NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Konstruksjonsløsninger for påbygg i høyden

«Forskjellen av påbygg i tre og stål»

Andi Hadri, Ari Hadri

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - bygg
Innlevert: 19. mai 2025
Veileder: Samsom Asmerom Habtemichael/Dick Sandberg

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

NTNU
Institutt for vareproduksjon
og byggteknikk

Oppgavens tittel: Forskjellen av påbygg i tre og stål	Dato: 19.05.2025 Antall sider: 114/81 Vedlegg
	Masteroppgave:		Bacheloroppgave:	x
Navn: Andi Hadri Ari Hadri	
Veileder: Samsom Asmerom Habtemichael Dick Sandberg	
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Tore Olsen Hagelund Jonas Aasebø Stafsberg	

Sammendrag:

Denne bacheloroppgaven omhandler en systematisk analyse og sammenligning av alternative løsninger for påbygg i høyden, over en eksisterende bygningsstruktur fra 1800-tallet lokalisert i Oslo sentrum. Etter planlegging om fortetting fra regjeringen, og en smartere og mer kompakt sentralby, blir temaet påbygg meget relevant. Med utgangspunkt i to ulike materialvalg – limtre og stål – undersøkes de mekaniske og strukturelle konsekvensene av å etablere 2 etasjer oppå den historiske bygningen i stålelementer istedenfor den opprinnelige limtrekonstruksjonen.

Prosjektet tar for seg en rekke sentrale ingeniørfaglige utfordringer knyttet til påbygget av stål og dets rammesystem, herunder materialets vekt og stivhet, innføring av nye laster og konsekvenser for skivekrefter, forbindelser og lastoverføring i det horisontale og vertikale planet, samt teoretisk analyse av det eksisterende byggets fundament på grunnlag av den ekstra påførte lasten. Til slutt sammenlignes klimagassutslippet til materialene, sammen med eventuelle konsekvenser for brannkrav.

Oppgaven startet ved å modellere rammen fra start og finne lengder og vinkler fra ressursene gitt. Deretter ble det statiske rammesystemet dannet og løst ved bruk av FEM-programmer. Stålelementene og deres tverrsnitt ble konfigurert etter påkjenning fra globale og lokale laster, dimensjonert i henhold til relevante eurokoder og stander og videreførte laster til dekkeskiven ved ugunstige lastsituasjoner ble sjekket. Ved en kombinasjon av vindkrefter og de videreførte kreftene fra rammene ble dekket dimensjonert for påkjenningene ved å anse skiven som en stor I-bjelke. Herifra ble skiven dimensjonert for horisontal og vertikal påkjenning og forbindelsene ved skiven ble utarbeidet etter de forskjellige kreftene som omkom skiven i de mest kritiske punktene. Videre ble sveiseforbindelsene til rammene dimensjonert og modellert etter påførte laster, og fundamentpåkjenningen ble sammenlignet med den originale konstruksjonen.

Det viser seg at bæring av tre kan være et bedre valg basert på resultatene som blir funnet for det spesifiserte prosjektet. Denne konklusjonen trekkes for det første grunnet den lavere vekten som oppnås der rammen konstrueres med trematerialer. Videre vil utslipp i kg CO2ekv være betydelig lavere enn for rammen som konstrueres utelukkende i stål. Til slutt er stål- og trekonstruksjoner lite utnyttet, der tekniske utfordringer gir grunnlag for mer tradisjonelle løsninger.

Stikkord:

Påbygg, stål, tre
Skivekrefter, forbindelser
Design, Kapasitetsutnyttelse
Klimagassutslipp, brann, fundament

Ari Hadri

Andi Hadri

Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet av to brødre under samme ingeniørstudie, Andi Hadri og Ari Hadri ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Gjøvik. Oppgaven markerer avslutningen på vårt treårige bachelor-studium, og representerer en viktig milepæl i vår faglige og personlige utvikling som ingeniører. Arbeidet har vært både krevende og lærerikt, da vi gjennom hele prosessen har fått anledning til å fordype oss i temaer vi har stor interesse for, spesielt innen dimensjonering, konstruksjonsdesign og materialteknologi med utgangspunkt i en realistisk problemstilling. Denne erfaringen har ikke bare gitt oss økt faglig innsikt, men også styrket vår evne til å samarbeide, planlegge og løse komplekse tekniske utfordringer.

Vi ønsker å rette en stor takk til alle våre veiledere og professorer ved universitetet, som alltid har kommet med gode råd. En særlig takk går også til de eksterne veilederne og ingeniørene bak det originale prosjektet som har stilt opp med verdifull veiledning og innspill under vårt siste semester med faglig innsikt.

Abstract

The purpose of this study is the comparison of material choice in the context of superstructures. This concept is well established in Norway, where the need for densification together with eco-friendly structures arises in proportion to the population incline in the bigger cities. Extending already established buildings brings forth a set of challenges, mainly being related to weight. This is especially relevant when the existing structure is a historic building with a lot of years behind it.

As the basis of this thesis, an already established building from the 19th century in the middle of Oslo is used, as requested by the external party *Moelven*. The alternative steel frame is designed according to relevant standards and codes while keeping other structural solutions constant, assuming no significant difference other than the main bearing of the frame. Furthermore, any complications to fire security regarding the steel bearing is considered and lastly, the impact on the environment in terms of greenhouse emissions is compared to that of the existing wooden frame by using an LCA-software.

Resulting calculations indicate that an optimized steel frame can be constructed with a minimal difference in weight compared to that of the existing wooden frame, however, a need for further reinforcement could be relevant regardless. As for fire design, the existing floor and wall solutions are considered sufficient in protection as they incapsulate relevant load bearing components of the structure. Additionally, any components considered “critical” have sufficient capacity in their respective situations. Lastly, comparing pollutants generated by both framing materials show that the long-term effect of using wooden materials is positively greater than that of the steel frame. Assuming a near perfect recycling rate of steel used, the pollution generated by steel products still amounts to a greater environmental impact. Furthermore, the wooden materials store CO2eq as biogenic carbon, amounting to the entire theoretical pollution generation of the production phase of the steel components, making wood superior to steel regarding environmental impact.

In conclusion, the results point in favour of using a wooden frame based on weight management, fire performance, and environmental impact specifically for this project.

Innholdsfortegnelse

Forord iv
Abstract v
Innholdsfortegnelse vi
Figurliste x
Tabelliste xii
Forkortelser xiv
1 Innledning 1
1.1 Øvre Vollgate 11 1
1.2 Bakgrunn for valg av tema 1
1.3 Problemstilling 2
1.4 Begrensning av omfang 2
1.5 Samfunnsperspektiv og FNs bærekraftsmål 3
1.6 Oppgavens oppbygning 4
2 Teori 5
2.1 Tre 5
2.2 Limtre 5
2.3 Massivtre 5
2.4 Stål 6
2.5 Last og miljøpåvirkninger 6
2.6 Eurokode 7
2.6.1 Bakgrunn for beregninger 8
2.7 Programvare 9
2.7.1 Robot Structural analysis 9
2.7.2 Focus konstruksjon 9
2.7.3 Microsoft Excel 9
2.7.4 One Click LCA 9
2.8 Grensetilstander 10
2.8.1 Bruddgrensetilstander 11
2.9 Vindlaster 12

2.9.1 Vindkasthastighetstrykket 16
2.9.2 Formfaktorer for vind 16
2.10 Snølast 19
2.10.1 Lasttilfelle 19
2.10.2 Karakteristiske verdier 20
2.10.3 Formfaktor for snølast 22
2.11 Nyttelast 22
2.11.1 Brukskategori og verdi for nyttelast 23
2.12 Nedbøyning 24
2.13 Avstivning 28
2.13.1 Avstivende skivesystemer 28
2.14 Rammer 29
2.15 Bjelker og søyler 30
2.16 Generell tverrsnittskapasitet 30
2.17 Knutepunkter for stålkonstruksjoner 31
2.17.1 Klassifisering av knutepunkter 31
2.18 Fundament 32
2.19 Brannkrav/-beskyttelse 33
2.19.1 Materialegenskaper til stål ved stigende temperatur 37
2.20 Klimagassutslipp 38
3 Case/ Materialer 39
3.1 Nåværende rammekonstruksjon 39
3.2 Rammekonstruksjonen i stål 42
3.2.1 Diagonal- og søyleprofil – IPE330 42
3.2.2 Bjelkeprofil 43
3.2.3 Splitkon krysslimt limtre 44
3.2.4 LVL (Kerto®) 45
3.3 Skivekrefter 46
3.4 Forbindelser 48
3.4.1 Flush joist – Forbindelse mellom massivtre og HSQ-profil 48
3.5 Sideplate av stål som forbinder massivtre 49
3.6 Skruetype og parametere 50
3.6.1 SW-W – Washer Head Wood Screw 50

3.6.2 ESCRFTC – Fully Threaded Countersunk Wood Screw 51
3.7 Sveiseforbindelse i stålramme 52
3.8 Fundament 53
3.9 Branndimensjonering 54
4 Metode 55
4.1 Generelt om metode 55
4.2 Beregning av vindlast 56
4.3 Beregning av snølast 58
4.4 Globale krefter 58
4.5 Skivekrefter i planet 60
4.6 Dimensjonering av dekket 63
4.7 Dimensjonering av skrueforbindelser 66
4.7.1 Tre mot Tre 67
4.7.2 Stål mot tre 69
4.7.3 Karakteristisk hullkantfasthet 70
4.7.4 Karakteristisk uttrekkskapasitet 71
4.7.5 Minsteavstander mellom skruer 72
4.7.6 Lastsituasjon spesifikt til forbindelse LVL og Massivtre 72
4.8 Dimensjonering av sveiseforbindelser 75
4.9 Branndimensjonering iht. NS-EN 1993-1-2 77
4.9.1 Påvisning av brannmotstand med passiv beskyttelse 80
4.10 Klimagassberegninger 80
5 Resultater 81
5.1 Lastvirkningsdiagrammer for kritisk stålramme 81
5.2 Resultater av massivtredekket 83
5.2.1 Kritiske punkter for massivtredekket 85
5.3 Nedbøyning for dekke og HSQ-bjelke 87
5.4 Antallet nødvendige skruer 88
5.5 Vekt 88
5.6 Brannmotstand og klassifisering 89
5.7 Klimagassutslipp 90
5.7.1 Resultater for stålramme 90
5.7.2 Resultater for treramme 90

6 Diskusjon og analyse 91
6.1 Stålrammer 91
6.2 Skrueforbindelser 91
6.3 Fundament 92
6.4 Brannkrav 93
6.5 Klimagassutslipp 95
7 Konklusjon 96
8 Videre arbeid 97
Litteraturliste 98
9 Vedlegg 101

Figurliste

Figur 1: De 10 europeiske standardene fra den europeiske kommisjonen 7
Figur 2: Forenklet illustrasjon av turbulens (Landgraff, 2023) 15
Figur 3: Fremgangsmåte for bestemmelse av formfaktor 17
Figur 4: Soneinndeling for pulttak 18
Figur 5: Høydedata for den aktuelle lokasjonen 21
Figur 6: Nedbøyningskomponenter etter EK5-1-1 24
Figur 7: Modell for avstivningssystem (Betongelementforeningen, 2016) 29
Figur 8: Eksempler på Leddet, Kontinuerlig og Delvis kontinuerlig knutepunkt (Ji, 2024) ... 32
Figur 9: spenning-/tøyningsforhold for S355 karbonstål ved økte temperaturer (Franssen og Real, 2010, s.369) 37
Figur 10: Livsløpet til et produkt (LCA.no, 2025) 38
Figur 11: Ramme av limtre, nr. 1 39
Figur 12: Ramme av limtre, nr. 2 40
Figur 13: Rammekonstruksjon av limtre (Stabil AS, u.d) 41
Figur 14: Dimensjoner for IPE-bjelker 42
Figur 15: Tverrsnitt stålbjelke 43
Figur 16: Splitkon krysslimt limtre (Sintef, 2019) 44
Figur 17: LVL-plate fra Moelven (Moelven, 2025) 45
Figur 18: Skivekrefter i planet (Wallner-Novak, Koppelhuber, Pock, 2014, s. 130) 47
Figur 19: Flush Joists (Wallner-Novak, Koppelhuber, Pock, 2014, s. 102) 48
Figur 20: Modell av kobling mellom HSQ og Massivtre (Zahid og Zeito, 2023, s. 17) 49
Figur 21: Modell av sideplate (Zahid og Zeito, 2023, s. 18) 49
Figur 22: Illustrasjon av trykk-/strekkraft som fungerer på kant av skive (Stora Enso, 2022) 50
Figur 23: SW-W Skrue (Strongtie, 2024) 50
Figur 27: ØV11, Snitt A-A 56
Figur 28: Utklipp av kritisk ramme i Focus Konstruksjon 59
Figur 29: Utklipp av hele rammesystemet i Robot Structural Analysis 60
Figur 30: Lastsituasjon for horisontal skjevstillingslast 61
Figur 31: Lastsituasjon til "bjelken" 62
Figur 32: Eksempel på utsnitt av bjelke (Ernst, 2024) 62
Figur 33: Imaginær bjelke A og B (FPInnovations, 2019, s. 57) 64
Figur 34:Karakteristisk kapasitet for forbinder iht. NS-EN 1995-1-1 likning (8.6) 67
Figur 35: Illustrasjon av bruddformene for forbindelser tre mot tre iht. NS-EN 1995-1-1 68
Figur 36: Illustrasjon av bruddformer for forbindelser stål mot tre iht. NS-EN 1995-1-1 69
Figur 37: Momentlikevekt av system rundt LVL platen 74
Figur 38: Spenninger i sveisesnittets plan 75
Figur 39: Standard brannkurve iht. ISO834 78
Figur 40: Momentdiagram for kritisk ramme 81
Figur 41: Skjærdiagram for kritisk ramme 82
Figur 42: Normalkraftdiagram for kritisk ramme 82
Figur 43: Moment- og skjærdiagram for skiven 83

