bruksklasse, tillatt totalvekt og tillatt vogntoglengde for normaltransport, tømmertransport og kjøring med modulvogntog på riksveg (Vegliste riksveg) - Lovdata». <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2017-09-22-1487> (åpnet 19. mai 2022).
- [49] «Prisliste: Tjenester og frakt», *Pris – Tjenester og fraktsoner*.
<https://www.norskstaal.no/Default.aspx?ID=6370> (åpnet 27. april 2022).

Vedlegg

Vedlegg A- Laster.....	ii
Vedlegg A1 – Egenlast	ii
Vedlegg A2- Snølast.....	iv
Vedlegg A3 – Vindlast.....	v
Vedlegg A4 – Overslag laster	viii
Vedlegg B – Beregninger	xii
Vedlegg B1 – Overslag Stål Gurt.....	xii
Vedlegg B2 – Gurter Stål Robot.....	xvi
Vedlegg B3 – Stegstaver Stål Robot	xx
Vedlegg B4 – Knutepunkt Stål	xxvi
Vedlegg B5 – Overslag Tre Gurt	xxx
Vedlegg B6 – Gurter Tre Robot	xxxvii
Vedlegg B7 – Stegstaver Tre Robot	xl
Vedlegg B8 – Nedbøyning Tre	xliv
Vedlegg C – Sammenligningsgrunnlag	xlvi
Vedlegg C1 – Økonomisk Overslag.....	xlvi
Vedlegg C2 – Mail Prøven transport	xlix
Vedlegg C3 – Mail Norsk stål	l
Vedlegg C4 – Mail Splitkon	li
Vedlegg C5 – Mail Moelven.....	lii
Vedlegg D –Supplerende kontroller fra Robot	liv
Vedlegg D1 – Kontroll Krefter Stål.....	liv
Vedlegg D2 – Kontroll Krefter Stål.....	lx

A1

Vekt av fasade:

Bruker tettheten til forskjellige materialer hentet fra SINTEF Byggforsk 471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler. Velger de tyngste materielene for hver gruppe til sikkert side.

Korrugerte stålplater til tak:	0.2kN/m ²
Undertak	0.1kN/m ²
Himling:	0.2kN/m ²
Glass:	0.4kN/m ²
Golvbelegg:	0.1kN/m ²
Korrugerte stålplater til undergulv:	0.1kN/m ²

Arealer:

$$A_{\text{tak}} := 2.5 \text{ m} \cdot 21 \text{ m} = 52.5 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{vegger}} := 2.8 \text{ m} \cdot 21 \text{ m} = 58.8 \text{ m}^2$$

Finner totalvekter og deler det på alle gurtene for å finne estimert vekt til fasaden per meter.

$$G_{\text{tak_og_gulv}} := (0.2 + 0.1 + 0.2 + 0.1 + 0.1) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{tak}} = 36.75 \text{ kN}$$

$$G_{\text{vegger}} := 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{vegger}} \cdot 2 = 47.04 \text{ kN}$$

Finner kN/m for fasade pr. gurt:

$$q_{\text{fasade}} := \frac{(G_{\text{tak_og_gulv}} + G_{\text{vegger}})}{4 \cdot 21 \text{ m}} = 0.998 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Runder opp til 1kN/m pr. gurt.

Total vekt trebro inkludert fasade:

Limtre har i EN 14080:2013 en densitet på 470 kg/m³, men gjennomsnittlig er densiteten for limtre av gran cirka 425 kg/m³.

$$g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$L_{stav} := 14 \cdot 2.8 \text{ m} + 20 \cdot 2.5 \text{ m} + 10 \cdot 4.3 \text{ m} + 12 \cdot 4.48 \text{ m} = 185.96 \text{ m}$$

$$L_{gurt} := 4 \cdot 21 \text{ m} = 84 \text{ m}$$

$$L_{tot} := L_{stav} + L_{gurt} = 269.96 \text{ m}$$

$$G_{gurt} := L_{gurt} \cdot 0.215 \text{ m} \cdot 0.25 \text{ m} \cdot 425 \frac{kg}{m^3} = (1.919 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$G_{stav} := L_{stav} \cdot 0.215 \text{ m} \cdot 0.215 \text{ m} \cdot 425 \frac{kg}{m^3} = (3.653 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$G_{fasade} := 1 \frac{kN}{m} \cdot \frac{L_{gurt}}{g} = (8.563 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$G_{T_{tot}} := G_{gurt} + G_{stav} + G_{fasade} = (1.413 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$G_{tre} := G_{T_{tot}} \cdot g = 138.663 \text{ kN}$$

Totalvekt Stålbrot inkludert fasade

$$L_{Vstav} := 14 \cdot 2.8 \text{ m} + 12 \cdot 4.48 \text{ m} = 92.96 \text{ m}$$

$$L_{Hstav} := 14 \cdot 2.5 \text{ m} + 12 \cdot 4.3 \text{ m} = 86.6 \text{ m}$$

$$G_{Vstav} := L_{Vstav} \cdot 28 \frac{kg}{m} = (2.603 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$G_{Hstav} := L_{Hstav} \cdot 18.4 \frac{kg}{m} = (1.593 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$G_{S_{gurt}} := L_{gurt} \cdot 33.9 \frac{kg}{m} = (2.848 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$G_{S_{tot}} := G_{S_{gurt}} + G_{Vstav} + G_{Hstav} + G_{fasade} = (1.561 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$G_{Stål} := G_{S_{tot}} \cdot g = 153.101 \text{ kN}$$

Snølast etter NS-EN 1991-1-3

Grunnlag:

Støren stasjon

Midtre Gauldal kommune

$$H := 66 \text{ m}$$

$$H_g := 150 \text{ m}$$

Tabell NA.4.1(901)

$$S_{k0} := 4.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$H < H_g \Rightarrow S_k := S_{k0}$$

Flatt tak:

$$C_e := 0.8$$

Tabell NA 5.1

$$C_t := 1.0$$

NA 5.2(8)

$$\mu_1 := 0.8$$

NA.5.3.1(3)

$$S := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \quad S = 2.88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (5.1)$$

$$S_l := S \cdot \frac{2.5 \text{ m}}{2} = 3.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{linjelast}$$

Vindlast Etter NS-EN 1991-1-4

Terrengruhetskategori 2

$$K_r := 0.19$$

$$Z_0 := 0.05 \text{ m}$$

$$Z_{\min} := 4 \text{ m} < Z := 11 \text{ m}$$

Tabell NA.4.1

$$V_{b0} := 25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_b := V_{b0} \quad \text{C-er lik 1,0}$$

$$C_0 := 1.0$$

$$K_i := 1.75$$

Figur NA.4 (901.5)

$$C_{rz} := K_r \cdot \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad C_{rz} = 1.025 \quad (4.4) \text{ Ruhetsfaktor}$$

$$V_{mz} := C_{rz} \cdot C_0 \cdot V_b \quad V_{mz} = 25.62 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (4.3) \text{ Stedsvindhastighet}$$

$$\rho_0 := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Lufttetthetsverdi}$$

$$q_{mz} := 0.5 \cdot \rho_0 \cdot V_{mz}^2 \quad q_{mz} = 0.41 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad [\text{NA.4.5}] \text{ Stedsvindhastighet}$$

$$I_{vz} := \frac{K_i}{C_0 \cdot \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} \quad I_{vz} = 0.324 \quad (4.7) \text{ Turbulenssensiteten}$$

$$K_p := 3.5$$

$$q_{pz} := (1 + 2 K_p \cdot I_{vz}) \cdot q_{mz} \quad (NA.4.8) \text{ Vindhastighetstrykket}$$

$$q_{pz} = 1.342 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad K_3 := 1.15$$

$$q_{kast} := q_{pz} \cdot K_3 \quad q_{kast} = 1.543 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Vindhastigheten}$$

Formfaktorer betraktet som vanlig hus

Vind på langside: antar $e=d$

$$e := 3 \text{ m}$$

$$b := 21 \text{ m}$$

$$h := 3 \text{ m}$$

$$\frac{h}{e} = 1$$

$$SoneD := qkast \cdot 0.8$$

$$SoneD = 1.235 \frac{kN}{m^2}$$

$$SoneE := qkast \cdot -0.5$$

$$SoneE = -0.772 \frac{kN}{m^2}$$

$$SoneF := qkast \cdot -1.8$$

$$SoneF = -2.778 \frac{kN}{m^2}$$

$$SoneG := qkast \cdot -1.2$$

$$SoneG = -1.852 \frac{kN}{m^2}$$

$$SoneH := qkast \cdot -0.7$$

$$SoneH = -1.08 \frac{kN}{m^2}$$

$$SoneI := qkast \cdot 0.2$$

$$SoneI = 0.309 \frac{kN}{m^2}$$

Vindlast på bro

$$dtot := 3 \text{ m}$$

$$L := 21 \text{ m}$$

$$b := 3 \text{ m}$$

8.3.2 kraft i y-retning

$$Cfy := 2.3$$

Figur 8.3

$$qb := 0.5 \cdot ro \cdot Vb^2$$

4.10 basisvindhastighetstrykk

$$Ce := \frac{qpz}{qb} \quad Ce = 3.435$$

4.9 Eksponeringsfaktor

$$C1 := Ce \cdot Cfy$$

Vindlastfaktor

$$Fwy := 0.5 \cdot ro \cdot Vb^2 \cdot C1 \quad Fwy = 3.086 \frac{kN}{m^2}$$

8.2 Vindkraft

$$Fwyl := Fwy \cdot \frac{2.8 \text{ m}}{2} = 4.321 \frac{kN}{m} \quad \text{Linjelast}$$

8.3.3 krefter i z-retning

$$Cfz := 0.9$$

$$C2 := Ce \cdot Cfz$$

$$Fwz := 0.5 \cdot ro \cdot Vb^2 \cdot C2 \quad Fwz = 1.208 \frac{kN}{m^2}$$

$$Fwzl := Fwz \cdot \frac{2.5 \text{ m}}{2} = 1.51 \frac{kN}{m} \quad \text{Linjelast}$$

Utregning av laster

ULS 6.10b

Forenklet delt total egenvekt på alle 4 gurtene:

Finner totalt volum og ganger med tetthet

$$L_{stav} := 14 \cdot 2.8 \text{ m} + 20 \cdot 2.5 \text{ m} + 10 \cdot 4.3 \text{ m} + 12 \cdot 4.48 \text{ m} = 185.96 \text{ m}$$

$$L_{gurt} := 4 \cdot 21 \text{ m} = 84 \text{ m}$$

$$q_{tre} := \frac{((L_{stav} \cdot 0.215 \text{ m} \cdot 0.215 \text{ m}) + (L_{gurt} \cdot 0.215 \text{ m} \cdot 0.25 \text{ m})) \cdot 3.825 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}}{4 \cdot L_{gurt}} = 0.149 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{stål} := \frac{\left(\begin{array}{l} \text{Gurt} \qquad \text{Stav 100x100} \qquad \text{Stav 150x150} \\ \left(84 \text{ m} \cdot 33.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 88.6 \text{ m} \cdot 18.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 92.96 \text{ m} \cdot 28 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{array} \right)}{21 \text{ m} \cdot 4} = 0.827 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Øvre gurt vertikalt:

Snø:	$S := 3.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.05 = 3.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Vedlegg A2 - Snølast
Vind:	$V := 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.05 = 1.575 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Vedlegg A3 - Vindlast
Fasade:	$F := 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.2 = 1.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Vedlegg A1 - Egenlast
Egenlast tre:	$E_{tre} := q_{tre} \cdot 1.2 = 0.179 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	
Egenlast stål:	$E_{stål} := q_{stål} \cdot 1.2 = 0.992 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	

$$\text{Sum tre: } q_{oppe_tre} := S + V + F + E_{tre} = 6.734 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Sum stål: } q_{oppe_stål} := S + V + F + E_{stål} = 7.547 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Nedre gurt vertikalt:

Nyttelast:	$p := 6.25 \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) \cdot 1.5 = 9.375 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Vind Tog:	$VT := 1.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.05 = 1.313 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$\begin{aligned} \text{Fasade:} & F = 1.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ \text{Egenlast tre:} & E_{tre} = 0.179 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ \text{Egenlast stål:} & E_{stål} = 0.992 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ \text{Sum tre:} & q_{nede_tre} := p + VT + F + E_{tre} = 12.067 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ \text{Sum stål:} & q_{nede_stål} := p + VT + F + E_{stål} = 12.88 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

TOTAL SUM:

$$\begin{aligned} q_{sum_tre} & := q_{oppe_tre} + q_{nede_tre} = 18.801 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ q_{sum_stål} & := q_{oppe_stål} + q_{nede_stål} = 20.427 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

JEVNT FORDELT LASTER
VERTIKALT FOR TRE:

$$\begin{aligned} q_{oppe_tre} & = 6.734 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ q_{nede_tre} & = 12.067 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ q_{sum_tre} & = 18.801 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

JEVNT FORDELT LASTER
VERTIKALT FOR STÅL:

$$\begin{aligned} q_{oppe_stål} & = 7.547 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ q_{nede_stål} & = 12.88 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ q_{sum_stål} & = 20.427 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

Trykk i gurt fra vertikallaster:

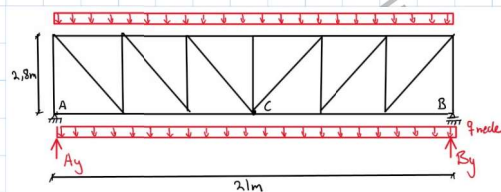
$$L := 21 \text{ m} \quad \text{Høgde mellom gurter:} \quad H := 2.8 \text{ m}$$

$$\Sigma F_z := 0 \text{ og } A_y = B_y$$

$$A_z_{tre} := \frac{L \cdot q_{sum_tre}}{2} = 197.407 \text{ kN}$$

$$A_z_{stål} := \frac{L \cdot q_{sum_stål}}{2} = 214.485 \text{ kN}$$

Prinsippskisser for å finne moment



ΣM
gurten

Plasserer et punkt midt på
ix

Side 2 av 4

$\Sigma M_C=0$; Plasserer et punkt "C" midt på gurten

$$Cx1_{tre} := \frac{Az_{tre} \cdot \frac{L}{2} - q_{sum_tre} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4}}{H} = 370.139 \text{ kN}$$

$$Cx1_{stål} := \frac{Az_{stål} \cdot \frac{L}{2} - q_{sum_stål} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4}}{H} = 402.159 \text{ kN}$$