Figur 44: Skjermklipp fra LCA-program - Vanlig syklus fra vugge til grav for stålramme (1) 90
Figur 45: Skjermklipp fra LCA-program - Vanlig syklus fra vugge til grav for treramme (2) 90
Figur 46: Montasje av sprinklersystem 94

Tabelliste

Tabell 1: Oppbygning/struktur av prosjektoppgaven 4
Tabell 2: Bakgrunn for beregninger 8
Tabell 3: Anbefalte verdier for ψ-verdier for bygninger (Standard Norge, 2016) 10
Tabell 4: Dimensjonerende verdier for laster i bruddgrensetilstanden (Standard Norge, 2016) 11
Tabell 5: Referansevindhastighet for eksempelviste kommuner 12
Tabell 6: Terrengruhetskategori etter EC1 14
Tabell 7: Utvendige formfaktorer for pulttak 17
Tabell 8: Verdier for eksponeringskoeffisienten iht. EC1 19
Tabell 9: Karakteristisk snølast på mark for kommuner EC1 21
Tabell 10: Formfaktor for snølast iht. EC1 22
Tabell 11: Brukskategori iht. NS-EN 1991-1-1 23
Tabell 12: Verdi for nyttelast iht. Brukskategori 23
Tabell 13: Krav til maksimal nedbøyning iht. NS-EN 1990:2002+A1:2005+AC:2010+NA . 26
Tabell 14: Klimaklasser gitt i EC5, Tabell NA.901 26
Tabell 15: Verdier av deformasjonsfaktor k_{mod} 27
Tabell 16: Risikoklasser, § 11-2 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) 34
Tabell 17: Brannklasse (BKL) for byggverk, § 11-3 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) 35
Tabell 18: Bærende bygningsdelers brannmotstand avhengig av brannklasse, § 11-4 (Direktoratet for byggkvalite, 2017t) 36
Tabell 19: Parametere for IPE-bjelker 42
Tabell 20: Parametere for HSQ bjelker 43
Tabell 21: Oppbygning av limtre 44
Tabell 22: Parametere for limtre 44
Tabell 23: Parametere for LVL-plate 45
Tabell 24: Parametere for skrue av varianten SW-W 51
Tabell 25: Parametere for skruer av varianten ESCRFTC 51
Tabell 26: Krefter i horisontalretning for hvert snitt 62
Tabell 27: Minste avstand mellom bolter iht. NS-EN 1995-1-1 72
Tabell 28: Ståltemperatur for uisolerte profiler iht. ISO 834 - Brannkurve 79
Tabell 29: Kapasitetsutnyttelse iht. relevant kontroll 83
Tabell 30: Resultater fra manuelle beregninger 84
Tabell 31: Skjærkraft og skjærstrøm ved forbindere fra manuelle beregninger 84
Tabell 32: Lastpåkjenning for snitt der x=24,555m 85
Tabell 33: Lastpåkjenning for snitt der x=13,59m 86
Tabell 34: Nedbøyningskontroll for dekke og HSQ-bjelke 87
Tabell 35: Deformasjonberegning fra FEM-program 87
Tabell 36: Antallet nødvendige skruer for gitt type forbindelse 88
Tabell 37: Vekt av påbygg konstruert med stål 88
Tabell 38: Vekt av påbygg konstruert med tre 89
Tabell 39: Klassifiseringer og resultater fra brannkontroll 89

Tabell 40: Sammenligning av kraft [kN] fra ramme av stål og limtre 96

Forkortelser

BIM	*Building Information Modelling*
EC	*Eurocode, etterfulgt av serienummer*
EPD	*Environmental Product Decleration*
FEM	*Finite Element Modelling*
HMS	*Helse, miljø og sikkerhet*
LCA	*Life Cycle Analysis*
*ØV*11	*Øvre Vollgate* 11

1 Innledning

1.1 Øvre Vollgate 11

I hjertet av Oslo sto det en femetasjes murbygning fra 1800-tallet. Basert på filosofi om minst mulig rivning og utnyttelse av eksisterende bebygd areal, bestemmes det å legge til to nye etasjer oppå det eksisterende bygget. I et urbant område som Oslo sentrum, er det særlig lite plass til å bygge utover i planet. Derfor skaper løsningen av påbygg i høyden for nye muligheter.

Påbygget er beregnet til å romme 35 nye arbeidsplasser i form av kontorer, der hovedbæringen utføres med trebaserte løsninger som holder vekten lav. Dette er svært viktig når en bygger på eksisterende og særlig gamle bygg. Materialvalget er i tillegg et miljøvennlig alternativ da det stammer fra et fornybart råstoff.

1.2 Bakgrunn for valg av tema

I takt med økende urbanisering og press på arealutnyttelse i storbyer som Oslo, øker behovet for fortetting og bærekraftig bygging, særlig relevant for eksisterende konstruksjoner. Renovering og bygging i høyden ses på som en attraktiv løsning, samt at det kan bevare underliggende historisk identitet. Temaet tar for seg mange forskjellige utfordringer ved design av stålkonstruksjoner, og hvordan materialvalg påvirker det endelige resultatet. For fremtidige ingeniører, vil denne type oppgave gi erfaring i design og dimensjonering, i tillegg til å belyse eventuelle konsekvenser ved spesifikke valg av konstruksjonsløsninger. Etter ønske om nærmere erfaring med design av stålkonstruksjoner, var dette en god mulighet til å anvende mye som ble gjennomgått i studiene fram til prosjektoppgaven.

1.3 Problemstilling

På et 150 år gammelt bygg i sentrum av Oslo bestemmes det å plassere et påbygg med 2 etasjer. Rammen til pelebygningen utføres med limtre, der spørsmålet er som følger:

"Dersom man hadde gått for stålbæring, hvordan hadde fundamenteringen blitt, hva da med evt. Brannkrav og brannbeskyttelse. Videre, hvordan ville klimagassutslippet sett ut (Tre vs. Stål)"

1.4 Begrensning av omfang

Med tanke på prosjektets omfang er det nødvendig å gjøre visse begrensninger på det realiserte prosjektet. Dette gjøres med tanke på arbeidskraften som er tilgjengelig for gjennomføring og tidsrammen som er gitt av NTNU Gjøvik. Følgende forhåndsbestemmelser gjelder:

- Bacheloroppgaven vil bli begrenset til området hvor påbygget ligger. Alle former for resultater og laster videre inn til nabobygg vil antas at det resterende bygget har tilstrekkelig kapasitet.
- Fundamentet under påbygget begrenses til diskusjon/analyse, ettersom mangel på tilgjengelig informasjon og dimensjoneringsgrunnlag for murvegger ikke er en del av studieprogrammet.
- Begrensninger er satt der mål eller manglende informasjon hindrer løsning av problemstillingen. Dette gjelder også for videre analyse av prosjektet.

1.5 Samfunnsperspektiv og FNs bærekraftsmål

I lys av økende urbanisering, klimautfordringer og press på arealressurser, blir det stadig viktigere å identifisere løsninger som legger til rette for bærekraftig utvikling i bygg- og anleggssektoren. Ett tiltak som i økende grad trekkes frem som relevant, er påbygg i høyden. Påbygg kan bidra positivt til flere av FNs bærekraftsmål ved å fremme effektiv arealbruk, redusere ressursforbruk og styrke byers funksjonelle robusthet.

Et sentralt aspekt ved påbygg er at tiltaket bidrar til fortetting uten behov for nye inngrep i urørte områder. Dette er i tråd med bærekraftsmål 11: *Bærekraftige byer og lokalsamfunn*, som blant annet vektlegger behovet for inkluderende og arealeffektive bymiljøer. Ved å utnytte eksisterende infrastruktur som vei, vann, avløp og kollektivtransport, reduseres samtidig behovet for ny offentlig investering og det totale karbonavtrykket knyttet til utbygging.

Videre representerer påbygg et tiltak med betydelig potensial for ressursoptimalisering. Når man bygger videre på eksisterende konstruksjoner, kan man i stor grad gjenbruke bærekonstruksjoner og tekniske installasjoner, noe som reduserer både materialforbruk og byggeavfall. Dette er i samsvar med bærekraftsmål 12: *Ansvarlig forbruk og produksjon*, som blant annet fremmer sirkulær ressursutnyttelse og effektiv materialhåndtering. Det reduserte behovet for nybygging i utkantområder med tilhørende transport og logistikk, bidrar også til bærekraftsmål 13: *Stoppe klimaendringene*, ved å redusere klimagassutslipp knyttet til transport, energibruk og naturinngrep.

Påbygg kan også ha positive sosiale og økonomiske ringvirkninger. Tiltaket kan eksempelvis legge til rette for økt boligkapasitet i sentrale strøk uten å miste bokvalitet eller grønnstruktur, og samtidig bidra til bedre utnyttelse av tomter i områder med høy etterspørsel. Dette kan i neste omgang dempe prispress og styrke tilbudet i boligmarkedet (Kilde Nordnet). På næringssiden kan påbyggsprosjekter stimulere innovasjon i byggenæringen og utløse nye tekniske løsninger, særlig knyttet til lettvektsmaterialer og tilpasning til eksisterende konstruksjoner. Dette korresponderer med bærekraftsmål 9: *Industri, innovasjon og infrastruktur*.

1.6 Oppgavens oppbygning

Tabell 1: Oppbygning/struktur av prosjektoppgaven

Kapittel	Innhold
1. Innledning	Beskriver bakgrunn, begrensninger, omfang og målet med oppgaven.
2. Teori	Teoretisk grunnlag for materialer og videre metodikk.
3. Case	Presenterer det aktuelle byggets struktur og materialer som benyttes under analysen, samt fokusområder.
4. Metode	Forklaring og dokumentasjon av metodikk som tas i bruk under arbeidet.
5. Resultater	Presenterer resultater fra relevante beregninger og dimensjoneringsprosessen med figurer og tabeller.
6. Diskusjon og analyse	Kritisk analyse samt drøfting av resultater sammen med feilkilder. Sammenligner data fra klimagassberegning, viser til konsekvenser for brannkrav og viktige momenter under design av rammen.
7. Konklusjon	Oppsummering av hovedfunn imot problemstillingen.
8. Videre arbeid	Forslag til videre arbeid og evaluering.
9. Litteraturliste	Kilder som er brukt i prosjektoppgaven.
10. Vedlegg	Beregninger og andre relevante henvisninger.

2 Teori

2.1 Tre

Bruken av tre som konstruksjonsmateriale er svært utbredt i dagens konstruksjoner, særlig i Norge som lenge har hatt som mål å fremme bruken av trevirke og er i dag et av landene som leder innovasjon, bærekraft og kvalitet i treindustrien. Materialet har en forholdsvis lav densitet sammenlignet med materialer som stål/betong, og har i tillegg gode mekaniske egenskaper. Dette gjør trebaserte løsninger godt egnet i konstruksjoner, særlig der vekt har en stor påvirkning på det ingeniørfaglige aspektet.

2.2 Limtre

Limtre er et konstruksjonsmateriale laget ved å lime sammen flere lag av tre i samme fiberretning. Det brukes hovedsakelig i byggebransjen som bærende konstruksjoner som takbjelker, søyler og broer, spesielt når det er behov for lange spenn uten støtter. Styrken og bæreevnen er også sterkere hos limtre, siden svakheter kan fordeles gjennom flere lameller.

2.3 Massivtre

På samme måte som limtre er massivtre laget av limte lameller av tre, men istedenfor at disse er limt i samme fiberretning vil lamellene være limt i kryss eller vinkelrett i forhold til hverandre. Disse er limt sammen til store, massive elementer, typisk brukt i vegger, gulv og tak i moderne trebyggeri. Den krysslagte strukturen gir høy formstabilitet og gjør materialet mindre utsatt for sprekkdannelse og deformasjon.

2.4 Stål

Stål er et materiale som har svært gode mekaniske egenskaper i forhold til egenvekt. I motsetning til andre konstruksjonsmaterialer, kreves det mindre areal okkupert av stål i forhold til bæreevnen. Dette gjør stål svært egnet i massive prosjekter, og steder der arealutnyttelsen er sensitiv.

2.5 Last og miljøpåvirkninger

Sikre og stabile bygg forutsetter at det tas hensyn til laster og miljøpåvirkninger. Ved prosjektering av bygget kreves derfor en nærmere analyse av relevante laster og kombinasjonen av disse. Metoden for analyse er nærmere beskrevet i EC0.

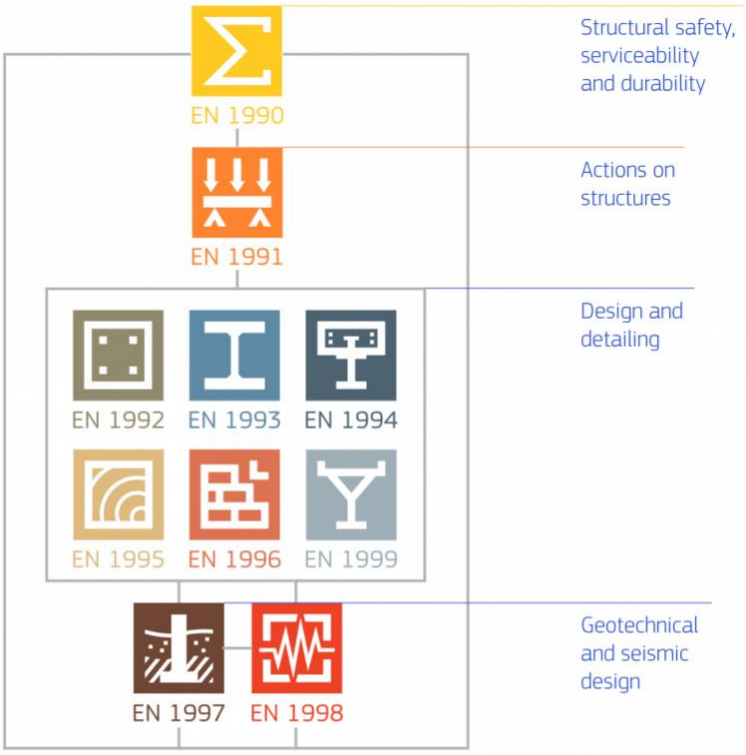
Etter Byggteknisk forskrift (TEK17) som omhandler krav til utforming og gjennomføring av tiltak etter plan- og bygningsloven ivaretagelse av hensynet til energi, miljø, helse og sikkerhet, står det som et generelt krav under §10-2 at: "*bygg skal ha tilfredsstillende sikkerhet mot brudd og tilstrekkelig stivhet og stabilitet for laster som kan oppstå under forutsatt bruk"* (Byggteknisk forskrift, 2017). Dette gir grunnlaget til prosjekteringen av hvert bygningsprosjekt.

EC1-1 klassifiserer de ulike lastene i tre kategorier:

- Permanente laster: egenvekter og faste installasjoner
- Variable laster: f.eks nyttelaster, vindlaster eller snølaster
- Ulykkeslaster: f.eks eksplosjoner eller støt, altså uforutsatte påkjenninger

2.6 Eurokode

Eurokodene er de europeiske standardene for konstruksjonsdesign innenfor den europeiske union. Den viktigste hensikten ved standardene, er å utvikle universelle sikkerhetsnivå/metodikk innen europeisk konstruksjon, samt bidra til å forsterke unionens interne marked for produkter og service innen ingeniørfag, altså realisere bevegelsesfriheten. Det er offisielt 10 serier med standarder (se Figur 1). Hver serie tar for seg kritiske konstruksjonsgrunnlag for konstruksjonssikkerhet, laster på konstruksjoner, design av ulike materialer og geoteknisk/seismisk design (EU-kommisjonen, 2025).



Figur 1: De 10 europeiske standardene fra den europeiske kommisjonen

2.6.1 Bakgrunn for beregninger

Tabell 2: Bakgrunn for beregninger

Serienummer og beregningsområde	**Referansenummer og tittel**
Eurokode 0 - Grunnlag	NS-EN 1990:2002+A1:2005+AC:2010+NA:2016 - *Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*
Eurokode 1 – Laster	NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019 – *Laster på konstruksjoner Del 1-1: Allmenne laster – Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger*
Eurokode 3 - Stål	NS-EN 1993-1-1:2005+A1:2015+NA:2015 - *Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger* NS-EN 1999-1-1:2007+A1:2009+NA:2009 – *Prosjektering av aluminiumskonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler*
Eurokode 3 – Stål	NS-EN 1993-1-2:2005+NA:2009 – *Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering*
Eurokode 3 – Stål	NS-EN 1993-1-5:2006+A2:2019+NA:2019 – *Prosjektering av stålkonstruksjoner – Del 1-5: Plater påkjent i plateplanet* NS-EN 1993-1-8:2005+NA:2009 – *Prosjektering av stålkonstruksjoner – Del 1-8: Knutepunkter og forbindelser*
Eurokode 5 - Tre	NS-EN 1995-1-1:2004+A2:2014+NA:2025 – *Prosjektering av trekonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*

2.7 Programvare

2.7.1 Robot Structural Analysis

Robot Structural Analysis er et program som brukes innen BIM og konstruksjonsanalyse for ingeniører. Analysen gjennomføres ved «finite element method», der avanserte strukturer brytes ned til mindre deler eller «elementer», og løser dette automatisk ved differensiallikninger. Eksempelvis, kan programmet simulere hva som skjer dersom en statisk ubestemt ramme påvirkes av en horisontal last.

2.7.2 Focus konstruksjon

På lik linje med programmet over, er Focus Konstruksjon et analyseprogram som også bruker elementmetoden for å beregne konstruksjoner. Dette programmet er derimot mer brukervennlig, og sammenligner resultater med europeiske og norske standarder. Videre kan programmet brukes for å sammenligne resultater på tvers av programmer.

2.7.3 Microsoft Excel

Excel er et regnearkprogram som forenkler organisering og beregning. For ingeniører som vil sammenligne resultater fra program, kan dette gjøres i programmet ettersom excel gir fleksibilitet ved bruk av mange mulige formler og makroer.

2.7.4 One Click LCA

One Click LCA er et ledende verktøy for livsløpsanalyse (LCA) som beregner klimagassutslipp og påvirkning fra ulike materialer basert på EPD-er. Programmet benyttes for å dokumentere klimafotavtrykk.

2.8 Grensetilstander

EC0 definerer grensetilstander som grensene for når konstruksjonen ikke lenger oppfyller fastsatte dimensjoneringskriterier (Standard Norge, 2016). Grensene skilles mellom bruddgrensetilstander og bruksgrensetilstander, der bruddgrensetilstander mulig har betydning for sikkerhet og/eller konstruksjonssikkerhet, mens bruksgrensetilstander kan ha betydning for komfort, utseende og materialevne under normal brukt.

For å påvise at dimensjonering for grensetilstandene er tilfredsstillende, benyttes partialfaktormetoden for dimensjonerende bruksområde og lasttype. Kravet tilfredsstilles der "*ingen relevante grensetilstander overskrides for noen av de relevante dimensjonerende situasjoner når dimensjonerende verdier for laster, lastvirkninger og kapasiteter er benyttet i beregningsmodellene."* (Standard Norge, 2016).

Tabell 3: Anbefalte verdier for ψ-verdier for bygninger (Standard Norge, 2016)

Tabell A1.1 – Anbefalte verdier for ψ-faktorer for bygninger

Last	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorier for nyttelaster i bygninger (se NS-EN 1991-1-1)			
Kategori A: innendørs bostedsarealer	0,7	0,5	0,3
Kategori B: kontorarealer	0,7	0,5	0,3
Kategori C: arealer hvor personer kan samles	0,7	0,7	0,6
Kategori D: forretningsarealer	0,7	0,7	0,6
Kategori E: lagerarealer	1,0	0,9	0,8
Kategori F: traffikkarealer, kjøretøyvekt ≤ 30kN	0,7	0,7	0,6
Kategori G: trafikkarealer, 30kN < kjøretøyvekt ≤ 160kN	0,7	0,5	0,3
Kategori H: tak	0	0	0
Snølaster på bygninger (se NS-EN 1991-1-3)*			
Finland, Island, Norge, Sverige	0,70	0,50	0,20
Øvrige CEN-medlemsland, for steder med beliggenhet H > 1000 m o.h.	0,70	0,50	0,20
Øvrige CEN-medlemsland, for steder med beliggenhet H ≤ 1000 m o.h.	0,50	0,20	0
Vindlaster på bygninger (se NS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatur (ikke brann) i bygninger (se NS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
MERKNAD ψ-verdiene kan fastsettes i det nasjonale tillegget. * For land som ikke er nevnt nedenfor, se relevante lokale vilkår.			

2.8.1 Bruddgrensetilstander

Under påvisning av tilfredsstillende bruddgrensetilstand, er det kritisk at en identifiserer og vurderer de mest ugunstige lasttilfellene for prosjektet. Dette fordi tilstanden vanligvis skal betrakte den maksimale bæreevnen i tillegg til eventuelle konsekvenser på HMS knyttet til mennesker og konstruksjonen i sin helhet.

For grunnleggende lastkombinasjoner i bruddgrensetilstanden, definerer EC0 ligningene 6.10a eller 6.10b som dimensjonerende (Standard Norge 2016). Ligning 6.10a benyttes dersom egenvekten er den dominerende lasten. Ligning 6.10b benyttes dersom variabel last er den dominerende lasten (f.eks snølast).

Tabell 4: Dimensjonerende verdier for laster i bruddgrensetilstanden (Standard Norge, 2016)

Vedvarende og forbigående dimensjo-nerende situasjoner	**Permanente laster**		**Domi-nerende variabel last (*)**	**Ikke-dominerende variable laster (*)**	
	Ugunstig	Gunstig	Last	Hovedlast	Andre laster
(Ligning 6.10a)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Ligning 6.10b)	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

2.9 Vindlaster

Tabell 5: Referansevindhastighet for eksempelviste kommuner

Kommune	$v_{b,0}$ m/s	Fylke
Halden	24	Østfold
Moss	24	Østfold
Sarpsborg	24	Østfold
Hurdal	22	Akershus
Oslo	22	Oslo
Kongsvinger	22	Hedmark

I NS-EN 1991-1-4 ligger referansevindhastigheten $v_{b,0}$ som er den gjennomsnittlige karakteristiske 10 minutters middelvindhastigheten gitt i de ulike kommunene. Den er en såkalt 50-års-vind, som betyr at sannsynligheten for at den overskrides et vilkårlig år er 1/50 (2%). For å finne den dimensjonerende vindlasten som treffer bygningen må man finne vindkasthastighetstrykket, som er den maksimale hastigheten (1-3 s) som bygget skal tåle. For å komme til denne, må en rekke faktorer og hendelser bli avklart.

Først og fremst må basisvindhastigheten v_b finnes. Denne er en korrigering av referansevindhastigheten ved formelen:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * c_{alt} * c_{prob} * v_{b,0} \tag{2.1}$$

Der:

- c_{dir} - retningsfaktor gitt i tabell NA.4 (901.4). Kan settes lik 1,0.
- c_{season} – årsfaktor, tabell NA.4 (901.5). Kan settes lik 1,0.
- c_{alt} – nivåfaktor etter NA.4.2(2)P(901.1).
- c_{prob} – returperiodefaktor ihht. NA.4.2(2)P.

$\boldsymbol{c_{dir}}$ senker hastigheten mellom 10-30% avhengig av region og retning, men for sikker side kan denne settes lik 1,0. For $\boldsymbol{c_{season}}$ vil basisvindhastigheten settes ned med 20% i mai-august, men denne er mindre vanlig å ta hensyn til i vanlige bygg. Høyden over havet (H) for byggestedet har mye å si for vindhastigheten. Nivåkorreksjonen $\boldsymbol{c_{alt}}$ begynner ved (H_0), som er høyden over havet der nivåkorreksjonen begynner. Hvis bygget ligger i et nivå lavere enn H_0, vil c_{alt} alltid være 1,0. Om H er større enn H_0, kan tabell NA.4(901.2) brukes for bestemmelse av nivåkorreksjonen. $\boldsymbol{c_{prob}}$ er returperiodefaktoren som brukes når returperioden velges forskjellig fra det normale (50 år). Hvis valgt forskjellig må man korrigere denne ihht. ligning 4.2 i eurokoden.

I tillegg til høyde er vind avhengig av terrengruhet. Disse faktorene blir påsatt basisvindhastigheten og blir kalt for stedsvindhastigheten $v_m(z)$. Formel 2.2 beskriver stedsvindhastigheten som:

$$v_m(z) = c_r(z) * C_o(z) * v_b \tag{2.2}$$

Der:

- $c_r(z)$ – ruhetsfaktor gitt i punkt 4.3.2.
- $c_o(z)$ – terrengformfaktor. Settes lik 1,0 med mindre annet er gitt i punkt 4.3.3.
- z – byggets høyde over terreng.

Ruhetsfaktoren angir variasjonen i stedvindhastigheten på byggestedet som følge av høyden over terrengnivå og terrengruheten på losiden av konstruksjonen i den aktuelle vindretningen. Formel 2.3 beskriver ruhetsfaktoren som:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right), \qquad for \;\; z_{min} < z < z_{max} \tag{2.3}$$

Der:

- z_0 – er ruhetslengden.
- k_r – er terrengruhetsfaktoren avhengig av ruhetslengden.

Terrengruhetsfaktoren k_r beregnes etter ligning 2.4:

$$k_r = 0{,}19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0{,}07} \quad (2.4)$$

Der:

- $z_{0,II}$ – er lik 0,05m (terrengkategori II etter tabell 4).

Tabell 4 gir 5 forskjellige kategorier for terrengruhet som varierer fra åpent hav til bykjerne. Oppgitt er terrengruhetsfaktoren k_r og ruhetslengden z_0, som varierer fra 0,003 m til 1,0 m.