Trykk i gurt fra horisentallaster (tre og stål):

$\Sigma M_C=0$; Bredde mellom gurter: $B := 2.5 \text{ m}$

$$q_{vind_y} := 4.4 \cdot 1.05 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Vedlegg A3 - Vindlast}$$

$$Ay := \frac{q_{vind_y} \cdot L}{2} = 48.51 \text{ kN}$$

$$Cx2 := \frac{Ay \cdot \frac{L}{2} - q_{vind_y} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4}}{B} = 101.871 \text{ kN}$$

Totalt trykk i overgurt:

$$Nf_{tre} := Cx1_{tre} + Cx2 = 472.01 \text{ kN} \quad \text{ROBOT TRE: 454kN}$$

$$Nf_{stål} := Cx1_{stål} + Cx2 = 504.03 \text{ kN} \quad \text{ROBOT STÅL: 414kN}$$

Momenter overgurt:

$$L_k := 3.5 \text{ m}$$

$$M_{y_tre_oppe} := \frac{q_{oppe_tre} \cdot (L_k)^2}{8} = 10.312 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z_oppe} = \frac{q_{vind_y} \cdot L_k}{8} = 7.074 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z_oppe} := \frac{q_{vind_y} \cdot (L_k)^2}{8} = 7.074 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{y_stål_oppe} := \frac{q_{oppe_stål} \cdot (L_k)^2}{8} = 11.557 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momenter undergurt:

$$M_{y_tre_nede} := \frac{q_{nede_tre} \cdot (L_k)^2}{8} = 18.477 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z} := \frac{q_{vind_y} \cdot (L_k)^2}{8} = 7.074 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{y_stål_nede} := \frac{q_{nede_stål} \cdot (L_k)^2}{8} = 19.722 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Skjærkrefter Overgurt:

$$V_{tre_oppe} := \frac{q_{oppe_tre} \cdot L_k}{2} = 11.785 \text{ kN}$$

$$V_{stål_oppe} := \frac{q_{oppe_stål} \cdot L_k}{2} = 13.208 \text{ kN}$$

Skjærkrefter Undergurt:

$$V_{tre_nede} := \frac{q_{nede_tre} \cdot L_k}{2} = 21.117 \text{ kN}$$

$$V_{stål_nede} := \frac{q_{nede_stål} \cdot L_k}{2} = 22.54 \text{ kN}$$

Overslag Dimensjonering
Etter NS-EN 1993-1-1

Gurt 180x180x6,3 HUP

Tverrsnittsverdier er hentet
fra "Stålkonstruksjoner
profiler og formler"

$$c1 := 180 \text{ mm} - 6.3 \text{ mm} \cdot 2$$

$$c2 := 150 \text{ mm} - 6.3 \text{ mm} \cdot 2$$

$$c3 := 100 \text{ mm} - 6.3 \text{ mm} \cdot 2$$

$$t := 6.3 \text{ mm}$$

$$A := 4.32 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$b := 180 \text{ mm}$$

$$h := 180 \text{ mm}$$

$$N_{ed} := 504 \text{ kN}$$

$$M_{ed_y} := 19.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ed_o} := 11.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ed_z} := 7.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{ed_u} := 22.54 \text{ kN}$$

$$V_{ed_o} := 13.2 \cdot \text{kN}$$

Dimensjonerende laster er hentet fra
beregninger vedlegg Statikk
overslagsberegninger

Tverrsnittsklasser

$$c / t \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c1}{t} = 26.571 \quad 72 \cdot \varepsilon = 58.58$$

Tverrsnittsklasse 1

Regner elastisk tss. og anbefalt for stabilitet.

$$\frac{c2}{t} = 21.81 \quad \frac{c3}{t} = 13.873$$

Kontroll andre relevante
tverrsnitt til oppgaven

$$\gamma_{a0} := 1.1$$

$$\gamma_{a1} := 1.1$$

NA.6.1(1) NS-EN 1993-2

Kontrollerer Undergurt
Bøyning

$$W_{ei} := 239 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{rd} := \frac{f_y}{\gamma_{ma0}} \cdot W_{ei} \quad M_{rd} = 77.132 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (6.4) \text{ NS-EN 1993-2}$$

kvadratisk hullprofil $M_{rdz} = M_{rdy}$

$$U_{my} := \frac{M_{edy_u}}{M_{rd}} \quad U_{my} = 0.255$$

$$U_{mz} := \frac{M_{edz}}{M_{rd}} \quad U_{mz} = 0.092 \quad (6.12)$$

Normalkrefter

$$N_{rd} := A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{ma0}} \quad N_{rd} = (1.394 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad (6.1) \text{ NS-EN 1993-2}$$

$$U_n := \frac{N_{ed}}{N_{rd}} \quad U_n = 0.362 \quad (6.6)$$

Skjærkrefter

$$A_v := \frac{A \cdot h}{(h + b)} \quad (6.2.6.(3) \text{ o})$$

$$V_{plrd} := A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{ma0}} \quad V_{plrd} = 402.466 \text{ kN}$$

$$U_v := \frac{V_{ed_u}}{V_{plrd}} \quad U_v = 0.056 \quad (6.17)$$

$$\frac{V_{plrd}}{2} = 201.233 \text{ kN}$$

6.2.8 (2) Større enn V_{ed} , trenger ikke redusere kapasitet for M_y , M_z og V .

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} + \frac{M_{edy_u}}{M_{rd}} + \frac{M_{edz}}{M_{rd}} = 0.709 \quad \text{Mindre enn 1.0 Ok} \quad (6.2)$$

Kontroll overgurt

Knekking forenklet kontroll

Trykk i overgurt, HUP vipper ikke, kontrollerer knekking

$$Lk := 3500 \text{ mm} \quad I := 21.5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$E := 2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$i := \sqrt{\frac{I}{A}} = 70.547 \text{ mm}$$

$$\lambda := \frac{Lk}{i} \quad \lambda = 49.612$$

$$\lambda_{strek} := \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad \lambda_{strek} = 0.649$$

$$X := 0.88$$

Figur (6.4)

$$N_{brd} := X \cdot N_{rd} \quad N_{brd} = (1.227 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$U_{nk} := \frac{N_{ed}}{N_{brd}} \quad U_{nk} = 0.411$$

Kombinasjon av trykk og moment.

Tillegg B Metode 2:

$$M_{hy} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{edy_o} = 11.6 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{hy2} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$a_y := \frac{M_{hy}}{M_{edy_o}} \quad a_y := 0 \quad \psi := 1$$

$$C_{my} := 0.95 + 0.05 \cdot a_y$$

Tabell B.3.

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \lambda_{strek} \cdot \frac{N_{ed}}{N_{brd}} \right) \quad k_{yy} = 1.102 \quad \text{Velger denne}$$

$$K_{yy} := C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{ed}}{N_{brd}} \right) \quad K_{yy} = 1.184$$

$$k_{zy} := 0.8 \cdot k_{yy} \quad k_{zy} = 0.882$$

z- retning

$$M_{hz} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{edz} = 7.1 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{hz2} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$a_z := 0 \quad \Psi := 1$$

$$C_{mz} := 0.95 + 0.05 a_z \quad \text{Tabell B.3}$$

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \lambda_{strek} \cdot \frac{N_{ed}}{N_{brd}} \right) \quad k_{zz} = 1.102$$

$$K_{zz} := C_{mz} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{ed}}{N_{brd}} \right) \quad K_{zz} = 1.184$$

$$k_{yz} := k_{zz}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{brd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{edy_o}}{1.0 \cdot M_{rd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{edz}}{M_{rd}} = 0.678 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{brd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{edy_o}}{1.0 \cdot M_{rd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{edz}}{M_{rd}} = 0.645 \quad (6.62)$$

Både 6.61 og 6.62 er under 1.0. Gurtene har god nok kapasitet i bruddgrense.

Lastkombinasjoner

Project: Støren bro_hel gurt

Author :

Undergurt

STEEL DESIGN

CODE: *NS-EN 1993-1:2005/NA:2015/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: 1 Undergurt
10.50 m

POINT:

COORDINATE: $x = 0.50 L =$

LOADS:

Governing Load Case: 202 6.10b Sør (1+5+6+13)*1.05+2*1.50+3*1.20

MATERIAL:

S355 (S355) $f_y = 355.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: RHSS 180x180x6.3

$h=180$ mm	$gM0=1.05$	$gM1=1.05$	
$b=180$ mm	$A_y=2165$ mm ²	$A_z=2165$ mm ²	$A_x=4330$ mm ²
$tw=6$ mm	$I_y=21680000$ mm ⁴	$I_z=21680000$ mm ⁴	$I_x=33610000$ mm ⁴
$tf=6$ mm	$W_{ely}=240889$ mm ³	$W_{elz}=240889$ mm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

$N_{,Ed} = -572.10$ kN	$M_{y,Ed} = -10.37$ kN*m	$M_{z,Ed} = 5.29$ kN*m	$V_{y,Ed} = -2.47$ kN
$N_{t,Rd} = 1463.95$ kN	$M_{y,el,Rd} = 81.44$ kN*m	$M_{z,el,Rd} = 81.44$ kN*m	$V_{y,T,Rd} = 421.61$ kN
	$M_{y,c,Rd} = 81.44$ kN*m	$M_{z,c,Rd} = 81.44$ kN*m	$V_{z,Ed} = -21.49$ kN
			$V_{z,T,Rd} = 421.61$ kN
			$T_{t,Ed} = -0.17$ kN*m
			Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:



About z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{,Ed}/N_{t,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.58 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\text{Sig}_{x,Ed})^2 + 3 * (\text{Tau}_{ty,Ed})^2} / (f_y / gM0) = 0.58 < 1.00 \quad (6.2.1(5))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.05 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\text{Tau}_{ty,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\text{Tau}_{tz,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Section OK !!!

Overgurt

STEEL DESIGN

CODE: *NS-EN 1993-1:2005/NA:2015/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: 4 Overgurt
13.86 m

POINT:

COORDINATE: x = 0.66 L =

LOADS:

Governing Load Case: 202 6.10b Sør (1+5+6+13)*1.05+2*1.50+3*1.20

MATERIAL:

S355 (S355) $f_y = 355.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: RHSS 180x180x6.3

h=180 mm	gM0=1.05	gM1=1.05	
b=180 mm	Ay=2165 mm ²	Az=2165 mm ²	Ax=4330 mm ²
tw=6 mm	Iy=21680000 mm ⁴	Iz=21680000 mm ⁴	Ix=33610000 mm ⁴
tf=6 mm	Wely=240889 mm ³	Welz=240889 mm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 389.39 kN	My,Ed = -4.76 kN*m	Mz,Ed = -7.28 kN*m	Vy,Ed = 9.83 kN
Nc,Rd = 1463.95 kN	My,Ed,max = -8.47 kN*m	Mz,Ed,max = -8.70 kN*m	Vy,T,Rd = 422.45 kN
Nb,Rd = 1312.38 kN	My,c,Rd = 81.44 kN*m	Mz,c,Rd = 81.44 kN*m	Vz,Ed = -11.70 kN
			Vz,T,Rd = 422.45 kN
			Tt,Ed = -0.03 kN*m
			Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 3.50 m	Lam_y = 0.58
Lcr,y = 3.15 m	Xy = 0.90
Lamy = 44.52	kyy = 0.99



About z axis:

Lz = 3.50 m	Lam_z = 0.58
Lcr,z = 3.15 m	Xz = 0.90
Lamz = 44.52	kyz = 0.99

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.41 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\text{Sig}_{x,Ed})^2 + 3 * (\text{Tau}_{ty,Ed})^2} / (f_y / gM_0) = 0.41 < 1.00 \quad (6.2.1.(5))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\text{Tau}_{ty,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * gM_0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\text{Tau}_{tz,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * gM_0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$$\text{Lambda}_{y} = 44.52 < \text{Lambda}_{max} = 210.00 \quad \text{Lambda}_{z} = 44.52 < \text{Lambda}_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_y * N_{Rk} / gM_1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max} / (XLT * M_{y,Rk} / gM_1) + k_{yz} * M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / gM_1) = 0.51 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed} / (X_z * N_{Rk} / gM_1) + k_{zy} * M_{y,Ed,max} / (XLT * M_{y,Rk} / gM_1) + k_{zz} * M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / gM_1) = 0.49 < 1.00$$

(6.3.3.(4))

Section OK !!!

Lastkombinasjoner

Project: Støren bro_hel gurt

Author :

Stav V Ende

STEEL DESIGN

CODE: *NS-EN 1993-1:2005/NA:2015/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: 44 Stav V Ende
m

POINT:

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00

LOADS:

Governing Load Case: 202 6.10b Sør (1+5+6+13)*1.05+2*1.50+3*1.20

MATERIAL:

S355 (S355) $f_y = 355.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: RHSS 150x150x6.3

h=150 mm	gM0=1.05	gM1=1.05	
b=150 mm	Ay=1790 mm ²	Az=1790 mm ²	Ax=3580 mm ²
tw=6 mm	Iy=12230000 mm ⁴	Iz=12230000 mm ⁴	Ix=19090000 mm ⁴
tf=6 mm	Wely=163067 mm ³	Welz=163067 mm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 234.76 kN	My,Ed = 10.56 kN*m	Mz,Ed = -15.51 kN*m	Vy,Ed = -10.56 kN
Nc,Rd = 1210.38 kN	My,Ed,max = 10.56 kN*m	Mz,Ed,max = -15.51 kN*m	Vy,T,Rd = 343.71 kN
Nb,Rd = 1064.51 kN	My,c,Rd = 55.13 kN*m	Mz,c,Rd = 55.13 kN*m	Vz,Ed = -6.68 kN
			Vz,T,Rd = 343.71 kN
			Tt,Ed = 0.83 kN*m
			Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 2.80 m	Lam_y = 0.63
Lcr,y = 2.80 m	Xy = 0.88
Lamy = 47.91	kyy = 0.97



About z axis:

Lz = 2.80 m	Lam_z = 0.63
Lcr,z = 2.80 m	Xz = 0.88
Lamz = 47.91	kyz = 0.97

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.67 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\text{Sig}_{x,Ed})^2 + 3 * (\text{Tau}_{ty,Ed})^2} / (f_y / gM0) = 0.67 < 1.00 \quad (6.2.1.(5))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\text{Tau}_{ty,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\text{Tau}_{tz,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$$\text{Lambda}_y = 47.91 < \text{Lambda}_{max} = 210.00 \quad \text{Lambda}_z = 47.91 < \text{Lambda}_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_y * N_{Rk} / gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max} / (XLT * M_{y,Rk} / gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.68 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed} / (X_z * N_{Rk} / gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed,max} / (XLT * M_{y,Rk} / gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.64 < 1.00$$

(6.3.3.(4))

Section OK !!!