Tabell 6: Terrengruhetskategori etter EC1

Kategorinummer	Terrengruhetskategori	k_r	z_0 (m)	z_{min}(m)
0	Åpent opprørt hav	0,16	0,003	2
I	Kystnær, opprørt sjø. Åpne vidder og strandsoner uten trær eller busker	0,17	0,01	2
II	Landbruksområde, område med spredte små bygninger eller trær	0,19	0,05	4
III	Sammenhengende småhusbebyggelse, industriområder eller skogsområder	0,22	0,3	8
IV	Byområde der minst 15 % av arealet er dekket med bygninger og deres gjennomsnittlige høyde overskrider 15 m. Barskogområder	0,24	1,0	16

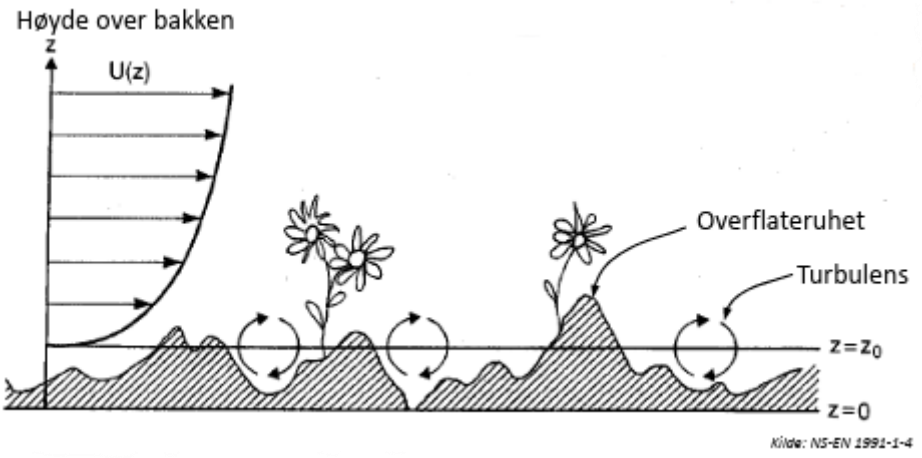
Vind har alltid en viss grad av turbulens. Dette betyr graden av uregelmessighet eller «kaotisk oppførsel» i vindstrømmen. Overflateruheten bremser vindhastigheten og skaper turbulens, illustrert i Figur 6. Turbulensintensiteten er definert som standardavviket σ_v av momentanvindhastigheten dividert med middelvindhastigheten (over 10 minutter) ved høyde z over terreng gitt i ligning 2.5:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}, \qquad for \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \tag{2.5}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}), \qquad for \quad z < z_{min}$$

Der:

- k_I- turbulensfaktor. Anbefalt verdi er 1,0.
- c_0 – terrengformfaktoren beskrevet under ligning 2.2.
- z_0 – ruhetslengden gitt i tabell 4.



Figur 2: Forenklet illustrasjon av turbulens (Landgraff, 2023)

2.9.1 Vindkasthastighetstrykket

Med alt på plass kan man endelig finne **vindkasthastighetstrykket**. Ligning 2.6 definerer denne som:

$$q_p(z) = 0{,}5\rho * v_m^2(z) * \left[1 + 2k_p I_v(z)\right] = \left[1 + 2k_p I_v(z)\right] * q_m(z) \qquad (2.6)$$

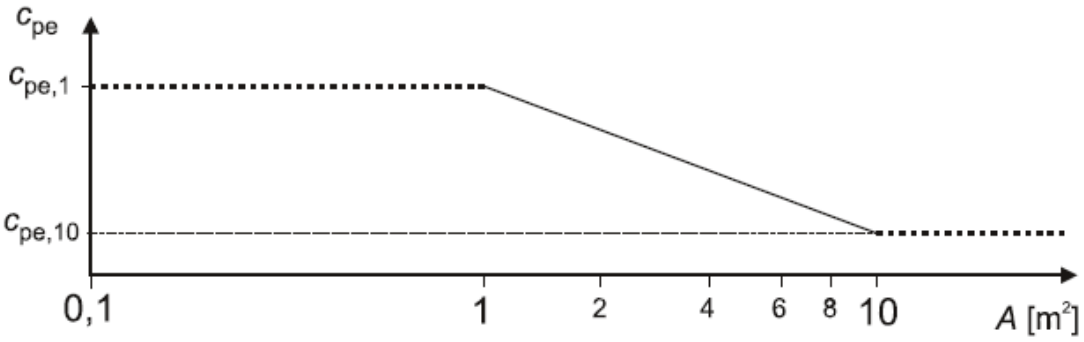
Der:

- $q_m(z)$ – stedsvindhastighetstrykket $\left(q_m(z) = 0{,}5\rho * v_m^2(z)\right)$.
- $I_v(z)$ – bestemmes etter ligning 2.5.
- k_p – toppfaktor lik 3,5.
- $v_m(z)$ – gitt ved ligning 2.2.
- ρ – luftens densitet = 1,25 kg/m^3.

2.9.2 Formfaktorer for vind

Formfaktoren ($c_{pe,1}$ eller $c_{pe,10}$) viser hvor stor del av vindtrykket den aktuelle flaten tar imot, avhengig av konstruksjonens form og hvordan den ligger i forhold til vinden. Intensiteten eller maksimalverdien blir større jo mindre flaten er, ettersom en stor flate fordeler kraften over et større areal.

- $c_{pe,1}$ – som gjelder et areal på ≤ 1,0 m^2
- $c_{pe,10}$ – gjelder et areal på ≤ 10 m^2
- $c_{pe,i}$ – når arealet er mellom 1,0 m^2 < A < 10 m^2 må $c_{pe,i}$ finnes ved interpolasjon
- A > 10 m^2 – Bruker $c_{pe,10}$



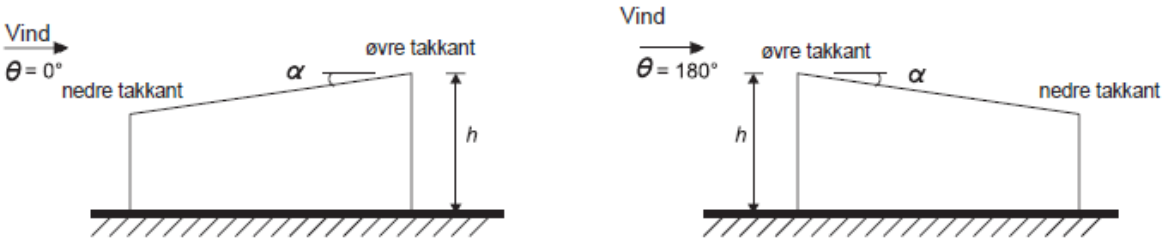
Figuren er basert på følgende:
for 1 m² < A < 10 m² $\quad c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$

Figur 3: Fremgangsmåte for bestemmelse av formfaktor

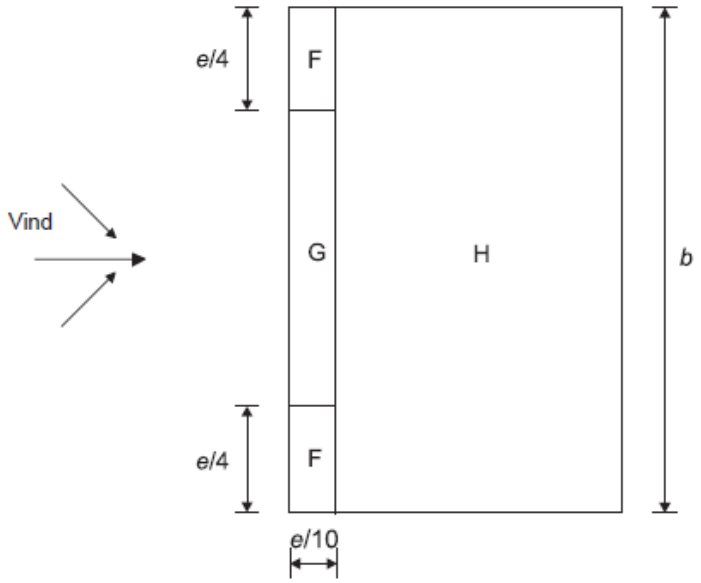
NS-EN 1991 angir soner for formfaktorene ettersom hvordan vinden treffer bygget, med kombinasjon av tabeller som gir verdier for formfaktorene i disse sonene. De anbefalte verdiene av utvendige formfaktorer er gitt for vertikale vegger og for tak. Men, siden man har varierende takkonstruksjoner vil det være forskjellige verdier for forskjellige taktyper. Formfaktorene som er i fokus i denne oppgaven er for vertikale vegger og pulttak, som illustrerer oppbygningen i dette prosjektet. Eksempelvis henvises formfaktorer for pulttak ved tabell 7 og soneinndelingen for denne ved figur 4:

Tabell 7: Utvendige formfaktorer for pulttak

Tak-vinkel α	Sone for vindretning θ = 0°						Sone for vindretning θ = 180°					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+ 0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	



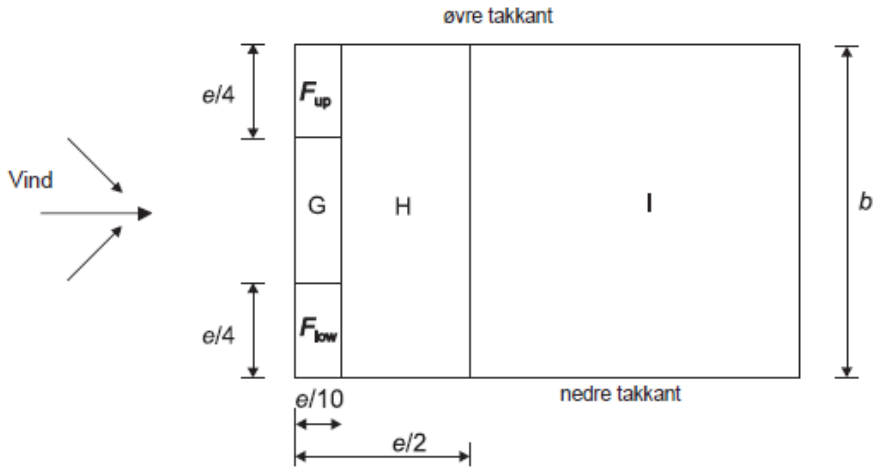
a) generelt



e = b eller 2h avhengig av hvilken som er minst

b: mål på tvers av vinden

(b) vindretninger $\theta = 0°$ og $\theta = 180°$



(c) vindretning $\theta = 90°$

Figur 4: Soneinndeling for pulttak

2.10 Snølast

2.10.1 Lasttilfelle

Beregning av vedvarende/forbigående dimensjonerende lasttilfelle iht. EC1 er:

$$s = \mu_i \, C_e \, C_t \, s_k \, ; \tag{2.7}$$

Der:

- μ_i er snølastens formfaktor
- s_k er karakteristisk snølast på mark
- C_e er eksponeringskoeffisienten
- C_t er den termiske koeffisienten

Koeffisientene bestemmes ut ifra metodikken gitt i EC1. For den termiske koeffisienten, settes den normalt til 1,0 for de fleste tilfeller, men kan variere dersom snølast kan reduseres på grunn av smelting fra varmetap (kilde). Se figur x for bestemmelse av eksponeringskoeffisient.

Tabell 8: Verdier for eksponeringskoeffisienten iht. EC1

Topografi	C_e
Vindutsatt [a]	0,8
Normal [b]	1,0
Skjermet [c]	1,2
[a] *Vindutsatt topografi*: flate områder uten hindringer, som gir eksponering på alle sider, helt uten eller med liten terrengbeskyttelse, høyere byggverk eller trær.	
[b] *Normal topografi*: områder der vinden ikke i vesentlig grad fjerner snø fra byggverk som følge av terreng, andre byggverk eller trær.	
[c] *Skjermet topografi*: områder der det aktuelle byggverket er vesentlig lavere enn terrenget omkring, eller er omgitt av høye trær og/eller av høyere byggverk.	

2.10.2 Karakteristiske verdier

Den karakteristiske verdien for bygget beregnes på bakgrunn av verdier hentet fra EC1 (se figur 1). Videre bestemmes s_k slik:

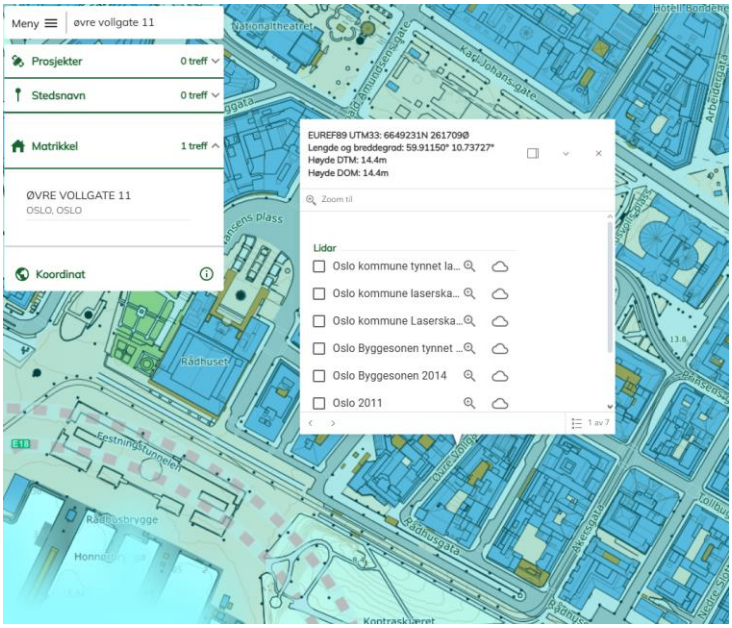
$$s_k = s_{k0} + n\,\Delta s_k\,, n = \frac{H - H_g}{100} \tag{2.8}$$

Der:

- s_{k0} er grunnverdien
- Δs_k er høydetillegg, Hentet fra EC1, tabell NA.4.1(901)
- n er korrigerende factor for høydetillegg over høydegrense.
- H er byggestedets høyde over havet
- H_g er høydegrensen for kommunen, tabell NA.4.1(901)

Tabell 9: Karakteristisk snølast på mark for kommuner EC1

Kommune	$s_{k,0}$ kN/m²	H_g m	Δs_k kN/m²	$s_{k,maks}$ kN/m²
Hurdal	5,0	250	1,0	6,5
Lørenskog	4,0	250	1,0	6,5
Nannestad	4,5	250	1,0	6,5
Nes	3,5	250	1,0	6,5
Nesodden	3,5	150	1,0	–
Nittedal	4,5	250	1,0	6,5
Oppegård	3,5	150	1,0	–
Rælingen	4,0	250	1,0	6,5
Skedsmo	4,0	250	1,0	6,5
Ski	3,5	250	1,0	6,5
Sørum	4,0	250	1,0	6,5
Ullensaker	4,5	350	1,0	6,5
Vestby	3,5	150	1,0	–
Ås	3,5	150	1,0	–
Oslo				
0–150 m.o.h.	3,5	–	–	–
151–250 m.o.h.	4,5	–	–	–
251–350 m.o.h.	5,5	–	–	–
> 350 m.o.h.	6,5	–	–	–
Hedmark				
Alvdal	4,0	650	1,0	6,5
Eidskog	3,5	250	1,0	6,5
Elverum	4,0	250	1,0	6,5
Engerdal	4,0	650	1,0	6,5
– nær Trøndelag	4,0	650	1,0	7,5
Folldal	4,0	850	1,0	6,5
– nær Trøndelag	4,0	850	1,0	7,5
Grue	3,5	250	1,0	6,5



Figur 5: Høydedata for den aktuelle lokasjonen

2.10.3 Formfaktor for snølast

Formfaktoren defineres som forholdet mellom snølast på tak og snølast uten snødriver på mark uten ekstern påvirkning. Denne bestemmes med hensyn på takvinkelen, og elementer på taket som fungerer som hindringer. Dersom snøfangere benyttes, skal denne formfaktoren settes som $\mu_i \geq 0{,}8$.

2.11 Nyttelast

Nyttelaster klassifiseres som frie og variable påkjenninger, og oppstår under bruk. Disse typer laster skal på lik linje med de andre lastene plasseres og kombineres slik at en tar hensyn til de mest ugunstige situasjonene. Laster av denne typen oppstår fra personer, møbler, gjenstander og biler, eller som generelle laster fra konstruksjonsarealets respektive brukskategori (se Tabell 11). NS-EN 1991-1-1 kategoriserer arealtyper og gir verdier på nyttelaster for de ulike typer kategorier (Tabell 12).

Tabell 10: Formfaktor for snølast iht. EC1

Takvinkel α	**$0° \leq \alpha \leq 30°$**	**$30° < \alpha < 60°$**	**$\alpha \geq 60°$**
$\mu_1(\alpha)$	$\mu_1(0°) \geq 0{,}8$	$\mu_1(0°)\ \frac{(60° - \alpha)}{30°}$	0,0
$\mu_2(\alpha)$	0,8	$0{,}8\ \frac{(60° - \alpha)}{30°}$	0,0
$\mu_3(\alpha)$	0,8 + 0,8 α/30	1,6	--

2.11.1 Brukskategori og verdi for nyttelast

Tabell 11: Brukskategori iht. NS-EN 1991-1-1

Kategori	Spesifikk bruk	Eksempel
A	Arealer for inneaktiviteter og hjemmeaktiviteter	Rom i boligbygg og hus; sengerom og behandlingsrom i sykehus; soverom i hoteller og gjestgiverier; kjøkken og toaletter.
B	Kontorarealer	
C	Arealer der personer kan samles (med unntak av arealer som er definert i kategori A, B og D[1)])	**C1**: Arealer med bord osv., f.eks. i skoler, kafeer, restauranter, spisesaler, leserom, resepsjoner osv. **C2**: Arealer med faste seter, f.eks. arealer i kirker, teatre eller kinosaler, konferanserom, forelesningssaler, forsamlingssaler, venterom medregnet forhall på jernbanestasjoner osv. **C3**: Arealer uten hindringer for personer i bevegelse, f.eks. arealer i museer, utstillingsrom osv., og ankomstområder i offentlige bygg og administrasjonsbygg, hoteller, sykehus, jernbanestasjonshaller. **C4**: Arealer med mulighet for fysiske aktiviteter, f.eks. dansesaler, gymnastikkrom, scener osv. **C5**: Arealer som lett overfylles, f.eks. i bygg for offentlig bruk, som konsertsaler, idrettshaller medregnet tribuner og atkomstområder og jernbaneperronger.
D	Forretningsarealer	**D1**: Arealer i vanlig detaljhandel. **D2**: Arealer i varehus.
[1)] Det gjøres oppmerksom på 6.3.1.1(2), særlig for C4 og C5. Se NS-EN 1990 når det må tas hensyn til dynamiske effekter. For kategori E, se tabell 6.3.		
MERKNAD 1 Oppdragsgiver og/eller det nasjonale tillegget kan fastsette at arealer som normalt kan settes i kategori C2, C3, C4, avhengig av bruk, kan settes i kategori C5. MERKNAD 2 Underkategorier til A, B, C1 til C5, D1 og D2 kan gis i det nasjonale tillegget. MERKNAD 3 Se 6.3.2 for lagrings- eller industrivirksomhet.		

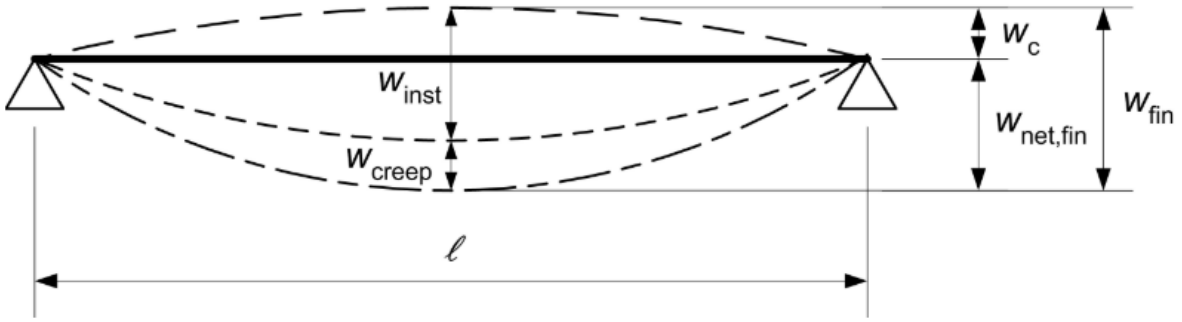
Tabell 12: Verdi for nyttelast iht. Brukskategori

Kategorier for belastede områder	q_k [kN/m^2]	Q_k [kN]
Kategori A		
– Gulv	1,5 til 2,0	2,0 til 3,0
– Trapper	2,0 til 4,0	2,0 til 4,0
– Balkonger	2,5 til 4,0	2,0 til 3,0
Kategori B	2,0 til 3,0	1,5 til 4,5
Kategori C		
– C1	2,0 til 3,0	3,0 til 4,0
– C2	3,0 til 4,0	2,5 til 7,0 (4,0)
– C3	3,0 til 5,0	4,0 til 7,0
– C4	4,5 til 5,0	3,5 til 7,0
– C5	5,0 til 7,5	3,5 til 4,5
Kategori D		
– D1	4,0 til 5,0	3,5 til 7,0 (4,0)
– D2	4,0 til 5,0	3,5 til 7,0

2.12 Nedbøyning

EC5-1-1, punkt 2.2.3(1), beskriver deformasjonsutviklingen når lastvirkninger virker på en konstruksjon. Laster som aksialkrefter, skjærkrefter, bøyemomenter eller glidning i forbindelser er nevnt her med en addisjon av fukt. Skadene fra disse skal ikke være så store at:

- dem kan forårsake skade på overflater;
- hindrer at krav til konstruksjonens funksjon kan oppnås;
- krav til utseende ikke tilfredsstilles



Figur 6: Nedbøyningskomponenter etter EK5-1-1

(2) Den umiddelbare nedbøyningen u_{inst} beregnes etter den karakteristiske lastkombinasjonen i henhold til NS-EN 1990, punkt 6.5.3(2) a) med middelverdier av de aktuelle elasitetsmoduler, skjærmoduler og glidemoduler:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" P "+" } Q_{k,1} \text{" + "} \sum_{i>1} \psi_{0,i} * Q_{k,i} \qquad (2.9)$$

(3) Den endelige deformasjonen u_{fin} (w_{fin}), beregnes ved å superposisjonere krypdeformasjonen u_{creep} i den kvasi-permanente lastkombinasjonen gitt i NS-EN 1990:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" P "+" } \sum_{i\geq 1} \psi_{2,1} * Q_{k,i} \tag{2.10}$$

Disse brukes for langtidsdeformasjoner og konstruksjonens utseende etter punkt 6.5.3(2) c).

(5) For konstruksjoner som består av deler, komponenter og forbindelser med samme krypsegenskaper med forutsatt lineært forhold mellom påkjenninger og tilhørende deformasjoner, kan den endelige deformasjonen u_{fin} (som en forenkling av 2.2.3(3)) settes som:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_i} + \sum u_{fin,Q_i} \tag{2.11}$$

der:

- $u_{fin,G} = u_{inst,G} * (1 + k_{\text{def}})$ for en permanent last G
- $u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} * \left(1 + \psi_{2,1} * k_{\text{def}}\right)$ for den dominerende variable lasten Q_1
- $u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} * \left(\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{\text{def}}\right)$ for de resterende variable lastene (i > 1)
- $u_{inst,G}, u_{inst,Q,1}, u_{inst,Q,i}$ er de umiddelbare deformasjonene for lastene G, Q_1, Q_i;
- $\psi_{2,1}, \psi_{2,i}$ er faktorene for den kvasi-permanente verdien av variable laster;
- k_{def} er deformasjonsfaktoren for kryp for tre og trebaserte materialer

Tabell 13: Krav til maksimal nedbøyning iht. NS-EN 1990:2002+A1:2005+AC:2010+NA

Konsekvenser	Lastsituasjon som brukes	Anbefalte største tillatte nedbøyningsverdier
Konstruksjon der nedbøyning fører til skader	*karakteristisk*	fastsettes i det enkelte prosjektet
Konstruksjoner der det på grunn av bruk eller utstyr stilles krav	*ofte forekommende*	fastsettes i det enkelte prosjektet
Konstruksjoner med alminnelige brukskrav eller estetiske krav	*tilnærmet permanent*	*L*/200 - *L*/250

Krav til maksimal nedbøyning fastsettes etter tabell 13. Deformasjonsfaktoren bestemmes etter materiale, klimaklasse og lastvarighetsklasse for den gitte situasjon, oppgitt i tabell 15. Klimaklassen beskriver den relative fuktigheten i lufta og fuktighetsinnholdet for trevirke med eksempler på fuktighetsinnholdet, gitt i tabell 14. For ψ-faktorene gjelder tidligere tabell 1.

Tabell 14: Klimaklasser gitt i EC5, Tabell NA.901

Klima-klasse	Relativ luftfuktighet RF	Fuktighetsinnhold for trevirke[a] ω	Eksempler
1	RF < 65 %	$\omega < 12$ %	— lastbærende elementer innendørs i rom som vanligvis er oppvarmet; — loftsbjelkelag og lastbærende takkonstruksjoner i kalde, men luftede loftsrom over rom som vanligvis er oppvarmet; — yttervegger i bygninger som vanligvis er oppvarmet og som er beskyttet av dampsperre på varm side og av bl.a. vindsperre.
2	65 % ≤ RF ≤ 85 %	$12\ \% \le \omega \le 20\ \%$	— lastbærende elementer i bygninger som vanligvis ikke er oppvarmet, men ventilerte; — konstruksjoner i friluft, når disse er effektivt beskyttet mot regn og vann.
3	RF > 85 %	$\omega > 20$ %	— konstruksjoner som ikke er beskyttet mot regn og vann; — konstruksjoner som er i direkte kontakt med terreng.
[a] Tilnærmet fuktighetsinnhold for konstruksjonsvirke av gran og furu ved 20 °C.			