Stav V Diagonal

STEEL DESIGN

CODE: NS-EN 1993-1:2005/NA:2015/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 16 Stav V Diagonal

POINT:

COORDINATE: x = 1.00 L = 4.48 m

LOADS:

Governing Load Case: 201 6.10b Nord (1+5+6+4)*1.05+2*1.50+3*1.20

MATERIAL:

S355 (S355) $f_y = 355.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: RHSS 150x150x6.3

h=150 mm	gM0=1.05	gM1=1.05	
b=150 mm	Ay=1790 mm ²	Az=1790 mm ²	Ax=3580 mm ²
tw=6 mm	Iy=12230000 mm ⁴	Iz=12230000 mm ⁴	Ix=19090000 mm ⁴
tf=6 mm	Wely=163067 mm ³	Welz=163067 mm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = -331.15 kN	My,Ed = -0.35 kN*m	Mz,Ed = -5.27 kN*m	Vy,Ed = 1.73 kN
Nt,Rd = 1210.38 kN	My,el,Rd = 55.13 kN*m	Mz,el,Rd = 55.13 kN*m	Vy,T,Rd = 348.55 kN
	My,c,Rd = 55.13 kN*m	Mz,c,Rd = 55.13 kN*m	Vz,Ed = -0.89 kN
			Vz,T,Rd = 348.55 kN
			Tt,Ed = 0.12 kN*m
			Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:



About z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.38 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\text{Sig}_{x,Ed})^2 + 3 \cdot (\text{Tau}_{ty,Ed})^2} / (f_y/gM0) = 0.38 < 1.00 \quad (6.2.1(5))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\text{Tau}_{ty,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\text{Tau}_{tz,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Section OK !!!

Stav H Ende

STEEL DESIGN

CODE: *NS-EN 1993-1:2005/NA:2015/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 43 Stav H Ende

POINT:

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 202 6.10b Sør (1+5+6+13)*1.05+2*1.50+3*1.20

MATERIAL:

S355 (S355) $f_y = 355.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: RHSS 100x100x6.3

h=100 mm	gM0=1.05	gM1=1.05	
b=100 mm	Ay=1160 mm ²	Az=1160 mm ²	Ax=2320 mm ²
tw=6 mm	Iy=3360000 mm ⁴	Iz=3360000 mm ⁴	Ix=5340000 mm ⁴
tf=6 mm	Wely=67200 mm ³	Welz=67200 mm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 10.21 kN	My,Ed = -14.14 kN*m	Mz,Ed = 1.13 kN*m	Vy,Ed = 1.04 kN
Nc,Rd = 784.38 kN	My,Ed,max = -14.14 kN*m	Mz,Ed,max = -1.47 kN*m	Vy,T,Rd = 223.49 kN
Nb,Rd = 596.01 kN	My,c,Rd = 22.72 kN*m	Mz,c,Rd = 22.72 kN*m	Vz,Ed = 11.44 kN
			Vz,T,Rd = 223.49 kN
			Tt,Ed = -0.28 kN*m
			Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

L _y = 2.50 m	Lam _y = 0.86
L _{cr,y} = 2.50 m	X _y = 0.76
Lam _y = 65.69	k _{yy} = 0.91



About z axis:

L _z = 2.50 m	Lam _z = 0.86
L _{cr,z} = 2.50 m	X _z = 0.76
Lam _z = 65.69	k _{yz} = 0.91

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.69 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\text{Sig}_{x,Ed})^2 + 3 * (\text{Tau}_{ty,Ed})^2} / (f_y / g_{M0}) = 0.69 < 1.00 \quad (6.2.1(5))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.05 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\text{Tau}_{ty,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\text{Tau}_{tz,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$\lambda_{y} = 65.69 < \lambda_{y,max} = 210.00$ $\lambda_{z} = 65.69 < \lambda_{z,max} = 210.00$ STABLE
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.64 < 1.00$
(6.3.3.(4))
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.53 < 1.00$
(6.3.3.(4))

Section OK !!!

Stav H Diagonal

STEEL DESIGN

CODE: NS-EN 1993-1:2005/NA:2015/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 19 Stav H Diagonal

POINT:

COORDINATE: x = 1.00 L = 4.30

LOADS:

Governing Load Case: 202 6.10b Sør (1+5+6+13)*1.05+2*1.50+3*1.20

MATERIAL:

S355 (S355) $f_y = 355.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: RHSS 100x100x6.3

h=100 mm	$g_{M0}=1.05$	$g_{M1}=1.05$	
b=100 mm	$A_y=1160$ mm ²	$A_z=1160$ mm ²	$A_x=2320$ mm ²
tw=6 mm	$I_y=3360000$ mm ⁴	$I_z=3360000$ mm ⁴	$I_x=5340000$ mm ⁴
tf=6 mm	$W_{ely}=67200$ mm ³	$W_{elz}=67200$ mm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

$N_{Ed} = 113.98$ kN	$M_{y,Ed} = 3.49$ kN*m	$M_{z,Ed} = 0.46$ kN*m	$V_{y,Ed} = -0.14$ kN
$N_{c,Rd} = 784.38$ kN	$M_{y,Ed,max} = 3.49$ kN*m	$M_{z,Ed,max} = 0.46$ kN*m	$V_{y,T,Rd} = 223.99$ kN
$N_{b,Rd} = 299.14$ kN	$M_{y,c,Rd} = 22.72$ kN*m	$M_{z,c,Rd} = 22.72$ kN*m	$V_{z,Ed} = 1.11$ kN
			$V_{z,T,Rd} = 223.99$ kN
			$T_{t,Ed} = -0.23$ kN*m
			Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

$L_y = 4.30$ m	$\lambda_{m,y} = 1.48$
$L_{cr,y} = 4.30$ m	$X_y = 0.38$
$\lambda_{m,y} = 113.02$	$k_{yy} = 1.20$



About z axis:

$L_z = 4.30$ m	$\lambda_{m,z} = 1.48$
$L_{cr,z} = 4.30$ m	$X_z = 0.38$
$\lambda_{m,z} = 113.02$	$k_{yz} = 1.20$

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.32 < 1.00$ (6.2.1(7))

$$\sqrt{(\text{Sig},x,\text{Ed})^2 + 3*(\text{Tau},\text{ty},\text{Ed})^2}/(\text{fy}/\text{gM0}) = 0.32 < 1.00 \quad (6.2.1.(5))$$

$$V_y,\text{Ed}/V_y,\text{T},\text{Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_z,\text{Ed}/V_z,\text{T},\text{Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\text{Tau},\text{ty},\text{Ed}/(\text{fy}/(\sqrt{3})*\text{gM0}) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\text{Tau},\text{tz},\text{Ed}/(\text{fy}/(\sqrt{3})*\text{gM0}) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$$\text{Lambda},y = 113.02 < \text{Lambda},\text{max} = 210.00 \quad \text{Lambda},z = 113.02 < \text{Lambda},\text{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N,\text{Ed}/(X_y*N,\text{Rk}/\text{gM1}) + k_{yy}*M_y,\text{Ed},\text{max}/(\text{XLT}*M_y,\text{Rk}/\text{gM1}) + k_{yz}*M_z,\text{Ed},\text{max}/(M_z,\text{Rk}/\text{gM1}) = 0.59 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N,\text{Ed}/(X_z*N,\text{Rk}/\text{gM1}) + k_{zy}*M_y,\text{Ed},\text{max}/(\text{XLT}*M_y,\text{Rk}/\text{gM1}) + k_{zz}*M_z,\text{Ed},\text{max}/(M_z,\text{Rk}/\text{gM1}) = 0.55 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Section OK !!!

5.3.3 Overslag N-knutepunkt med gap

Etter Norsk stålforbunds detaljhåndbok - stavforbindelser

$$\begin{array}{lll}
 b_i := 150 \text{ mm} & h_i := b_i & h_1 = h_2, b_1 = b_2 \\
 b_0 := 180 \text{ mm} & h_0 := b_0 & \\
 t := 6.3 \text{ mm} & g := 30 \text{ mm} & \beta := \frac{b_i}{b_0}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 f_y := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & A_0 := 4320 \text{ mm}^2 & A_i := 2860 \text{ mm}^2
 \end{array}$$

$$\begin{array}{llll}
 \gamma_{M5} := 1.0 & \gamma_{M0} := 1.05 & \gamma_{M2} := 1.25 & \beta_w := 0.9
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 W_{pl} := 280000 \text{ mm}^3 & f_u := 470 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 N_0 := 260 \text{ kN} & N_1 := 230 \text{ kN} & N_2 := -330 \text{ kN}
 \end{array}$$

$$e := \left(\frac{b_i}{2 \cdot \sin(90^\circ)} + \frac{b_i}{2 \cdot \sin(39^\circ)} + g \right) \cdot \frac{\sin(90^\circ) \cdot \sin(39^\circ)}{\sin(90^\circ + 39^\circ)} \cdot \frac{b_0}{2} \quad e = 91.53 \text{ mm} \quad (2)$$

5.3.3.1 Kapasitet med hensyn på brudd i gurtflens (a)

$$n := \frac{N_0}{\gamma_{M5} \cdot f_y \cdot A_0} \quad n = 0.17 > 0 \quad (13)$$

$$kn := 1.3 - 0.4 \cdot \frac{n}{\beta} \quad kn = 1.22 < 1.0, kn = 1.0 \quad (12)$$

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t}$$

NS-EN 1993-1-8. Ulik formel i detaljhåndboken. kontroll likt resultat: ok

$$N_{S1.Rd} := \frac{\left(\frac{8.9 \text{ kn} \cdot f_y \cdot t^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin(90)} \right) \cdot \left(\frac{b_i + b_i + h_i + h_i}{4 b_0} \right)}{\gamma M_5} \quad N_{S1.Rd} = 538.4 \text{ kN}$$

$$N_{1.Rd} := \frac{1.57 \cdot \text{kn} \cdot f_y \cdot t \cdot \sqrt{\frac{t}{b_0}} \cdot (b_i + b_i + h_i + h_i)}{\sin(90) \cdot \gamma M_5} \quad N_{1.Rd} = 537.26 \text{ kN}$$

$$N_{2.Rd} := \frac{1.57 \cdot \text{kn} \cdot f_y \cdot t \cdot \sqrt{\frac{t}{b_0}} \cdot (b_i + b_i + h_i + h_i)}{\sin(39) \cdot \gamma M_5} \quad N_{2.Rd} = 498.35 \text{ kN}$$

$$N_{1.Rd} > N_1 \text{ og } N_{2.Rd} > N_2. \text{ Ok!} \quad (24)$$

5.3.3.2 Kapasitet med hensyn til utrivningsbrudd (b) siden:

$$b_0 - 2 \cdot t = 167.4 \text{ mm} > b_i = 150 \text{ mm}$$

$$b_{e.p} := \frac{10}{\left(\frac{b_0}{t} \right)} \cdot b_i \quad b_{e.p} = 52.5 \text{ mm} < b_i = 150 \text{ mm} \quad (26)$$

$$N_{1.Rd} := \frac{f_y \cdot t}{\sqrt[2]{3} \cdot \sin(90) \cdot \gamma M_5} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_i}{\sin(90)} + b_i + b_{e.p} \right) \quad N_{1.Rd} = 777.16 \text{ kN}$$

$$N_{2.Rd} := \frac{f_y \cdot t}{\sqrt[2]{3} \cdot \sin(39) \cdot \gamma M_5} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_i}{\sin(39)} + b_i + b_{e.p} \right) \quad N_{2.Rd} = 688.32 \text{ kN}$$

$$N_{1.Rd} > N_1 \text{ og } N_{2.Rd} > N_2. \text{ Ok!} \quad (25)$$

5.3.3.3 Kapasitet med hensyn til brudd i diagonal (c)
Begge diagonaler har lik profil

$$b_{eff} := \frac{10}{\left(\frac{b_0}{t}\right)} \cdot \frac{f_y \cdot t}{f_y \cdot t} \cdot b_i \quad b_{eff} = 52.5 \text{ mm} < b_i \quad (28)$$

$$N_{iRd} := \frac{f_y \cdot t \cdot (2 \cdot h_i - 4 \cdot t + b_i + b_{eff})}{\gamma M_5} \quad N_{iRd} = (1.07 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad (27)$$

$N_{iRd} > N_1$ og N_2 ok!

5.3.3.4 Kapasitet med hensyn til skjærbrudd i gurt (f)

$$\alpha := \frac{1}{\sqrt[2]{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t^2}}} \quad \alpha = 0.18 \quad (31)$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t \quad A_v = (2.47 \cdot 10^3) \text{ mm}^2 \quad (30)$$

$$N_{1.Rd} := \frac{f_y \cdot A_v}{\sqrt[2]{3} \cdot \sin(90) \cdot \gamma M_5} \quad N_{1.Rd} = 566.48 \text{ kN} \quad (29)$$

$N_{1.Rd} > N_1$ Ok!