Tabell 15: Verdier av deformasjonsfaktor k_{mod}

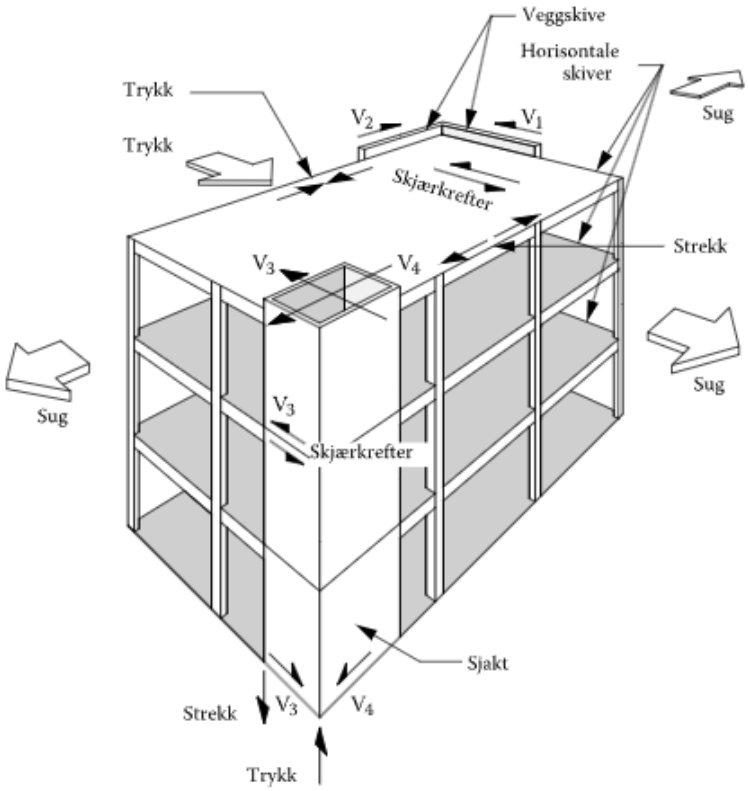
Materiale	Standard	Klima-klasse	Lastvarighetsklasse				
			Permanent last	Langtids-last	Mellom-langtids-last	Korttids-last	Øyeblikks-last
Konstruk-sjonstre	NS-EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Limtre	NS-EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Parallell-finer	NS-EN 14374 og NS-EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Kryssfiner	NS-EN 636						
	Type NS-EN 636-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Type NS-EN 636-2	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Type NS-EN 636-3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB-plater	NS-EN 300						
	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	OSB/3 og OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	OSB/3 og OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Sponplater	NS-EN 312						
	Type P4, Type P5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	Type P5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
	Type P6 og Type P7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	Type P7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Trefiber-plater, harde	NS-EN 622-2						
	HB.LA, HB.HLA 1 eller 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	HB.HLA 1 eller 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Trefiber-plater, middels harde	NS-EN 622-3						
	MBH.LA1 eller 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS1 eller 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS1 eller 2	2	–	–	–	0,45	0,80
Trefiber-plater, plater framstilt ved tørrmetode (MDF)	NS-EN 622-5						
	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MDF.HLS	2	–	–	–	0,45	0,80

2.13 Avstivning

Avstivningssystemer fungerer på den måten at de yter tilstrekkelig motstand mot alle mulige forskyvninger inkludert rotasjoner, samt at de skal kunne føre kreftene som opptrer ned til grunnen. Dette fører til at konstruksjonens stabilitet blir ivaretatt. Særlig er det horisontal forskyvning man legger mest vekt på. Disse kreftene oppstår vanligvis av vind eller andre ulykkeslaster som støt og jordskjelv (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015), men kan i tillegg oppstå på grunn av eksentrisitet i bærende konstruksjoner.

2.13.1 Avstivende skivesystemer

Skivesystemer består av horisontale-/vertikale skiver eller plater som dekker, heissjakt, skiver ved trapp m.m. Denne avstivningsmetoden brukes for bygg i alle høyder, og er den mest aktuelle løsningen for bygg i høyden. Som oftest blir det brukt elementer i betong som strekker seg fra fundamentet til toppen av konstruksjonen, men skiveavstivninger av massivtre blir mer og mer populært i dagens prosjekter. Dette skyldes stort sett av miljøpåvirkningen betongproduksjon medbringer. Massivtre har lavere densitet enn betong som gir større begrensninger til stivhet eller elasitetsmodul. I tillegg må massivtre dimensjoneres for brannmotstand og vibrasjon, der hvor betong er ikke-brennbart og gir mindre merkbare vibrasjoner.



Figur 7: Modell for avstivningssystem (Betongelementforeningen, 2016)

2.14 Rammer

Rammer er en bærende struktur, ofte laget av stål eller tre som inkluderer søyler, bjelker og staver. Ved å sette opp rammer i et system danner det et slags skjelett for konstruksjonen ved at den tar krefter som, moment, skjær, trykk og normallaster og viderefører disse til opplegg.

2.15 Bjelker og søyler

Bjelker er horisontale konstruksjonselementer som brukes i bygg for å bære og fordele belastning fra nyttelaster og andre deler av strukturen, for eksempel fra tak eller etasjeskiller. De fungerer ved å overføre lasten videre til vertikale støtteelementer som søyler eller vegger, og videre inn til fundament, hvor disse har generelt samme oppgave.

2.16 Generell tverrsnittskapasitet

Ved dimensjonering av ståltversnitt må det verifiseres at spenningspåkjenningen ikke overstiger materialets flytgrense. For spenningskombinasjoner i flere planer benyttes det et interaksjonsuttrykk som tar hensyn til både normalspenninger og skjærspenninger basert på von Mises' flyteteori. Generell tverrsnittskapasitet beregnes etter elastisitetsteorien for et kritisk punkt der EC3 likning (6.1) definerer flytekriteriet som:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{\frac{f_y}{\gamma M0}}\right)^2 \leq 1 \qquad (2.12)$$

Der

$\sigma_{x,Ed}$ er dimensjonerende normalspenning for lengderetning

$\sigma_{z,Ed}$ er dimensjonerende normalspenning for tverretningen

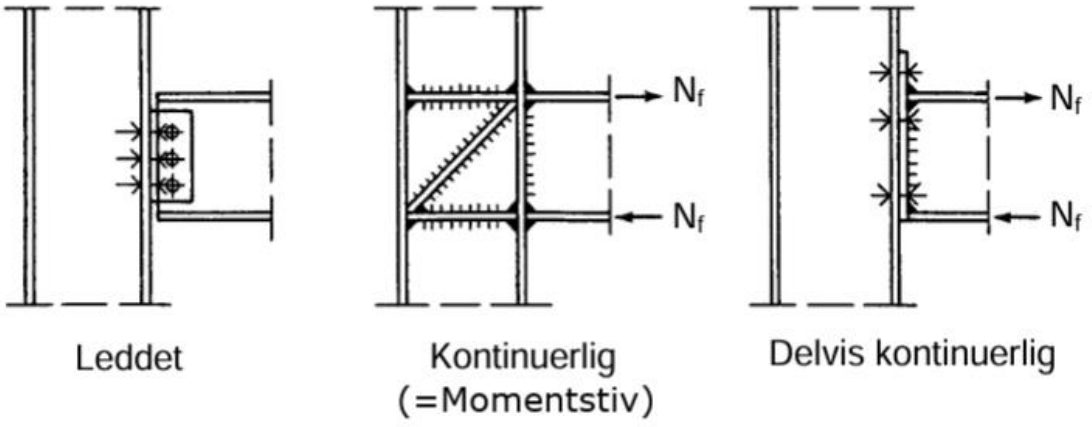
τ_{Ed} er dimensjonerende skjærspenning

2.17 Knutepunkter for stålkonstruksjoner

Knutepunkter blir beskrevet i EC3 som det punktet hvor to eller flere staver festes til hverandre. Knutepunkter spiller en avgjørende rolle for konstruksjonen, der motstandsevnen her har like mye betydning som styrken til bæreelementene. I stålkonstruksjoner kan stavene kobles sammen ved hjelp av sveiseforbindelser, skrueforbindelser eller en kombinasjon av begge. Skrudde forbindelser mellom søyler og bjelker foretrekkes ofte i bæresystemer, da de forenkler monteringsarbeidet ved å dele opp konstruksjonen i flere håndterbare deler. Imidlertid har sveiser sine egne fordeler, der et kontinuerlig knutepunkt tar moment og samtidig minsker stresset som kommer på elementet. Prosjektering av stålkonstruksjoner dekkes av Eurokode 3: NS-EN 1993, hvor prosjektering av knutepunkter dekkes i del 1-8 og generelle krav til dimensjonering i del 1-1.

2.17.1 Klassifisering av knutepunkter

For beregningen består knutepunkter av ulike komponenter som sammen gir egenskaper for overføring av lastvirkningene mellom de koblede stavene. Standarden skiller derfor mellom tre ulike knutepunkter: leddet, kontinuerlig og delvis kontinuerlig. Det må avgjøres om det skal tas hensyn til virkningen av moment-rotasjon-relasjonen til de forskjellige knutepunktene. Et leddet knutepunkt klassifiseres som fri til å rotere, som resulterer i at momentet ikke vil bli fordelt videre, men knutepunktet kan overføre krefter i lengde- og tverretning. For et kontinuerlig knutepunkt vil knutepunktet derimot være fastholdt mot rotasjon og vil overføre rotasjon, noe som gjør at moment-rotasjon-relasjonen ikke har betydning for analysen og momentfordelingen vil være mer kompleks. For delvis kontinuerlige knutepunkter må moment-rotasjon-relasjonen tas hensyn til for å vurdere hvor mye moment som faktisk kan overføres.



Figur 8: Eksempler på Leddet, Kontinuerlig og Delvis kontinuerlig knutepunkt (Ji, 2024)

2.18 Fundament

Meningen med et fundament er at det skal overføre de samlede lastene fra bygget til grunnen på en sikker og stabil måte. Primærfunksjonen er å sikre stabilitet i bygget ved å hindre velt og setninger (forskyvninger) forårsaket av forskjeller i grunnforhold og lastmengde og ha god nok bæreevne til å håndtere den største påkjenningen som teoretisk er mulig. Avgjørende av grunnforhold finnes det to hovedtyper av fundamentering: «Direkte Fundamentering» og «Dypfundamentering». Direkte fundamentering benyttes der bæredyktige jordmasser finnes nær overflaten i typiske former som sålefundamenter, stripefundamenter eller platefundamenter. Dyp fundamentering brukes der slike masser befinner seg dypere i grunn, hvor peler/pilarer, brønner eller andre metoder brukes for å nå fast grunn (Thue, 2025).

Sekundære funksjoner fundamentet dimensjoneres for som frostskader må sikres. Eksempler som grunnvannsnivå og telefarlig grunn vil endre utformingen av fundamentet tilpasset grunnforholdene for å unngå uønskede komplikasjoner. Miljømessige påkjenninger som fukt, erosjon og temperatursvingninger vil også ha store innvirkninger som fundamentet må beskyttes for.

2.19 Brannkrav/-beskyttelse

Brannsikkerhet er en viktig del av prosjekteringen av bygget, noe man ikke kan utelate. Ifølge TEK17 under § 11-1 er det 4 generelle krav til sikkerhet ved brann som stiller krav til å ivareta sikkerhet for mennesker, eiendom og miljø:

1) Bygg må utformes slik at personer som oppholder seg i eller rundt byggverket er trygge ved en eventuell brann. I tillegg skal materielle verdier og miljø- og samfunnsmessige interesser beskyttes.

2) Det må være gode muligheter for å beskytte mennesker og husdyr ved brann, både utvendig og innvendig for personer i byggverket og for effektiv slokkeinnsats.

3) Byggverk skal plasseres og konstrueres slik at risikoen for at brann sprer seg til nærliggende bygninger er lav.

4) For byggverk hvor en brann kan gi store konsekvenser for miljøet eller samfunnsinteresser, kreves det at prosjekteringen av byggverket gir liten sannsynlighet for skade på miljøet eller interesser under brann.

Byggverk eller ulike bruksområder i et byggverk klassifiseres i risikoklasser etter tabellen nedenfor, basert på hvilken trussel en brann kan føre for liv og helse. Disse risikoklassene danner grunnlaget for prosjektering og utførelse, med mål om å sikre trygg evakuering og effektiv redningsinnsats ved brann (Tabell 16).

Tabell 16: Risikoklasser, § 11-2 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017)

Risikoklasser	Byggverk kun beregnet for sporadisk personopphold	Personer i byggverk kjenner rømningsforhold, herunder rømningsveier, og kan bringe seg selv i sikkerhet	Byggverk beregnet for overnatting	Forutsatt bruk av byggverk medfører liten brannfare
1	ja	ja	nei	ja
2	ja/nei	ja	nei	nei
3	nei	ja	nei	ja
4	nei	ja	ja	ja
5	nei	nei	nei	ja
6	nei	nei	ja	ja

Ut ifra konsekvensen en brann kan ha for liv, helse og miljø, blir også brannklasser introdusert. Klassene er rangert fra 1-4, hvor brannkonsekvensen går fra «Liten» til «Særlig stor». Ettersom man har vurdert risikoklasse og hvor enkelt det er for mennesker å evakuere under en brann, kan man finne ut hvilken brannklasse bygget er i etter tabell 17:

Tabell 17: Brannklasse (BKL) for byggverk, § 11-3 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017)

Risikoklasse	Antall etasjer			
	1	*2*	*3 og 4*	*5 eller flere*
1	–	BKL 1	BKL 2	BKL 2
2	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
3	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
4	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
5	BKL 1	BKL 2	BKL 3	BKL 3
6	BKL 1	BKL 2	BKL 2	BKL 3

Byggverket må også prosjekteres slik at bygget i sin helhet har tilfredsstillende sikkerhet med tanke på bæreevne og stabilitet under brann. Hensikten er at konstruksjonen skal holde i god nok tid før rømning, redning eller slokking. Under henvises tabell 18, som gir brannmotstandskravene til de ulike bygningsdelene avhengig av brannklasse.

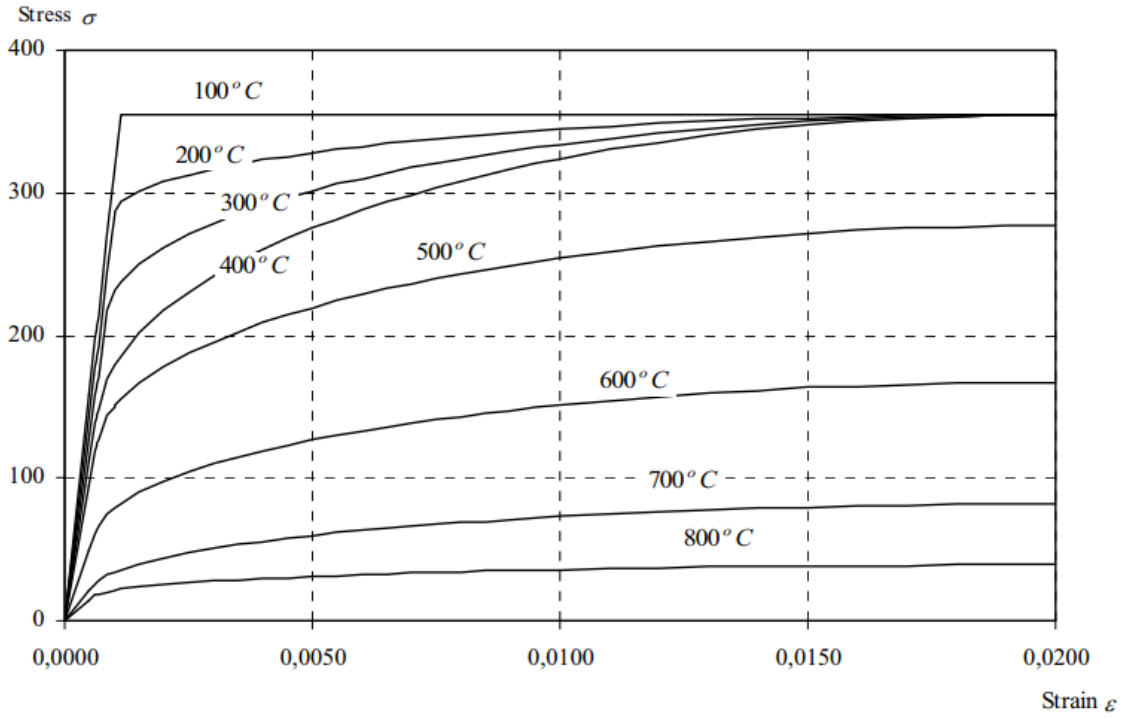
Tabell 18: Bærende bygningsdelers brannmotstand avhengig av brannklasse, § 11-4 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017)

	Brannklasse		
Bygningsdel	**1**	**2**	**3**
Bærende hovedsystem	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 90 A2–s1,d0 [A 90]
Sekundære, bærende bygningsdeler, etasjeskillere og takkonstruksjoner som ikke er del av hovedbæresystem eller stabiliserende	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 60 A2–s1,d0 [A 60]
Trappeløp	–	R 30 [B 30]	R 30 A2–s1,d0 [A 30]
Bærende bygningsdeler under øverste kjeller	R 60 A2–s1,d0 [A 60]	R 90 A2–s1,d0 [A 90]	R 120 A2–s1,d0 [A 120]
Utvendig trappeløp, beskyttet mot flammepåvirkning og strålevarme	–	R 30 [B 30] eller A2–s1,d0 [ubrennbart]	A2–s1,d0 [ubrennbart]

Brannteknisk dimensjonering på konstruksjoner følges etter Eurokode 1: NS-EN 1991 del 1-2 (Laster på konstruksjoner ved brann). Spesifikk dimensjonering for stålkonstruksjoner følges i henhold til Eurokode 3: NS-EN 1993 del 1-2, og for trekonstruksjoner følges Eurokode 5: NS-EN 1995 del 1-2.

2.19.1 Materialegenskaper til stål ved stigende temperatur

Ved stigende temperatur, reduseres både styrke og stivhet for stålmaterialet. Under henvises figur 9 som illustrerer motstanden (spenning i forhold til tøyning) for karbonstål ved kvalitet S355, der S355 ifølge NS-EN 10025-2:2019 betegner konstruksjonsstål med minimum spesifisert flytegrense på 355 MPa for tykkelser ≤ 16mm (Standard Norge, 2019). For økende temperaturer, er det verdt å merke seg at den elastiske fasen for materialet forkortes, dette innebærer at flytegrensen vil nås ved reduserte spenningsnivåer og materialet tidligere deformeres permanent. Eksempelvis kan man ut ifra figuren se at elastisitetsmodulen ved 600ºC reduseres med nærmere 70%, noe som fører til at flytegrense reduseres med over 50% av opprinnelig verdi ved temperatur = 20ºC.

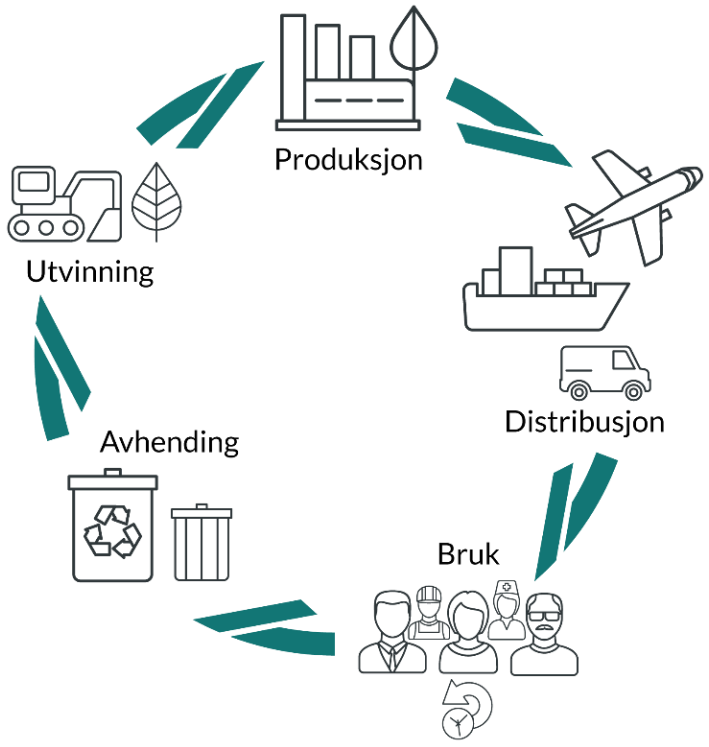


Figur 9: spenning-/tøyningsforhold for S355 karbonstål ved økte temperaturer (Franssen og Real, 2010, s.369)

2.20 Klimagassutslipp

Klimagassutslipp refererer til utslipp eller gasser som bidrar til drivhuseffekten og videre jordas klima (Store norske leksikon, 2024). Effekten kommer av at gasser som karbondioksid og metan absorberer varmestråling i klodens atmosfære. Over tid vil dette føre til forsterkning av den globale oppvarmingen. I byggesektoren skyldes klimagassutslipp i stor grad av produksjon, logistikk, behandling av byggematerialer, samt energibruk under byggefasen.

For å kunne vurdere og sammenligne påvirkningen fra ulike konstruksjonsmaterialer, benyttes metoden livsløpsanalyse (Life Cycle Assessment). En livsløpsanalyse er en metode som kartlegger relevante miljøkonsekvenser knyttet til et produkts livssyklus. Fra råvareutvinning og produksjon, videre til bruk, vedlikehold og behandling av produktet som avfall. (Bakshi, 2019, s. 141-173).

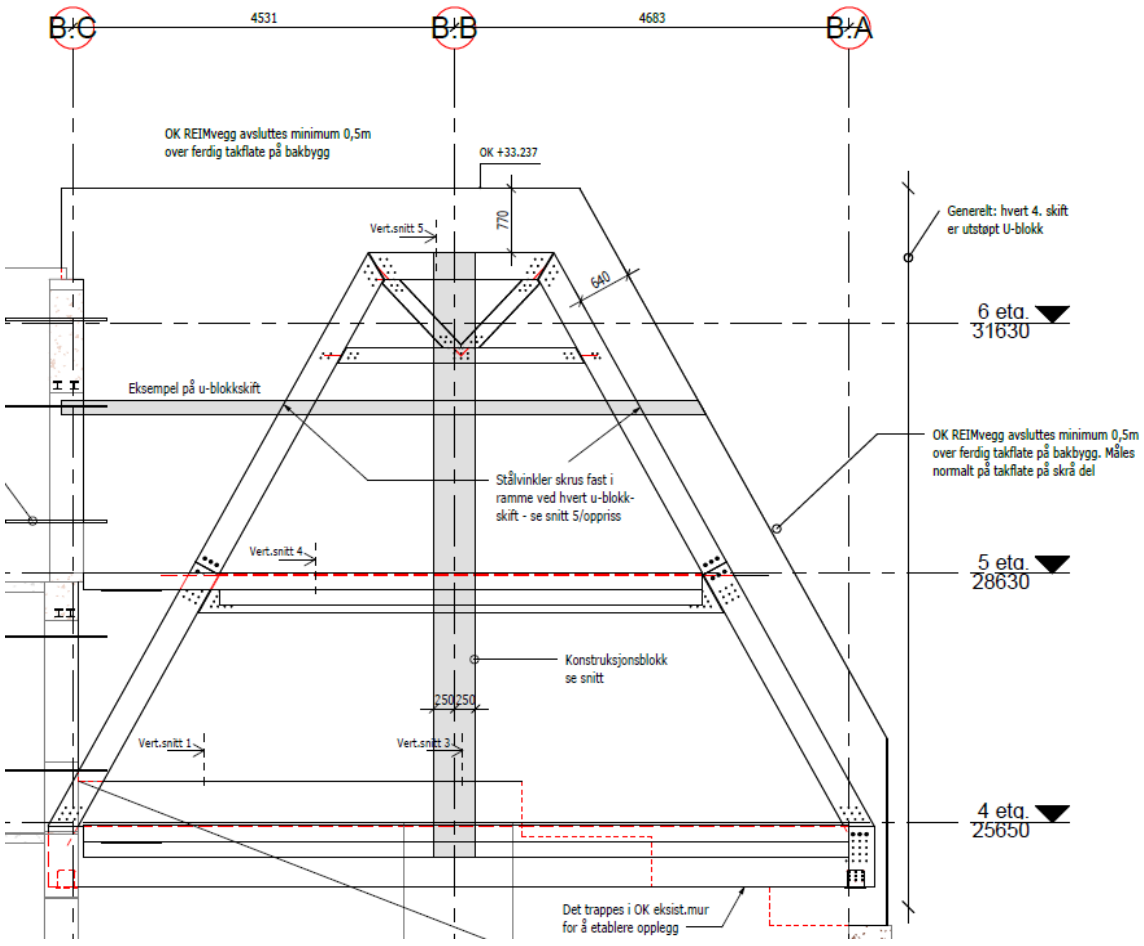


Figur 10: Livsløpet til et produkt (LCA.no, 2025)