5.3.3.5 Gurten bør kontrolleres for kombinasjon av aksialkraft og skjærkraft:

$$N_{0.Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma M_5} \cdot \left(\frac{A_0 - A_v}{A_v} + \sqrt[2]{1 - \left(\frac{\gamma M_0 \cdot \sqrt[2]{3} \cdot N_1 \cdot \sin(90)}{A_v \cdot f_y} \right)^2} \right) \quad (32)$$

$$N_{0.Rd} = (1.45 \cdot 10^3) \text{ kN} > N_0 = 290 \text{ kN ok!}$$

5.3.3.6 Dimensjonerende momentkapasitet i fagverksplanet

$$Mip.Ed := N0 \cdot e$$

$$Mip.Ed = 23.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Medy := Mip.Ed + 3.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Medz := 0.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Mip.Rd := Wpl \cdot fy$$

(4)

$$\frac{N0}{N0.Rd} + \frac{Medy}{Mip.Rd} + \frac{Medz}{Mip.Rd} = 0.46$$

< 1.0 Hele momentet overføres av gurten

5.3.3.7 Sveiser

$$a := \sqrt[2]{2 \cdot t \cdot \frac{\beta w \cdot \gamma M2 \cdot fy}{\gamma M0 \cdot fu}} \quad a = 7.21 \text{ mm} \quad (37)$$

8mm kontinuerlig kilsveis

$$\frac{N0}{N0.Rd \cdot 0.9} + \frac{Medy}{Mip.Rd \cdot 0.9} + \frac{Medz}{Mip.Rd \cdot 0.9} = 0.51$$

Kontroll overgurt i trykk - Overslagsberegning

Verste lasttilfell ULS 6.10b

Referer til EK5

Høgde mellom gurter:

$$L := 21 \text{ m} \quad H := 2.8 \text{ m} \quad q_{oppe} := 6.734 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Hentet fra Vedlegg A4 - Overslag laster}$$

$$b := 215 \text{ mm} \quad h := 250 \text{ mm} \quad q_{nede} := 12.067 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Hentet fra Vedlegg A4 - Overslag laster}$$

$$q_{vind_y} := 4.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.05 \quad \text{Hentet fra Vedlegg A3 - Vindlast}$$

$$N_{f_tre} := 472 \text{ kN} \quad \text{Hentet fra Vedlegg A4 - Overslag laster}$$

6.3.2 Søyler utsatt for trykk eller en kombinasjon av trykk og bøyning

$$f_{c0k} := 24.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad E_{005} := 10800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{m0k} := 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$L_k := 3500 \text{ mm}$$

$$k_{mod} := 1.1$$

$$L_{ky} := 3500 \cdot \text{mm}$$

$$\gamma_m := 1.15 \text{ Limtre}$$

$$k_h := 1.1$$

$$L_{kz} := 3500 \text{ mm}$$

$$k_m := 0.7 \text{ Rektangulært tversnitt:}$$

$$A := b \cdot h = (5.375 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$\beta_c := 0.1 \text{ Limtre}$$

$$I_y := \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = (2.799 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$I_z := \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = (2.07 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 72.169 \text{ mm}$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 62.065 \text{ mm}$$

$$\lambda_y := \frac{L_{ky}}{i_y} = 48.497$$

$$\lambda_z := \frac{L_{kz}}{i_z} = 56.392$$

$$(6.21) \quad \lambda_{rel y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{005}}} = 0.735$$

$$\lambda_{rel z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{005}}} = 0.855$$

$$(6.22) \quad \lambda_{relz} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{005}}} = 0.855$$

$$f_{myd} := f_{m0k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 28.696 \text{ MPa} \quad f_{mzd} := f_{m0k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 28.696 \text{ MPa}$$

$$M_y := \frac{q_{oppe} \cdot (L_k)^2}{8} = 10.311 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_z := \frac{q_{vind_y} \cdot (L_k)^2}{8} = 7.074 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$W_y := \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 2.24 \text{ L}$$

$$W_z := \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = 1.926 \text{ L}$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_y}{W_y} = 4.604 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{mzd} := \frac{M_z}{W_z} = 3.673 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c0d} := \frac{N f_{tre}}{A} = 8.781 \text{ MPa}$$

$$f_{c0d} := f_{c0k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 23.435 \text{ MPa}$$

$$(6.27) \quad k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rely} - 0.3) + \lambda_{rely}^2) = 0.792$$

$$(6.25) \quad k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rely}^2}} = 0.92$$

$$(6.28) \quad k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{relz} - 0.3) + \lambda_{relz}^2) = 0.893$$

$$k_{cz} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{relz}^2}} = 0.868$$

$$(6.23) \quad \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.657 < 1.0 \text{ OK!}$$

$$(6.24) \quad \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.672 < 1.0 \text{ OK!}$$

Knekking med faktor k_h for sammenlikning:

$$(6.23) \quad \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd} \cdot k_h} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd} \cdot k_h} = 0.634$$

$$(6.24) \quad \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd} \cdot k_h} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd} \cdot k_h} = 0.65$$

Utrekning av k_h -faktor:

$$(3.2) \quad k_h := \left(\frac{600}{250} \right)^{0.1} = 1.091 < 1.1 \quad k_h = 1.091$$

Robot har benyttet 1.1. Benytter derfor 1.1 for å sammenligne

Knekking OK!

6.3.3 Bjelker utsatt for bøyning eller en kombinasjon av bøyning og trykk

Tab 6.1 $l_{ef} := L \cdot 0.9 + 2 h = 19.4 \text{ m}$

$$G_{005} := 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad I_{tor} := 330666667 \text{ mm}^4$$

$$(6.31) \quad \sigma_{m_{crit1}} := \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{005} \cdot I_z \cdot G_{005} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} = 45.69 \text{ MPa}$$

$$(6.32) \quad \sigma_{m_{crit}} := \frac{0.78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{005} = 80.289 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{relm} := \sqrt{\frac{f_{m0k}}{\sigma_{m_{crit1}}}} = 0.81$$

Velger $\sigma_{m_{crit1}}$ tss

$$(6.34) \quad k_{crit} := 1.56 - 0.75 \lambda_{relm} = 0.952$$

$$(6.33) \quad \sigma_{myd} = 4.604 \text{ MPa} < k_{crit} \cdot f_{myd} = 27.326 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

$$\left(\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} = 0.46$$

Side 3 av 3

$$(6.35) \quad \left(\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} = 0.46 \quad \text{OK!}$$

OK for vipping!

6.7.1 Skjær $f_{vk} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$

$$V_{fy} := \frac{q_{oppe} \cdot L_k}{2} \quad \text{tss}$$

$$V_{fz} := \frac{q_{vind} \cdot y \cdot L_k}{2}$$

(6.13 a) $b_{ef} := 0.67 \cdot b$

$$\tau_{dy} := 1.5 \cdot \frac{V_{fy}}{b_{ef} \cdot h} = 0.491 \text{ MPa}$$

$$\tau_{dz} := 1.5 \cdot \frac{V_{fz}}{b_{ef} \cdot h} = 0.337 \text{ MPa}$$

$$f_{vy} := f_{vk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 3.348 \text{ MPa}$$

$$f_{vz} := f_{vk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 3.348 \text{ MPa}$$

(6.13) $\frac{\tau_{dy}}{f_{vy}} = 0.147 < 1.0 \text{ OK!}$

$$\frac{\tau_{dz}}{f_{vz}} = 0.101$$

Kontroll av undergurt i strekk

Verste lasttilfelle ULS 6.10b u/vind

Refererer til EK5

Høgdje mellom gurter:

$$L := 21 \text{ m} \quad H := 2.8 \text{ m} \quad q_{oppe} := 6.734 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Hentet fra Vedlegg A4 - Overslag laster}$$
$$b := 215 \text{ mm} \quad h := 250 \text{ mm} \quad q_{nede} := 12.067 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Hentet fra Vedlegg A4 - Overslag laster}$$
$$A := b \cdot h$$

Strekk i gurt fra vertikallaster:

$$q_{sum} := 18.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Hentet fra Vedlegg A4 - Overslag laster}$$

$$\Sigma F_z := 0 \text{ og } A_y = B_y$$

$$A_z := \frac{L \cdot q_{sum}}{2} = 197.4 \text{ kN}$$

$\Sigma M_C = 0$; Plasserer et punkt "C" midt på gurten

$$C_{x1} := \frac{-A_z \cdot \frac{L}{2} + q_{sum} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4}}{H} = -370.125 \text{ kN}$$

Strekk i gurt fra horisontallaster:

$\Sigma M_C = 0$; Bredder mellom gurter:

$$B := 2.5 \text{ m}$$

$$q_{vind_y} := 4.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.05$$

$$A_y := \frac{q_{vind_y} \cdot L}{2} = 48.51 \text{ kN}$$

$$C_{x2} := \frac{-A_y \cdot \frac{L}{2} + q_{vind_y} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4}}{B} = -101.871 \text{ kN}$$

Totalt strekk i undergurt:

$$N_f := Cx_1 + Cx_2 = -471.996 \text{ kN} \quad \text{ROBOT: } -485 \text{ kN}$$

$$\sigma_{tod} := \frac{N_f}{A} = -8.781 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{tok} := 19.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_{mod} := 1.1$$

$$L_k := 3500 \text{ mm}$$

$$\gamma_m := 1.15 \text{ Limtre}$$

$$f_{m0k} := 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_m := 0.7 \text{ Rektangulært tversnitt:}$$

$$k_h := 1.1$$

$$\beta_c := 0.1 \text{ Limtre}$$

$$f_{tod} := f_{tok} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 18.652 \text{ MPa} > \sigma_{tod} \text{ OK!}$$

$$M_y := \frac{q_{nede} \cdot (L_k)^2}{8} = 18.478 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_z := \frac{q_{vind_y} \cdot (L_k)^2}{8} = 7.074 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$W_y := \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2$$

$$W_z := \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_y}{W_y} = 8.25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{mzd} := \frac{M_z}{W_z} = 3.673 \text{ MPa}$$

$$f_{myd} := f_{m0k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 28.696 \text{ MPa}$$

$$f_{mzd} := f_{m0k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 28.696 \text{ MPa}$$

6.2.3 Kombinert bøyning og aksialt strekk

$$(6.17) \quad \frac{-\sigma_{tod}}{f_{tod}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.848 < 1,0 \text{ OK!}$$

$$(6.18) \quad \frac{-\sigma_{tod}}{f_{tod}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.8 < 1,0 \text{ OK!}$$

Med k_h for sammenlikning:

Utrekning av k_h -faktor:

$$(3.2) \quad k_h := \left(\frac{600}{215} \right)^{0.1} = 1.108 < 1.1 \quad k_h = 1.1$$

$$(6.17) \quad \frac{-\sigma_{tod}}{f_{tod} \cdot k_h} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd} \cdot k_h} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd} \cdot k_h} = 0.765$$

TITLE PAGE

Project: Støren bro_tre

Author :

Unergurt

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 1 Unergurt

POINT: 3

COORDINATE: $x = 0.50 L = 10.50 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 205 6.10b YS (1+2)*1.20+3*1.50+(4+5+7+8)*1.05

MATERIAL GL30c

$g_M = 1.15$

$f_{m,0,k} = 30.000 \text{ MPa}$

$f_{t,0,k} = 19.500 \text{ MPa}$

$f_{c,0,k} = 24.500 \text{ MPa}$

$f_{v,k} = 3.500 \text{ MPa}$

$f_{t,90,k} = 0.500 \text{ MPa}$

$f_{c,90,k} = 2.500 \text{ MPa}$

$E_{0,moyen} = 13000.000 \text{ MPa}$

$E_{0,05} = 10800.000 \text{ MPa}$

$G_{moyen} = 650.000 \text{ MPa}$

Service class: 1

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: 215x250

$h_t = 250 \text{ mm}$

$b_f = 215 \text{ mm}$

$t_w = 108 \text{ mm}$

$t_f = 108 \text{ mm}$

$A_y = 35833 \text{ mm}^2$

$I_y = 279947917 \text{ mm}^4$

$W_y = 2239583 \text{ mm}^3$

$A_z = 35833 \text{ mm}^2$

$I_z = 207049479 \text{ mm}^4$

$W_z = 1926042 \text{ mm}^3$

$A_x = 53750 \text{ mm}^2$

$I_x = 379480285 \text{ mm}^4$

STRESSES

$\text{Sig}_{t,0,d} = N/A_x = -485.144/53750 = -9.026 \text{ MPa}$

$\text{Sig}_{m,y,d} = MY/W_y = -11.965/2239583 = -5.343 \text{ MPa}$

$\text{Sig}_{m,z,d} = MZ/W_z = -1.778/1926042 = -0.923 \text{ MPa}$

$\text{Tau}_{y,d} = 1.5 * 2.793/53750 = 0.078 \text{ MPa}$

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5 * -23.007/53750 = -0.642 \text{ MPa}$

$\text{Tau}_{tory,d} = 0.368 \text{ MPa}$, $\text{Tau}_{torz,d} = 0.389 \text{ MPa}$

ALLOWABLE STRESSES

$f_{t,0,d} = 20.517 \text{ MPa}$

$f_{m,y,d} = 31.321 \text{ MPa}$

$f_{m,z,d} = 31.565 \text{ MPa}$

$f_{v,d} = 3.348 \text{ MPa}$

Factors and additional parameters

$k_m = 0.70$

$k_h = 1.10$

$k_{mod} = 1.10$

$K_{sys} = 1.00$

$k_{cr} = 0.67$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$l_{ef} = 18.90 \text{ m}$

$\text{Lambda}_{rel m} = 0.77$

$\text{Sig}_{cr} = 50.241 \text{ MPa}$

$k_{crit} = 0.98$

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{t,0,d}/f_{t,0,d} + \text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} + k_m * \text{Sig}_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0.63 < 1.00 \text{ (6.17)}$

$\text{Sig}_{m,y,d}/(k_{crit} * f_{m,y,d}) = 5.343/(0.98 * 31.321) = 0.17 < 1.00 \text{ (6.33)}$

$(\text{Tau}_{y,d}/k_{cr} + \text{Tau}_{tory,d}/k_{shape})/f_{v,d} = 0.14 < 1.00 \quad (\text{Tau}_{z,d}/k_{cr} + \text{Tau}_{torz,d}/k_{shape})/f_{v,d} = 0.40 < 1.00 \text{ (6.13-4)}$

Section OK !!!

Overgurt

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 2 Overgurt

POINT: 3

COORDINATE: x = 0.58 L = 12.25 m

LOADS:

Governing Load Case: 201 6.10b YN (1+2)*1.20+(4+8+6+7)*1.05+3*1.50

MATERIAL GL30c

gM = 1.15

f m,0,k = 30.000 MPa

f t,0,k = 19.500 MPa

f c,0,k = 24.500 MPa

f v,k = 3.500 MPa

f t,90,k = 0.500 MPa

f c,90,k = 2.500 MPa

E 0,moyen = 13000.000 MPa

E 0,05 = 10800.000 MPa

G moyen = 650.000 MPa

Service class: 1

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: 215x250

ht=250 mm

bf=215 mm

tw=108 mm

tf=108 mm

Ay=35833 mm²

Iy=279947917 mm⁴

Wy=2239583 mm³

Az=35833 mm²

Iz=207049479 mm⁴

Wz=1926042 mm³

Ax=53750 mm²

Ix=379480285 mm⁴

STRESSES

Sig_{c,0,d} = N/Ax = 453.117/53750 = 8.430 MPa

Sig_{m,y,d} = MY/Wy = 4.751/2239583 = 2.122 MPa

Sig_{m,z,d} = MZ/Wz = 7.277/1926042 = 3.778 MPa

Tau_{y,d} = 1.5*9.407/53750 = 0.263 MPa

Tau_{z,d} = 1.5*-1.145/53750 = -0.032 MPa

Tau_{tory,d} = 0.371 MPa, Tau_{torz,d} = 0.393 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{c,0,d} = 23.435 MPa

f_{m,y,d} = 31.321 MPa

f_{m,z,d} = 31.565 MPa

f_{v,d} = 3.348 MPa

Factors and additional parameters

km = 0.70

kh = 1.10

kmod = 1.10

Ksys = 1.00

kcr = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

l_{ef} = 18.90 m

Lambda_{rel m} = 0.77

Sig_{cr} = 50.241 MPa

k_{crit} = 0.98

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

LY = 3.50 m

Lambda_{rel Y} = 0.74

LFY = 3.50 m

Lambda Y = 48.50

ky = 0.79

key = 0.92

About Z axis:

LZ = 3.50 m

Lambda_{rel Z} = 0.85

LFZ = 3.50 m

Lambda Z = 56.39

kz = 0.89

kez = 0.87

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{c,0,d}/(k_c*f_{c,0,d}) + km*Sig_{m,y,d}/f_{m,y,d} + Sig_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0.58 < 1.00 (6.24)

Sig_{c,0,d}/(k_c*f_{c,0,d}) + (Sig_{m,y,d}/(k_{crit}*f_{m,y,d}))^2 = 8.430/(0.87*23.435) + (2.122/(0.98*31.321))^2 = 0.42 < 1.00 (6.35)

(Tau_{y,d}/kcr+Tau_{tory,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.22 < 1.00 (Tau_{z,d}/kcr+Tau_{torz,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.13 < 1.00 (6.13-4)

Section OK !!!

TITLE PAGE

Project: Støren bro_tre

Author :

Stav V Ende

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 18 Stav V Ende

POINT: 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 201 6.10b YN (1+2)*1.20+(4+8+6+7)*1.05+3*1.50

MATERIAL GL30c

gM = 1.15

f m,0,k = 30.000 MPa

f t,0,k = 19.500 MPa

f c,0,k = 24.500 MPa

f v,k = 3.500 MPa

f t,90,k = 0.500 MPa

f c,90,k = 2.500 MPa

E 0,moyen = 13000.000 MPa

E 0,05 = 10800.000 MPa

G moyen = 650.000 MPa

Service class: 1

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: 215x215

ht=215 mm

bf=215 mm

tw=108 mm

tf=108 mm

Ay=30817 mm²

Iy=178062552 mm⁴

Wy=1656396 mm³

Az=30817 mm²

Iz=178062552 mm⁴

Wz=1656396 mm³

Ax=46225 mm²

Ix=300391001 mm⁴

STRESSES

Sig_{c,0,d} = N/Ax = 220.163/46225 = 4.763 MPa

Sig_{m,y,d} = MY/Wy = 10.400/1656396 = 6.279 MPa

Sig_{m,z,d} = MZ/Wz = 28.399/1656396 = 17.145 MPa

Tau_{y,d} = 1.5*-19.994/46225 = -0.649 MPa

Tau_{z,d} = 1.5*-6.745/46225 = -0.219 MPa

Tau_{tory,d} = 0.058 MPa, Tau_{torz,d} = 0.058 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{c,0,d} = 23.435 MPa

f_{m,y,d} = 31.565 MPa

f_{m,z,d} = 31.565 MPa

f_{v,d} = 3.348 MPa

Factors and additional parameters

km = 0.70

kh = 1.10

kmod = 1.10

Ksys = 1.00

kcr = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

LY = 2.80 m

Lambda_{rel} Y = 0.68

LFY = 2.80 m

Lambda Y = 45.11

ky = 0.75

key = 0.94

About Z axis:

LZ = 2.80 m

Lambda_{rel} Z = 0.68

LFZ = 2.80 m

Lambda Z = 45.11

kz = 0.75

kcz = 0.94

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{c,0,d}/(kc_z*f_{c,0,d}) + km*Sig_{m,y,d}/f_{m,y,d} + Sig_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0.90 < 1.00 (6.24)

(Tau_{y,d}/kcr+Tau_{tory,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.31 < 1.00
(6.13-4)

(Tau_{z,d}/kcr+Tau_{torz,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.11 < 1.00

Section OK !!!

Stav H Ende

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 6 Stav H Ende

POINT: 3

COORDINATE: x = 1.00 L = 2.50 m

LOADS:

Governing Load Case: 201 6.10b YN (1+2)*1.20+(4+8+6+7)*1.05+3*1.50

MATERIAL GL30c

gM = 1.15

f m,0,k = 30.000 MPa

f t,0,k = 19.500 MPa

f c,0,k = 24.500 MPa

f v,k = 3.500 MPa

f t,90,k = 0.500 MPa

f c,90,k = 2.500 MPa

E 0,moyen = 13000.000 MPa

E 0,05 = 10800.000 MPa

G moyen = 650.000 MPa

Service class: 1

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: 215x215

ht=215 mm

bf=215 mm

tw=108 mm

tf=108 mm

Ay=30817 mm²

Iy=178062552 mm⁴

Wy=1656396 mm³

Az=30817 mm²

Iz=178062552 mm⁴

Wz=1656396 mm³

Ax=46225 mm²

Ix=300391001 mm⁴

STRESSES

Sig_{m,y,d} = MY/Wy = -27.092/1656396 = -16.356 MPa

Sig_{m,z,d} = MZ/Wz = -13.968/1656396 = -8.433 MPa

Tau_{y,d} = 1.5*11.185/46225 = 0.363 MPa

Tau_{z,d} = 1.5*-21.889/46225 = -0.710 MPa

Tau_{tory,d} = 0.027 MPa, Tau_{torz,d} = 0.027 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{m,y,d} = 31.565 MPa

f_{m,z,d} = 31.565 MPa

f_{v,d} = 3.348 MPa

Factors and additional parameters

km = 0.70

kh = 1.10

kmod = 1.10

Ksys = 1.00

kcr = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{m,y,d}/f_{m,y,d} + km*Sig_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 16.356/31.565 + 0.70*8.433/31.565 = 0.71 < 1.00 (6.11)

(Tau_{y,d}/kcr+Tau_{tory,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.17 < 1.00

(Tau_{z,d}/kcr+Tau_{torz,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.32 < 1.00

(6.13-4)

Section OK !!!

Diagonal V

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 71 Diagonal V POINT: 1 COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 205 6.10b YS (1+2)*1.20+3*1.50+(4+5+7+8)*1.05

MATERIAL GL30c

gM = 1.15 f m,0,k = 30.000 MPa f t,0,k = 19.500 MPa f c,0,k = 24.500 MPa
f v,k = 3.500 MPa f t,90,k = 0.500 MPa f c,90,k = 2.500 MPa E 0,moyen = 13000.000 MPa
E 0,05 = 10800.000 MPa G moyen = 650.000 MPa Service class: 1 Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: 215x215

ht=215 mm Ay=30817 mm² Az=30817 mm² Ax=46225 mm²
bf=215 mm Iy=178062552 mm⁴ Iz=178062552 mm⁴ Ix=300391001 mm⁴
tw=108 mm Wy=1656396 mm³ Wz=1656396 mm³
tf=108 mm

STRESSES

Sig_{t,0,d} = N/Ax = -289.248/46225 = -6.257 MPa
Sig_{m,y,d} = MY/Wy = -0.956/1656396 = -0.577 MPa
Sig_{m,z,d} = MZ/Wz = -4.470/1656396 = -2.699 MPa
Tau_{y,d} = 1.5*1.286/46225 = 0.042 MPa
Tau_{z,d} = 1.5*0.087/46225 = 0.003 MPa
Tau_{tory,d} = 0.036 MPa, Tau_{torz,d} = 0.036 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{t,0,d} = 20.517 MPa
f_{m,y,d} = 31.565 MPa
f_{m,z,d} = 31.565 MPa
f_{v,d} = 3.348 MPa

Factors and additional parameters

km = 0.70 kh = 1.10 kmod = 1.10 Ksys = 1.00 kcr = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{t,0,d}/f_{t,0,d} + km*Sig_{m,y,d}/f_{m,y,d} + Sig_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0.40 < 1.00 (6.18)

(Tau_{y,d}/kcr+Tau_{tory,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.03 < 1.00 (Tau_{z,d}/kcr+Tau_{torz,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.01 < 1.00
(6.13-4)

Section OK !!!

Diagonal H

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 113 Diagonal H **POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 201 6.10b YN (1+2)*1.20+(4+8+6+7)*1.05+3*1.50

MATERIAL GL30c

gM = 1.15	f m,0,k = 30.000 MPa	f t,0,k = 19.500 MPa	f c,0,k = 24.500 MPa
f v,k = 3.500 MPa	f t,90,k = 0.500 MPa	f c,90,k = 2.500 MPa	E 0,moyen = 13000.000 MPa
E 0,05 = 10800.000 MPa	G moyen = 650.000 MPa	Service class: 1	Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: 215x215

ht=215 mm	Ay=30817 mm ²	Az=30817 mm ²	Ax=46225 mm ²
bf=215 mm	Iy=178062552 mm ⁴	Iz=178062552 mm ⁴	Ix=300391001 mm ⁴
tw=108 mm	Wy=1656396 mm ³	Wz=1656396 mm ³	
tf=108 mm			

STRESSES

Sig_{t,0,d} = N/Ax = -74.408/46225 = -1.610 MPa
Sig_{m,y,d} = MY/Wy = -0.354/1656396 = -0.214 MPa
Sig_{m,z,d} = MZ/Wz = -4.407/1656396 = -2.661 MPa
Tau_{y,d} = 1.5*1.490/46225 = 0.048 MPa
Tau_{z,d} = 1.5*0.196/46225 = 0.006 MPa
Tau_{tory,d} = 0.020 MPa, Tau_{torz,d} = 0.020 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{t,0,d} = 20.517 MPa
f_{m,y,d} = 31.565 MPa
f_{m,z,d} = 31.565 MPa
f_{v,d} = 3.348 MPa

Factors and additional parameters

km = 0.70 kh = 1.10 kmod = 1.10 Ksys = 1.00 kcr = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{t,0,d}/f_{t,0,d} + km*Sig_{m,y,d}/f_{m,y,d} + Sig_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0.17 < 1.00 (6.18)

(Tau_{y,d}/kcr+Tau_{tory,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.03 < 1.00 (Tau_{z,d}/kcr+Tau_{torz,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.01 < 1.00
(6.13-4)

Section OK !!!

Nedbøying for trebro:

Vertikale nedbøyinger for trekonstruksjonen fra Robot:

Karakteristisk:	22mm
Ofte forekommende	16mm
Tilnærmet permanent	15mm

$$d_{inst} := 22 \text{ mm}$$

Tab 3.2 $k_{def} := 0.8$

(2.3) $d := d_{inst} \cdot (1 + k_{def}) = 39.6 \text{ mm}$

Nedbøying med ψ -faktor:

Nedbøying fra egenvekt er på 5mm. Det gir en nedbøying for variable laster på 17mm.

$$d_{inst_g} := 5 \text{ mm}$$

$$d_{inst_p} := 17 \text{ mm}$$

Tab NA.A2.2 $\psi_2 := 0.2$

(2.3) $d_{fin_g} := d_{inst_g} \cdot (1 + k_{def}) = 9 \text{ mm}$

(2.4) $d_{fin_p} := d_{inst_p} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) = 19.72 \text{ mm}$

$$d_{fin} := d_{fin_g} + d_{fin_p} = 28.72 \text{ mm}$$

C1

Kostnad	Stål	Tre
Materialkostnadd	626000	308048
Rigg	21750	275959
Kapp	49110	
Montering	101250	101250
utkjøring	7744	7744
Sum	kr 805 853,75	kr 693 000,00

Pris transport

Vedlegg C2- Mail Prøven Transport

Følgebil	Semi med uttrek	pris per km eks r	Pris per km inl	pris frakt 105km
13	33	59	73,75	7743,75

Mengder fra Robot

Vedlegg C3 - Mail Norsk Stål

Materialkostnadd

Mengder stål	lengde behov	antall 12m	total lengde m	rest m	Pris /stk	Kostnad	antall	lengder	antall på 12m
HUP 180	84	8	96		12	29000	232000	21	
HUP 150	39,2	4			8,8	25000	100000	14 diagonale	2,8
HUP 150	53,76	6	120		18,24	25000	150000	12 skrå	4,48
HUP 100	35	3			1	16000	48000	14 horisontale	2,5
HUP 100	51,6	6	108		20,4	16000	96000	12 skrå	4,3
			263,56		27	324	60,44		
							626000		

kapp

HUP	vekt	Antall kapp	skrå	tillegg	kostnad	Total
HUP 180	418,8	4	nei		750	3000
HUP 150	346,8	20	nei		650	13000
HUP 150	346,8	24	ja	x2	1300	31200
HUP 100	225,6	15	nei		550	8250
HUP 100	225,6	24	ja	x2	1100	26400

87 > 75 -> 40% rabatt

491110Riggkosnader

posisjoner	87
kostnad per	250
sum	21750

Montering

Antatt timer	Antall person	timer totalt	time sats	kostnad montering	Administrasjon	Total kostnad
75	2	150	450	67500	33750	101250

Side 2 av 3

xlvi

Mengder fra Robot Vedlegg C4 - Mail Splitkon
 Vedlegg C5 - Mail Moelven

Splitkon:

kr/m ³	m ³ tre	Pris ferdig bro
kr 55 000,00	12,6	kr 693 000,00

Moelven:

Pris pr. gurt	Pris pr. m	Total antal m	Total pris materialer
kr 25 000,00	1190	259	kr 308 047,62

	Rigg	kapp/tilvirkning
Diferanse	kr 275 958,63	kr 91 066,35
		kr 184 892,28

Re: Bacheloroppgave

Odd-Are Skogstad <oddare@proventransport.no>

to. 28.04.2022 07:33

Til: Thomas Nygård <tommynyg@hotmail.com>

Hei,

33kr pr km kjørt fra start/stopp for semi med uttrekk for denne lengde. Tilkjøring fra transportør tilkommer km.

18kr pr km for 1. følgebil, pga total lengde vill komme på 28,6m(ved lasting på sene så vill total høyde trolig bli for høy uten at jeg vet kjøre rute)

Er det ikke tvangstyrt semi på alle aksler, så er det krav om 2stk følgebiler over 27m totallengde. (Denne prisede henger er styrt på alle aksler)

Pris eks mva og bom etterfaktureres ihht bom faktura.

Bare spør hvis det ble uklart 😊

Odd-Are Skogstad
73822727 / 41000088
Prøven Transport AS

Fra: Thomas Nygård <tommynyg@hotmail.com>

Sendt: torsdag 28. april 2022, 07:25

Til: Odd-Are Skogstad <oddare@proventransport.no>

Emne: Bacheloroppgave

Hei,

Vi skriver en bacheloroppgave ved høyskolen på Vestlandet i Bergen hvor vi skriver om en fagverksbru og skal gjøre et økonomisk overslag rundt denne. Kunne du stukket en finger i været og sagt en pris for hvor mye det vil koste å frakte en 21m lang ferdig fagverksbru som er 2,5m bred og 2,8m høy ca 100 km som vi kan bruke i oppgaven vår?

Mvh
Thomas Nygård

Johan Knippen

Fra: Kundeservice <kundeservice@norskstaal.no>
Sendt: fredag 22. april 2022 10.01
Til: Johan Knippen
Emne: SV: Priser til bacheloroppgave

Hei.
Prisene kommer litt an på hva slags kunde det er snakk om, men her er ett omtrentlig overslag på hva man kan vente seg som nyregistrert kunde hos oss per dags dato:

- VF HUP 180x180x6,3 ca. 29 000,-
- VF HUP 150x150x6,3 ca. 25 000,-
- VF HUP 100x100x6,3 ca. 16 000,-

Alle enhetene lagerføres i 12 meters lengder. I tillegg til varekostnad kommer også tilrigging, kappekostnader og transport som det sikkert er lurt å ha med i beregningen på begge materialvalg.

Lykke til med bacheloroppaven 😊

Med vennlig hilsen,

Thomas Antonsen | Kundeservice

Nedre vei 8, 3183 Horten, Norge



[Salgsbetingelser](#) | Norsk Stål AS | www.norskstaal.no

Fra: Johan Knippen <577979@stud.hvl.no>
Sendt: fredag 22. april 2022 09:27
Til: Kundeservice <kundeservice@norskstaal.no>
Emne: Priser til bacheloroppgave

Hei,
Vi skriver bacheloroppgave ved Høgskulen på Vestlandet hvor vi sammenligner to fagverksbroer i henholdsvis tre og stål. I den forbindelse trenger vi noen priser på noen ståldimensjoner for å kunne gjøre et økonomisk overslag for stål-alternativet. Kunne vi fått noen verdier å bruke til oppgaven vår til følgende profiler?

- VF HUP 180x180x6,3
- VF HUP 150x150x6,3
- VF HUP 100x100x6,3

Alle i S355.

Med vennlig hilsen
Johan Knippen

Re: Bacheloroppgave

Erlend Leander Johansen <erlend.johansen@splitkon.no>

ma. 25.04.2022 13:16

Til: Thomas Nygård <tommynyg@hotmail.com>

Kopi: Per Roar Brox <perroar.brox@splitkon.no>

Hei Thomas!

Har dessverre ikke tid til å regne på dette for dere, men en finger i været indikerer fort over 50 000,- per m3 for limtrekonstruksjonen. Stålmengder, transport av ferdig montert bru, montasje, kompleksitet og Banenor sine rutiner på byggeplass (Jeg er godt kjent med disse) driver prisen. Justert for dagensprisnivå på alle deler av dette prosjektet ville jeg lagt på 5-6000,- per m3 så du ender på 55k per m3.

Kun en indikasjon, dette er komplisert å prise. Dersom noen skal regne pris for dere her må dere ha en ferdig løsning å prise.

Med vennlig hilsen/Regards
Erlend Leander Johansen
Salgsingeniør/Sales Engineer
Tlf: +4748152008
Mail: erlend.johansen@splitkon.no
Web: www.splitkon.no

Fra: Thomas Nygård <tommynyg@hotmail.com>

Sendt: mandag, april 25, 2022 12:28 pm

Til: Erlend Leander Johansen <erlend.johansen@splitkon.no>

Emne: Bacheloroppgave

Hei,

Vi skriver bacheloroppgave ved Høgskulen på Vestlandet i Bergen der vi sammenligner to fagverksbroer i henholdsvis tre og stål. I den forbindelse trenger vi noen priser på noen tre-dimensjoner for å kunne gjøre et økonomisk overslag for tre-alternativet. Kunne vi fått noen verdier å bruke til oppgaven vår til følgende profiler?

- GL30c 215x250 Gurter
- GL30c 215x200 Fagverk på alle sider

Overgangsbreen har et spenn 21 meter og har knutepunkt av dybler. Broen skal også monteres ferdig før transport, for å redusere monterings tid. Siden dette er et prosjekt for BaneNor, som ønsker lite nedetid på jernbanene.

Om man kunne fått et estimat på tilrigging, kappekostnader og transport hadde dette også hjulpet veldig. Prisene trenger bare å være estimat slik at vi har noen tall i henviser til.

Mvh Thomas Nygård

SV: Bachelor oppgave

Kato Sveen <Kato.Sveen@moelven.no>

fr. 22.04.2022 13:43

Til: tommynyg@hotmail.com <tommynyg@hotmail.com>

Hei

Fint at dere jobber med tre også.

Det er vanskelig prise dette riktig, det er mye som må med for å få en riktig pris.

Først: Standard bredde for limtre i denne størrelsen er i Scandinavia 190 eller 215 mm. Gunstig å ta utgangspunkt i det for å få rimeligst mulig konstruksjon, men for et estimat betyr det ikke så mye. Skal man ha større bredder må man blokklime flere bjelker. For mindre bredder er spranget nedover 25 mm ned til 90 mm som er minste std. dimensjon.

Som et estimat:

Limtre GL30C dobbelt impregnert (CU + kreosot), ferdig bearbeidet (kappet og boret), levert Bergen: ca. kr 20 000,- eks mva.

Jeg har ikke priser på Rigg kostnader. Når vi monterer bruer så holder HE riggfasiliteter for oss. Vanligvis er vår montasjetid kort i forhold til den totale byggetiden for slike prosjekt.

Husk at ved montasje over jernbane må arbeidene vanligvis gjøres på natt, dvs. ekstra kostnader for mannskap.

Lykke til med oppgaven.

Med vennlig hilsen

Kato Sveen

Prosjektsjef

Moelven Limtre AS

Lundemovegen 1, 2390 Moelv

Telefon: +4790859468

[Moelven.no/Limtre](https://www.moelven.no/Limtre)

[Linkedin](#) | [Facebook](#) | [Youtube](#) | [Instagram](#)

 **Moelven**

Stolt samarbeidspartner av

Nordic Partner

 **SOS CHILDREN'S
VILLAGES**

Fra: Limtre, Post <Post.Limtre@moelven.no>

Sendt: 22. april 2022 10:36

Til: Kato Sveen <Kato.Sveen@moelven.no>

Emne: VS: Bachelor oppgave

Fra: Thomas Nygård <tommynyg@hotmail.com>

Sendt: 22. april 2022 10:35

Til: Limtre, Post <Post.Limtre@moelven.no>

Emne: Bachelor oppgave

Side 1 av 2

lii

CAUTION: This email originated from outside of Moelven. Do not click links or open attachments unless you recognize the sender and know the content is safe.

Hei,

Vi skriver bacheloroppgave ved Høgskulen på Vestlandet i Bergen der vi sammenligner to fagverksbroer i henholdsvis tre og stål. I den forbindelse trenger vi noen priser på noen tre-dimensjoner for å kunne gjøre et økonomisk overslag for tre-alternativet. Kunne vi fått noen verdier å bruke til oppgaven vår til følgende profiler?

- GL30c 200x250 Gurter
- GL30c 200x200 Fagverk på alle sider

Overgangsbroen har et spenn 21 meter og har knutepunkt av dybler. Broen skal også monteres ferdig før transport, for å redusere monterings tid. Siden dette er et prosjekt for BaneNor, som ønsker lite nedetid på jernbanene.

Om man kunne fått et estimat på tilrigging, kappekostnader og transport hadde dette også hjulpet veldig. Prisene trenger bare å være estimat slik at vi har noen tall i henviser til.

Mvh Thomas Nygård

Lastkombinasjoner

Project: Støren bro_hel gurt

Loads - Values

	Case	Load type	List
	1	uniform load	3 4
	2	uniform load	1 2
	3	self-weight	1to41 43to57
	3	uniform load	1to4
	4	uniform load	1 3
	5	uniform load	3 4
	6	uniform load	1 2
	13	uniform load	2 4

Load values	
	PZ=-3,60(kN/m)
	PZ=-6,25(kN/m)
	PZ Negative Factor=1,00
	PZ=-1,00(kN/m)
	PY=-4,40(kN/m)
	PZ=-1,50(kN/m)
	PZ=-1,25(kN/m)
	PY=4,40(kN/m)

Loads - Cases

Case	Label	Case name	Nature	Analysis type
1	SN1	Snø	snow	Static - Linear
2	LL1	Nyttelast	Category A	Static - Linear
3	DL1	Egenlast	Structural	Static - Linear
4	WIND1	Vind Nord	wind	Static - Linear
5	WIND2	Vind Ned	wind	Static - Linear
6	WIND21	VindT	wind	Static - Linear
13	WIND4	Vind sør	wind	Static - Linear
101	5	6.10a Nord	Structural	Linear Combination
102		6.10a Sør	Structural	Linear Combination
201	4	6.10b Nord	Structural	Linear Combination
202		6.10b Sør	Structural	Linear Combination
301	3	Bruksgrense - Karakteristisk	Category A	Linear Combination
302	2	Bruksgrense - ofte forekommende	Structural	Linear Combination
303	1	Bruksgrense - tilnærmet permanent	Category A	Linear Combination
401	6	Karakteristiske	Structural	Linear Combination

Reactions ULS: global extremes

in the coordinate system: global - Cases: 1to6 13 101 102 201 202 401

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	0,00	84,75	268,71	0,00	0,00	0,00

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Node	3	1	2	3	3	2
Case	202 (C)	201 (C)	202 (C)	201 (C)	202 (C)	4
MIN	-0,00	-78,63	-51,74	-0,00	-0,00	-0,00
Node	3	1	2	4	2	4
Case	4	102 (C)	4	201 (C)	202 (C)	202 (C)

Reactions - Values

in the coordinate system: global - Cases: 1to6 13 101 102 201 202 301to303 401

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1/ 1	0,00	0,00	37,80	0,00	0,00	0,00
1/ 2	-0,00	0,00	65,63	0,00	0,00	-0,00
1/ 3	-0,00	-0,10	38,28	0,00	0,0	0,00
1/ 4	0,00	80,82	-51,74	0,00	-0,00	0,00
1/ 5	-0,00	0,00	15,75	-0,00	0,00	-0,00
1/ 6	-0,00	0,00	13,13	0,00	-0,00	-0,00
1/ 13	0,00	-74,76	51,74	0,00	-0,00	-0,00
1/ 101 (C)	0,00	84,73	136,26	0,00	0,00	0,00
1/ 102 (C)	-0,00	-78,63	244,92	0,00	0,00	-0,00
1/ 201 (C)	0,00	84,75	160,05	0,00	0,00	0,00
1/ 202 (C)	-0,00	-78,61	268,71	0,00	0,00	-0,00
1/ 301 (C)	0,00	56,48	114,36	0,00	0,00	0,00
1/ 302 (C)	0,00	40,31	91,68	0,00	0,00	0,00
1/ 303 (C)	0,00	40,31	78,56	0,00	0,00	0,00
1/ 401 (C)	0,00	80,73	118,84	0,00	0,00	0,00
2/ 1	-0,00	0,00	37,80	0,00	-0,00	0,00
2/ 2	-0,00	0,00	65,63	0,00	-0,00	-0,00
2/ 3	-0,00	-0,10	38,28	-0,00	-0,00	-0,00
2/ 4	0,00	80,82	-51,74	-0,00	0,00	0,00
2/ 5	-0,00	0,00	15,75	-0,00	-0,00	-0,00
2/ 6	0,00	0,00	13,13	0,0	-0,00	-0,00
2/ 13	-0,00	-74,76	51,74	0,00	0,00	-0,00
2/ 101 (C)	-0,00	84,73	136,26	-0,00	-0,00	0,00
2/ 102 (C)	-0,00	-78,63	244,92	0,00	-0,00	-0,00
2/ 201 (C)	-0,00	84,75	160,05	-0,00	-0,00	0,00
2/ 202 (C)	-0,00	-78,61	268,71	0,00	-0,00	-0,00
2/ 301 (C)	-0,00	56,48	114,36	-0,00	-0,00	0,00
2/ 302 (C)	-0,00	40,31	91,68	-0,00	-0,00	0,00
2/ 303 (C)	-0,00	40,31	78,56	-0,00	-0,00	0,00
2/ 401 (C)	-0,00	80,73	118,84	-0,00	-0,00	0,00
3/ 1	0,00	-0,00	37,80	0,00	-0,00	0,00
3/ 2	0,00	-0,00	65,62	0,00	0,00	0,0
3/ 3	0,00	0,10	38,28	0,00	0,00	0,00
3/ 4	-0,00	11,58	51,74	0,00	-0,00	0,0

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
3/ 5	0,00	-0,00	15,75	0,00	0,00	-0,00
3/ 6	0,00	-0,00	13,12	0,00	0,00	0,00
3/ 13	0,00	-17,64	-51,74	-0,00	0,00	0,00
3/ 101 (C)	-0,00	12,29	244,92	0,00	0,00	0,00
3/ 102 (C)	0,00	-18,39	136,26	-0,00	0,00	0,00
3/ 201 (C)	-0,00	12,27	268,71	0,00	0,00	0,00
3/ 202 (C)	0,00	-18,41	160,05	-0,00	0,00	0,00
3/ 301 (C)	-0,00	8,20	186,80	0,00	0,00	0,00
3/ 302 (C)	0,00	5,89	143,43	0,00	0,00	0,00
3/ 303 (C)	-0,00	5,89	130,30	0,00	0,00	0,00
3/ 401 (C)	-0,00	11,67	222,32	0,00	0,00	0,00
4/ 1	-0,00	-0,00	37,80	0,00	-0,00	-0,00
4/ 2	-0,00	-0,00	65,62	-0,00	-0,00	-0,00
4/ 3	-0,00	0,10	38,28	0,00	-0,00	0,0
4/ 4	0,00	11,58	51,74	-0,00	0,00	0,00
4/ 5	-0,00	-0,00	15,75	-0,00	-0,00	0,00
4/ 6	0,00	-0,00	13,12	-0,00	-0,00	-0,00
4/ 13	0,00	-17,64	-51,74	0,00	0,00	-0,00
4/ 101 (C)	0,00	12,29	244,92	-0,00	-0,00	0,00
4/ 102 (C)	0,00	-18,39	136,26	0,00	-0,00	-0,00
4/ 201 (C)	0,00	12,27	268,71	-0,00	-0,00	0,00
4/ 202 (C)	0,00	-18,41	160,05	0,00	-0,00	-0,00
4/ 301 (C)	0,00	8,20	186,80	-0,00	-0,00	0,00
4/ 302 (C)	0,00	5,89	143,43	-0,00	-0,00	0,00
4/ 303 (C)	0,00	5,89	130,30	-0,00	-0,00	0,00
4/ 401 (C)	0,00	11,67	222,32	-0,00	-0,00	0,00
Case 1	Snø					
Sum of val.	0,00	0,00	151,20	0,00	-0,00	0,00
Sum of reac.	0,00	0,00	151,20	189,00	-1587,60	0,00
Sum of forc.	0,0	0,0	-151,20	-189,00	1587,60	0,0
Check val.	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00	0,00
Precision	1,07833e-	1,04399e-				
Case 2	Nyttelast					
Sum of val.	0,00	-0,00	262,50	0,00	-0,00	-0,00
Sum of reac.	0,00	-0,00	262,50	328,13	-2756,25	-0,00
Sum of forc.	0,0	0,0	-262,50	-328,12	2756,25	0,0
Check val.	0,00	-0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00
Precision	1,72187e-	1,14532e-				
Case 3	Egenlast					
Sum of val.	0,00	0,00	153,12	0,00	-0,00	0,00
Sum of reac.	0,00	0,00	153,12	191,40	-1607,77	-0,00
Sum of forc.	0,0	0,0	-153,12	-191,40	1607,77	0,0
Check val.	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Precision	1,10093e-	1,10221e-				
Case 4	Vind Nord					
Sum of val.	-0,00	184,80	-0,00	-0,00	-0,00	0,00
Sum of reac.	-0,00	184,80	-0,00	-258,72	0,00	1940,40
Sum of forc.	0,0	-184,80	0,0	258,72	0,0	-1940,40
Check val.	-0,00	0,00	-0,00	-0,00	0,00	0,00
Precision	2,34014e-	2,45484e-				
Case 5	Vind Ned					
Sum of val.	-0,00	0,00	63,00	0,00	-0,00	-0,00
Sum of reac.	0,00	0,00	63,00	78,75	-661,50	0,00
Sum of forc.	0,0	0,0	-63,00	-78,75	661,50	0,0
Check val.	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00	0,00
Precision	9,35187e-	1,16393e-				
Case 6	VindT					
Sum of val.	0,00	0,00	52,50	0,00	-0,00	-0,00
Sum of reac.	0,00	0,00	52,50	65,63	-551,25	0,00
Sum of forc.	0,0	0,0	-52,50	-65,62	551,25	0,0
Check val.	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00	0,00
Precision	1,39269e-	1,16015e-				
Case 13	Vind sør					
Sum of val.	0,00	-184,80	0,00	0,00	0,00	-0,00
Sum of reac.	0,00	-184,80	0,00	258,72	-0,00	-1940,40
Sum of forc.	0,0	184,80	0,0	-258,72	0,0	1940,40
Check val.	0,00	-0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00
Precision	3,91308e-	2,38850e-				
Case 101 (C)	6.10a Nord					
Sum of val.	-0,00	194,04	762,37	-0,00	-0,00	0,00
Sum of reac.	-0,00	194,04	762,37	681,31	-8004,92	2037,42
Sum of forc.	0,0	-194,04	-762,37	-681,31	8004,92	-2037,42
Check val.	-0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00	0,00
Precision	9,32788e-	3,20029e-				
Case 102 (C)	6.10a Sør					
Sum of val.	0,00	-194,04	762,37	0,00	-0,00	-0,00
Sum of reac.	0,00	-194,04	762,37	1224,62	-8004,92	-2037,42
Sum of forc.	0,0	194,04	-762,37	-1224,62	8004,92	2037,42
Check val.	0,00	-0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00
Precision	1,09795e-	3,13063e-				
Case 201 (C)	6.10b Nord					
Sum of val.	-0,00	194,04	857,53	-0,00	-0,00	0,00

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Sum of reac.	-0,00	194,04	857,53	800,26	-9004,06	2037,42
Sum of forc.	0,0	-194,04	-857,53	-800,26	9004,06	-2037,42
Check val.	-0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00	0,00
Precision	9,93758e-	3,23529e-				
Case 202 (C)	6.10b Sør					
Sum of val.	0,00	-194,04	857,53	0,00	-0,00	-0,00
Sum of reac.	0,00	-194,04	857,53	1343,57	-9004,06	-2037,42
Sum of forc.	0,0	194,04	-857,53	-1343,57	9004,06	2037,42
Check val.	0,00	-0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00
Precision	1,15892e-	3,16564e-				
Case 301 (C)	Bruksgrense - Karakteristisk					
Sum of val.	-0,00	129,36	602,31	-0,00	-0,00	0,00
Sum of reac.	-0,00	129,36	602,31	571,78	-6324,26	1358,28
Sum of forc.	0,0	-129,36	-602,31	-571,78	6324,26	-1358,28
Check val.	-0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00	0,00
Precision	6,84524e-	2,17891e-				
Case 302 (C)	Bruksgrense - ofte forekommende					
Sum of val.	-0,00	92,40	470,22	-0,00	-0,00	0,00
Sum of reac.	0,00	92,40	470,22	458,42	-4937,32	970,20
Sum of forc.	0,0	-92,40	-470,22	-458,42	4937,32	-970,20
Check val.	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00	0,00
Precision	5,17941e-	1,58622e-				
Case 303 (C)	Bruksgrense - tilnærmet permanent					
Sum of val.	-0,00	92,40	417,72	-0,00	-0,00	0,00
Sum of reac.	-0,00	92,40	417,72	392,79	-4386,07	970,20
Sum of forc.	0,0	-92,40	-417,72	-392,79	4386,07	-970,20
Check val.	-0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00	0,00
Precision	4,83504e-	1,56331e-				
Case 401 (C)	Karakteristiske					
Sum of val.	-0,00	184,80	682,32	-0,00	-0,00	0,00
Sum of reac.	-0,00	184,80	682,32	594,18	-7164,37	1940,40
Sum of forc.	0,0	-184,80	-682,32	-594,18	7164,37	-1940,40
Check val.	-0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00	0,00
Precision	8,56915e-	3,01640e-				

TITLE PAGE

Project: Støren bro_tre

Author :

Loads - Cases

Case	Label	Case name
1	DL1	Egenlast
2	DL11	Fasade
3	LL1	Nyttelast
4	SN1	Snø
5	WIND1	Vind Y Sør
6	WIND5	Vind Y Nord
7	WIND2	Vind Z
8	WIND21	Vind T Ned
9	LL2	Vind T Opp
101	12	6.10a YN
102	3	6.10a u/Vind
103	2	6.10a u/Tog YN
104		6.10a Tog Opp YN
105		6.10a YS
106		6.10a u/Tog YS
107		6.10a Tog Opp YS
108	4	6.10a Egenlast og Nyttelast
201	11	6.10b YN
202	6	6.10b u/Vind
203	7	6.10b u/Tog YN
204		6.10b Tog Opp YN
205		6.10b YS
206		6.10b u/Tog YS
207		6.10b Tog Opp YS
208	5	6.10b Egenlast og Nyttelast
301	10	Bruksgrense - Karakteristsik
302	9	Bruksgrense - ofte forekommende
303	8	Bruksgrense - tilnærmet permanent

Case	Nature	Analysis type
1	Structural	Static - Linear
2	Structural	Static - Linear
3	Category A	Static - Linear
4	snow	Static - Linear
5	wind	Static - Linear
6	wind	Static - Linear
7	wind	Static - Linear
8	wind	Static - Linear
9	wind	Static - Linear
101	Structural	Linear Combination
102	Structural	Linear Combination
103	Structural	Linear Combination
104	Structural	Linear Combination
105	Structural	Linear Combination
106	Structural	Linear Combination
107	Structural	Linear Combination
108	Structural	Linear Combination
201	Structural	Linear Combination
202	Structural	Linear Combination
203	Structural	Linear Combination
204	Structural	Linear Combination
205	Structural	Linear Combination
206	Structural	Linear Combination
207	Structural	Linear Combination
208	Structural	Linear Combination
301	Category A	Linear Combination
302	Structural	Linear Combination
303	Category A	Linear Combination

Reactions ULS: global extremes

in the coordinate system: global - Cases: 1to9 101to108 201to208

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	0.0	50.1	264.6	0.0	0.0	0.0
Node	15	15	2	16	2	2
Case	5	207 (C)	205 (C)	104 (C)	9	201 (C)
MIN	-0.0	-50.1	-51.8	-0.0	-0.0	-0.0
Node	15	2	16	15	2	1
Case	201 (C)	204 (C)	5	105 (C)	205 (C)	104 (C)

Reactions - Values

in the coordinate system: global - Cases: 1to9 101to108 201to208 301to303

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1/ 1	-0.0	0.1	12.4	0.0	-0.0	-0.0
1/ 2	0.0	0.0	20.8	0.0	0.0	-0.0
1/ 3	0.0	0.0	65.1	0.0	-0.0	-0.0
1/ 4	-0.0	0.0	37.5	0.0	-0.0	0.0
1/ 5	0.0	44.6	51.7	0.0	-0.0	-0.0
1/ 6	-0.0	-46.8	-51.8	0.0	-0.0	-0.0
1/ 7	0.0	0.0	15.6	-0.0	-0.0	0.0
1/ 8	-0.0	0.0	13.0	0.0	-0.0	0.0
1/ 9	0.0	-0.0	-13.0	-0.0	0.0	-0.0
1/ 101 (C)	-0.0	-49.0	128.5	0.0	-0.0	-0.0
1/ 102 (C)	0.0	0.1	152.7	0.0	-0.0	-0.0
1/ 103 (C)	-0.0	-49.0	114.8	0.0	-0.0	-0.0
1/ 104 (C)	-0.0	-49.0	101.1	0.0	-0.0	-0.0
1/ 105 (C)	0.0	46.9	237.1	0.0	-0.0	-0.0

Node/Case		FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1/	106 (	0.0	46.9	223.4	0.0	-0.0	-0.0
1/	107 (	0.0	46.9	209.8	0.0	-0.0	-0.0
1/	108 (	0.0	0.1	113.3	0.0	-0.0	-0.0
1/	201 (	-0.0	-49.0	152.8	0.0	-0.0	-0.0
1/	202 (	0.0	0.1	177.0	0.0	-0.0	-0.0
1/	203 (	-0.0	-49.0	152.8	0.0	-0.0	-0.0
1/	204 (	-0.0	-49.0	125.4	0.0	-0.0	-0.0
1/	205 (	0.0	46.9	261.4	0.0	-0.0	-0.0
1/	206 (	0.0	46.9	247.7	0.0	-0.0	-0.0
1/	207 (	0.0	46.9	234.1	0.0	-0.0	-0.0
1/	208 (	0.0	0.1	137.6	0.0	-0.0	-0.0
1/	301 (	0.0	31.3	180.9	0.0	-0.0	-0.0
1/	302 (	0.0	22.4	131.6	0.0	-0.0	-0.0
1/	303 (	0.0	22.4	124.8	0.0	-0.0	-0.0
2/	1	-0.0	0.1	12.6	0.0	-0.0	0.0
2/	2	0.0	0.0	21.2	0.0	-0.0	-0.0
2/	3	-0.0	0.0	66.1	-0.0	-0.0	0.0
2/	4	-0.0	0.0	38.1	0.0	0.0	0.0
2/	5	0.0	45.6	51.8	-0.0	-0.0	-0.0
2/	6	-0.0	-47.8	-51.7	-0.0	0.0	0.0
2/	7	-0.0	0.0	15.9	0.0	-0.0	0.0
2/	8	-0.0	0.0	13.2	0.0	-0.0	0.0
2/	9	0.0	-0.0	-13.2	-0.0	0.0	-0.0
2/	101 (	-0.0	-50.1	131.3	-0.0	-0.0	0.0
2/	102 (	-0.0	0.1	155.0	-0.0	-0.0	0.0
2/	103 (	-0.0	-50.1	117.4	-0.0	-0.0	0.0
2/	104 (	-0.0	-50.1	103.5	-0.0	-0.0	0.0
2/	105 (	-0.0	48.0	239.9	-0.0	-0.0	-0.0
2/	106 (	-0.0	48.0	226.0	-0.0	-0.0	-0.0

Node/Case		FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
2/	107 (	-0.0	48.0	212.2	-0.0	-0.0	-0.0
2/	108 (	-0.0	0.1	115.0	-0.0	-0.0	0.0
2/	201 (	-0.0	-50.1	156.0	-0.0	-0.0	0.0
2/	202 (	-0.0	0.1	179.7	-0.0	-0.0	0.0
2/	203 (	-0.0	-50.1	156.0	-0.0	-0.0	0.0
2/	204 (	-0.0	-50.1	128.2	-0.0	-0.0	0.0
2/	205 (	-0.0	48.0	264.6	-0.0	-0.0	-0.0
2/	206 (	-0.0	48.0	250.7	-0.0	-0.0	-0.0
2/	207 (	-0.0	48.0	236.8	-0.0	-0.0	-0.0
2/	208 (	-0.0	0.1	139.7	-0.0	-0.0	0.0
2/	301 (	-0.0	32.0	183.2	-0.0	-0.0	-0.0
2/	302 (	-0.0	22.9	133.2	-0.0	-0.0	-0.0
2/	303 (	-0.0	22.9	126.3	-0.0	-0.0	-0.0
15/	1	-0.0	-0.1	12.6	0.0	-0.0	0.0
15/	2	-0.0	-0.0	21.2	0.0	-0.0	0.0
15/	3	-0.0	-0.0	66.1	0.0	-0.0	0.0
15/	4	-0.0	-0.0	38.1	0.0	-0.0	0.0
15/	5	0.0	47.8	-51.7	-0.0	0.0	-0.0
15/	6	-0.0	-45.6	51.8	0.0	-0.0	0.0
15/	7	-0.0	-0.0	15.9	0.0	-0.0	-0.0
15/	8	-0.0	-0.0	13.2	0.0	-0.0	0.0
15/	9	0.0	0.0	-13.2	0.0	0.0	-0.0
15/	101 (	-0.0	-48.0	239.9	0.0	-0.0	0.0
15/	102 (	-0.0	-0.1	155.0	0.0	-0.0	0.0
15/	103 (	-0.0	-48.0	226.0	0.0	-0.0	0.0
15/	104 (	-0.0	-48.0	212.2	0.0	-0.0	0.0
15/	105 (	-0.0	50.1	131.3	-0.0	-0.0	-0.0
15/	106 (	-0.0	50.1	117.4	-0.0	-0.0	-0.0
15/	107 (	-0.0	50.1	103.5	-0.0	-0.0	-0.0

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
15/ 108 (	-0.0	-0.1	115.0	0.0	-0.0	0.0
15/ 201 (	-0.0	-48.0	264.6	0.0	-0.0	0.0
15/ 202 (	-0.0	-0.1	179.7	0.0	-0.0	0.0
15/ 203 (	-0.0	-48.0	264.6	0.0	-0.0	0.0
15/ 204 (	-0.0	-48.0	236.8	0.0	-0.0	0.0
15/ 205 (	-0.0	50.1	156.0	-0.0	-0.0	-0.0
15/ 206 (	-0.0	50.1	142.1	-0.0	-0.0	-0.0
15/ 207 (	-0.0	50.1	128.2	-0.0	-0.0	-0.0
15/ 208 (	-0.0	-0.1	139.7	0.0	-0.0	0.0
15/ 301 (	-0.0	33.4	110.7	-0.0	-0.0	-0.0
15/ 302 (	-0.0	23.8	81.5	-0.0	-0.0	-0.0
15/ 303 (	-0.0	23.8	74.6	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 1	-0.0	-0.1	12.4	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 2	-0.0	-0.0	20.8	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 3	-0.0	-0.0	65.1	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 4	-0.0	-0.0	37.5	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 5	0.0	46.8	-51.8	0.0	0.0	-0.0
16/ 6	0.0	-44.6	51.7	0.0	-0.0	0.0
16/ 7	-0.0	-0.0	15.6	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 8	0.0	-0.0	13.0	-0.0	-0.0	0.0
16/ 9	-0.0	0.0	-13.0	0.0	0.0	-0.0
16/ 101 (	-0.0	-46.9	237.1	0.0	-0.0	0.0
16/ 102 (	-0.0	-0.1	152.7	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 103 (	-0.0	-46.9	223.4	0.0	-0.0	0.0
16/ 104 (	-0.0	-46.9	209.8	0.0	-0.0	0.0
16/ 105 (	-0.0	49.0	128.5	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 106 (	-0.0	49.0	114.8	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 107 (	-0.0	49.0	101.1	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 108 (	-0.0	-0.1	113.3	-0.0	-0.0	-0.0

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
16/ 201 (	-0.0	-46.9	261.4	0.0	-0.0	0.0
16/ 202 (	-0.0	-0.1	177.0	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 203 (	-0.0	-46.9	261.4	0.0	-0.0	0.0
16/ 204 (	-0.0	-46.9	234.1	0.0	-0.0	0.0
16/ 205 (	-0.0	49.0	152.8	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 206 (	-0.0	49.0	139.1	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 207 (	-0.0	49.0	125.4	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 208 (	-0.0	-0.1	137.6	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 301 (	-0.0	32.7	108.5	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 302 (	-0.0	23.3	79.8	-0.0	-0.0	-0.0
16/ 303 (	-0.0	23.3	73.1	-0.0	-0.0	-0.0
Case 1	Egenlast					
Sum of val.	-0.0	-0.0	50.2	0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	-0.0	50.2	62.7	-526.6	-0.0
Sum of forc.	0.0	0.0	-50.2	-62.7	526.6	0.0
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	3.7444	2.33				
Case 2	Fasade					
Sum of val.	-0.0	-0.0	84.0	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	-0.0	84.0	105.0	-882.0	0.0
Sum of forc.	0.0	0.0	-84.0	-105.0	882.0	0.0
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0
Precision	8.8796	2.02				
Case 3	Nyttelast					
Sum of val.	-0.0	-0.0	262.5	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-0.0	262.5	328.1	-2756.3	0.0

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Sum of forc.	0.0	0.0	-262.5	-328.1	2756.3	0.0
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0
Precision	4.3240	4.06				
Case 4	Snø					
Sum of val.	-0.0	-0.0	151.2	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-0.0	151.2	189.0	-1587.6	0.0
Sum of forc.	0.0	0.0	-151.2	-189.0	1587.6	0.0
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0
Precision	5.7828	2.05				
Case 5	Vind Y Sør					
Sum of val.	0.0	184.	0.0	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	0.0	184.	0.0	-258.7	-0.0	1940.4
Sum of forc.	0.0	-184.	0.0	258.7	0.0	-1940.
Check val.	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	7.0410	3.18				
Case 6	Vind Y Nord					
Sum of val.	-0.0	-184.	-0.0	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-184.	-0.0	258.7	0.0	-1940.
Sum of forc.	0.0	184.	0.0	-258.7	0.0	1940.4
Check val.	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0
Precision	6.1771	3.44				
Case 7	Vind Z					
Sum of val.	-0.0	-0.0	63.0	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	-0.0	63.0	78.8	-661.5	0.0
Sum of forc.	0.0	0.0	-63.0	-78.8	661.5	0.0

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0
Precision	3.5736	2.39				
Case 8	Vind T Ned					
Sum of val.	-0.0	-0.0	52.5	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-0.0	52.5	65.6	-551.3	-0.0
Sum of forc.	0.0	0.0	-52.5	-65.6	551.3	0.0
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	5.1792	2.62				
Case 9	Vind T Opp					
Sum of val.	0.0	0.0	-52.5	-0.0	0.0	-0.0
Sum of reac.	0.0	0.0	-52.5	-65.6	551.3	0.0
Sum of forc.	0.0	0.0	52.5	65.6	-551.3	0.0
Check val.	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0
Precision	5.1792	2.62				
Case 101 (C)	6.10a YN					
Sum of val.	-0.0	-194.	736.8	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-194.	736.8	1192.6	-7736.0	-2037.
Sum of forc.	0.0	194.	-736.8	-1192.6	7736.0	2037.4
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0
Precision	1.0170	5.38				
Case 102 (C)	6.10a u/Vind					
Sum of val.	-0.0	-0.0	615.5	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-0.0	615.5	769.4	-6462.6	0.0
Sum of forc.	0.0	0.0	-615.5	-769.4	6462.6	0.0
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Precision	2.7654	1.23				
Case 103 (C)	6.10a u/Tog YN					
Sum of val.	-0.0	-194.	681.6	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-194.	681.6	1123.7	-7157.2	-2037.
Sum of forc.	0.0	194.	-681.6	-1123.7	7157.2	2037.4
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0
Precision	9.6266	5.10				
Case 104 (C)	6.10a Tog Opp YN					
Sum of val.	-0.0	-194.	626.5	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-194.	626.5	1054.8	-6578.4	-2037.
Sum of forc.	0.0	194.	-626.5	-1054.8	6578.4	2037.4
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0
Precision	1.0170	5.38				
Case 105 (C)	6.10a YS					
Sum of val.	-0.0	194.	736.8	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	194.	736.8	649.3	-7736.0	2037.4
Sum of forc.	0.0	-194.	-736.8	-649.3	7736.0	-2037.
Check val.	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	1.1077	5.09				
Case 106 (C)	6.10a u/Tog YS					
Sum of val.	-0.0	194.	681.6	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	194.	681.6	580.4	-7157.2	2037.4
Sum of forc.	0.0	-194.	-681.6	-580.4	7157.2	-2037.
Check val.	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	1.0533	4.82				

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Case 107 (C)	6.10a Tog Opp YS					
Sum of val.	-0.0	194.	626.5	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	194.	626.5	511.5	-6578.4	2037.4
Sum of forc.	0.0	-194.	-626.5	-511.5	6578.4	-2037.
Check val.	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	1.1077	5.09				
Case 108 (C)	6.10a Egenlast og Nyttelast					
Sum of val.	-0.0	-0.0	456.7	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-0.0	456.7	570.9	-4795.7	0.0
Sum of forc.	0.0	0.0	-456.7	-570.9	4795.7	0.0
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0
Precision	2.1582	1.01				
Case 201 (C)	6.10b YN					
Sum of val.	-0.0	-194.	834.8	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-194.	834.8	1315.1	-8765.0	-2037.
Sum of forc.	0.0	194.	-834.8	-1315.1	8765.0	2037.4
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0
Precision	1.0175	5.49				
Case 202 (C)	6.10b u/Vind					
Sum of val.	-0.0	-0.0	713.5	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-0.0	713.5	891.9	-7491.7	0.0
Sum of forc.	0.0	0.0	-713.5	-891.9	7491.7	0.0
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0
Precision	2.7706	1.34				

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Case 203 (C)	6.10b u/Tog YN					
Sum of val.	-0.0	-194.	834.8	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-194.	834.8	1315.1	-8765.0	-2037.
Sum of forc.	0.0	194.	-834.8	-1315.1	8765.0	2037.4
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0
Precision	1.0175	5.49				
Case 204 (C)	6.10b Tog Opp YN					
Sum of val.	-0.0	-194.	724.5	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-194.	724.5	1177.3	-7607.4	-2037.
Sum of forc.	0.0	194.	-724.5	-1177.3	7607.4	2037.4
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0
Precision	1.0175	5.49				
Case 205 (C)	6.10b YS					
Sum of val.	-0.0	194.	834.8	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	194.	834.8	771.8	-8765.0	2037.4
Sum of forc.	0.0	-194.	-834.8	-771.8	8765.0	-2037.
Check val.	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	1.1082	5.21				
Case 206 (C)	6.10b u/Tog YS					
Sum of val.	-0.0	194.	779.6	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	194.	779.6	702.9	-8186.2	2037.4
Sum of forc.	0.0	-194.	-779.6	-702.9	8186.2	-2037.
Check val.	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	1.0539	4.94				
Case 207 (C)	6.10b Tog Opp YS					

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Sum of val.	-0.0	194.	724.5	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	194.	724.5	634.0	-7607.4	2037.4
Sum of forc.	0.0	-194.	-724.5	-634.0	7607.4	-2037.
Check val.	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	1.1082	5.21				
Case 208 (C)	6.10b Egenlast og Nyttelast					
Sum of val.	-0.0	-0.0	554.7	0.0	-0.0	0.0
Sum of reac.	-0.0	-0.0	554.7	693.4	-5824.7	0.0
Sum of forc.	0.0	0.0	-554.7	-693.4	5824.7	0.0
Check val.	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0
Precision	2.1634	1.13				
Case 301 (C)	Bruksgrense - Karakteristsik					
Sum of val.	-0.0	129.	583.3	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	129.	583.3	548.1	-6125.1	1358.3
Sum of forc.	0.0	-129.	-583.3	-548.1	6125.1	-1358.
Check val.	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	7.6410	3.56				
Case 302 (C)	Bruksgrense - ofte forekommende					
Sum of val.	-0.0	92.4	426.1	-0.0	-0.0	-0.0
Sum of reac.	-0.0	92.4	426.1	403.2	-4473.5	970.2
Sum of forc.	0.0	-92.4	-426.1	-403.2	4473.5	-970.2
Check val.	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	5.5460	2.60				
Case 303 (C)	Bruksgrense - tilnærmet permanent					
Sum of val.	-0.0	92.4	398.8	-0.0	-0.0	-0.0

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Sum of reac.	-0.0	92.4	398.8	369.1	-4186.9	970.2
Sum of forc.	0.0	-92.4	-398.8	-369.1	4186.9	-970.2
Check val.	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
Precision	5.7259	2.58				