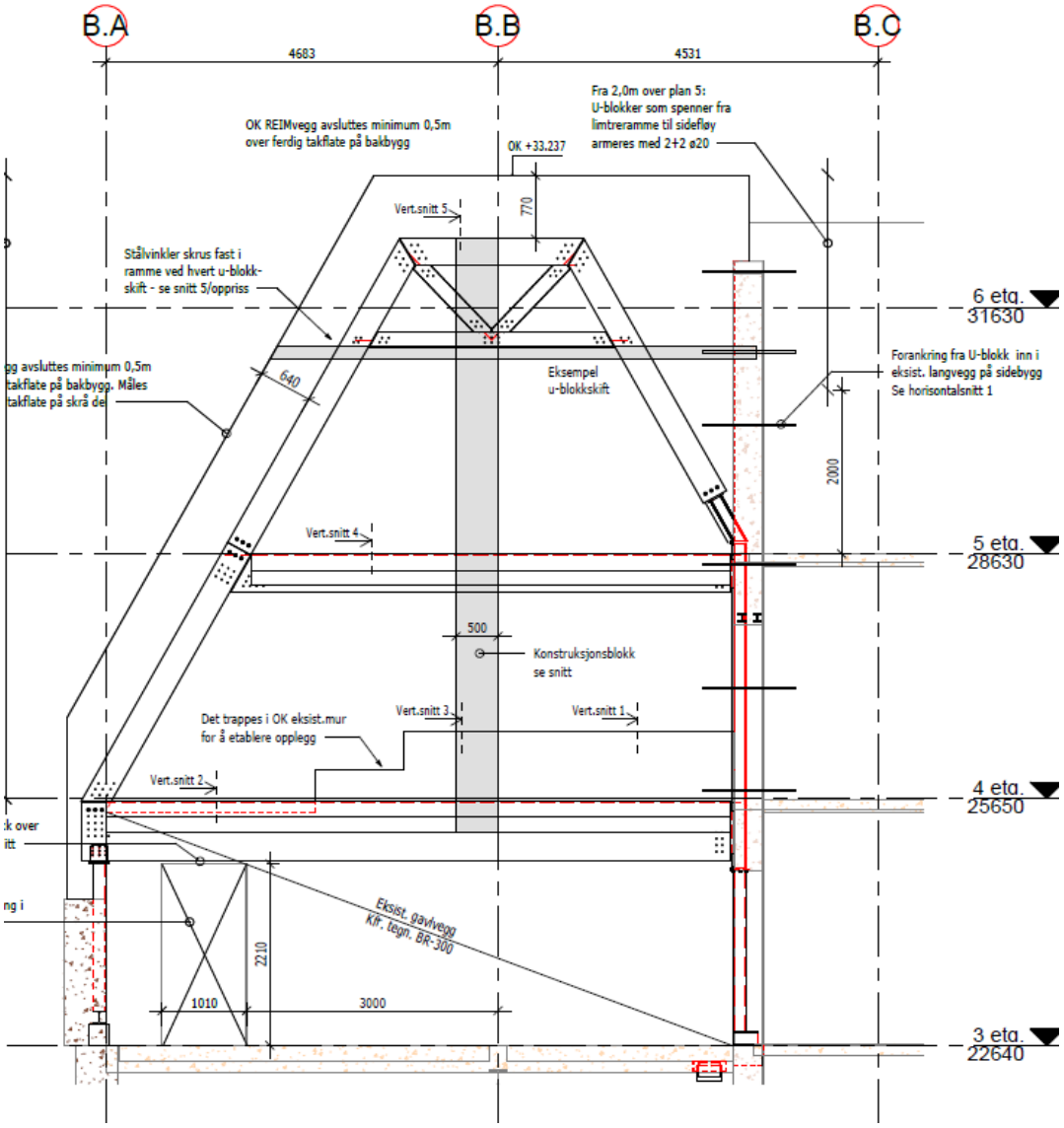
3 Case/ Materialer

3.1 Nåværende rammekonstruksjon

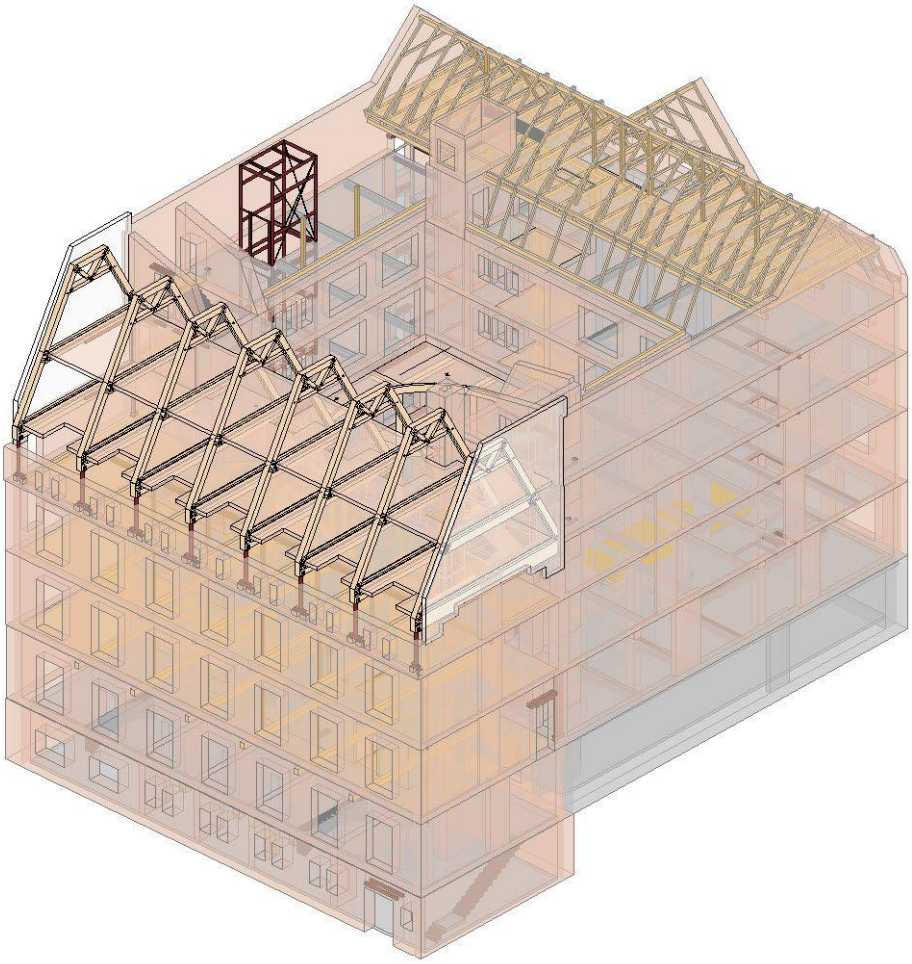
Den eksisterende konstruksjonsløsningen av påbygget består av limtre-bjelker og søyler, hvor til sammen lager 8 rammer som har sin funksjon som tak/vegg og etasje i ett. Under ser man figur 11 og 12 som viser oppbygningen til rammen. Ved den nederste bjelken er det innfestet bjelkesko koblet til HEB- stålprofiler, hvor disse ligger oppå betongstøp forankret innad veggen. Utklipp av hele systemet vises i figur 16, hvor dekket er av massivtre som også funker som en horisontal avstivning for påbygget.



Figur 11: Ramme av limtre, nr. 1



Figur 12: Ramme av limtre, nr. 2



Figur 13: Rammekonstruksjon av limtre (Stabil AS, u.d)

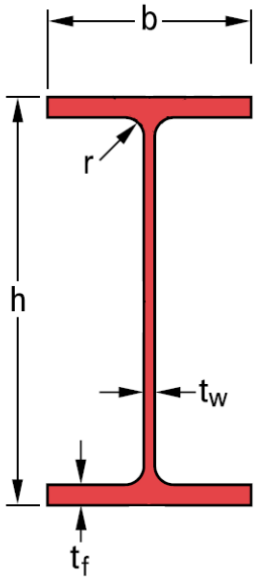
3.2 Rammekonstruksjonen i stål

3.2.1 Diagonal- og søyleprofil – IPE330

IPE330 blir valgt for rammens diagonaler og søyler. Dette er grunnet bjelkens lave vekt og høye motstandsmoment som gjør den ideell for rammekonstruksjoner i stål. For søylene velges disse for en mer praktisk sammenkobling. Disse vil bli sveist sammen til nabokomponentene og danner stive knutepunkter. I denne situasjonen vil sveiste knutepunkter være en fordel, der sveisene er med på å ta bøyningen som forekommer på systemet. Dette vil gi mindre stress på HSQ-bjelkene, samtidig som det sikrer at man ikke trenger å øke tverrsnittet til bjelkene som også øker vekten til påbygget. Profilens stålsort blir valgt til S275.

Tabell 19: Parametere for IPE-bjelker

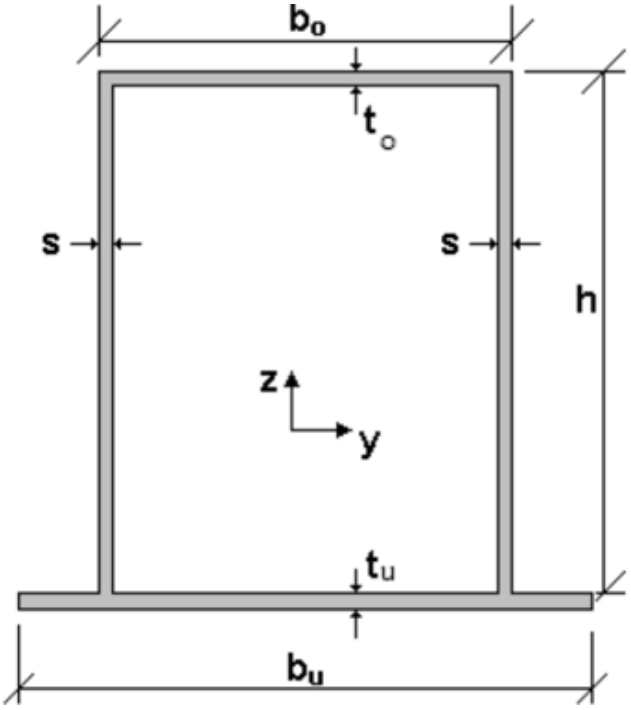
IPE	Dimensjoner (mål i mm)					Masse [Kg/m]	A $\cdot 10^{-3}$ mm^2	y-y		z-z		I_T $\cdot 10^{-3}$ mm^4	S_y $\cdot 10^{-3}$ mm^3	C_w $\cdot 10^{9}$ mm^6
	h	b	t_w	t_f	r			$I \cdot 10^{-6}$ mm^4	$W \cdot 10^{-3}$ mm^3	$I \cdot 10^{-6}$ mm^4	$W \cdot 10^{-3}$ mm^3			
330	330	160	7,5	11,5	18	49,1	6,26	7,88	98,5	7,88	98,5	283	402	199,1



Figur 14: Dimensjoner for IPE-bjelker

3.2.2 Bjelkeprofil

Det velges å bruke HSQ-bjelker for begge etasjene der massivtreelementene vil hvile på flensene for enklest mulig montering. Andre fordeler ved denne profilen er at det har meget gode egenskaper for vridning i tillegg til lastkapasitet som følge av geometrien, samt at sveiste forbindelser kan skreddersys til et hvert prosjekt og optimaliseres (Norsk Stålforbund, 2025). Stålsort valgt for bjelkene er S355.

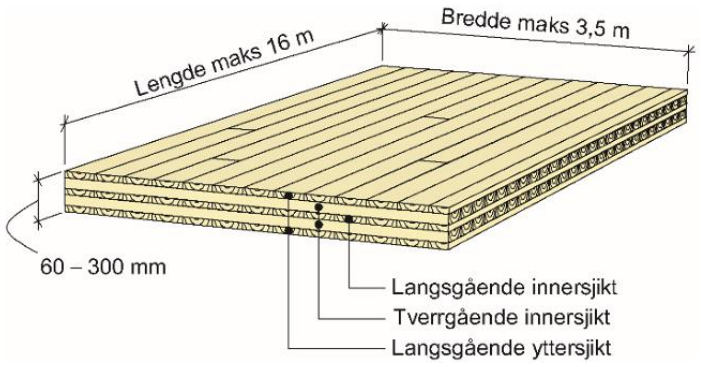


Figur 15: Tverrsnitt stålbjelke

Tabell 20: Parametere for HSQ bjelker

Dimensjoner (mål i mm)					Masse [Kg/m]	A $\cdot 10^{-3}$ mm^2	y-y		z-z		I_T $\cdot 10^{-5}$ mm^4	C_w $\cdot 10^{9}$ mm^6
h	b_u	b_o	t_u	t_o			$I \cdot 10^{-6}$ mm^4	$W \cdot 10^{-3}$ mm^3	$I \cdot 10^{-6}$ mm^4	$W \cdot 10^{-3}$ mm^3		
210	350	10	15	7,5	68,1	8,68	68,5	733	54,8	313	442	172

3.2.3 Splitkon krysslimt limtre



Figur 16: Splitkon krysslimt limtre (Sintef, 2019)

Oppbyggelsen til massivtre-dekket består av fem krysslimte sjikt, der hver av sjiktene er 40 mm tykke. Til sammen blir dekket 200 mm tykt, med oppbygning, karakteristiske fastheter, stivheter og densiteter oppgitt i tabellene under etter produktdokumentasjon fra «Splitkon» (Sintef, 2023).

Tabell 21: Oppbygning av limtre

Elementbetegnelse Tykkelse i mm og antall sjikt	Tykkelse i mm til hvert lamellsjikt				
	L	T	L	T	L
200 (5s)	40	40	40	40	40

Tabell 22: Parametere for limtre

Egenskap		Fasthetsklasse		Egenskap		Fasthetsklasse	
		T15	T22			T15	T22
Karakteristiske fastheter		N/mm^2	N/mm^2	*Stivheter for deformasjonsberegninger*		N/mm^2	N/mm^2
Bøyefasthet	$f_{m,k}$	22,0	30,5	Elasitetsmodul strekk	$E_{0,mean}$	11500	13000
Strekkfasthet	$f_{t,0,k}$	15,0	22,0		$E_{90,mean}$	380	430
Trykkfasthet	$f_{c,0,k}$	21,0	26,0	Skjærmodul	$G_{0,mean}$	720	810
Skjærfasthet	$f_{v,k}$	4,0	4,0		$G_{90,mean}$	72	81
Rulleskjærfasthet	$f_{v,90,k}$	0,7	0,7	*Densitet*		kg/m^3	kg/m^3
				Midlere densitet	ρ_m	430	470
				Karakteristisk dens.	ρ_k	360	390

3.2.4 LVL (Kerto®)

Platen benyttes for å binde massivtreelementene på begge flenser, og legges på toppen av HSQ-profil.

Figur 17: LVL-plate fra Moelven (Moelven, 2025)

Tabell 23: Parametere for LVL-plate

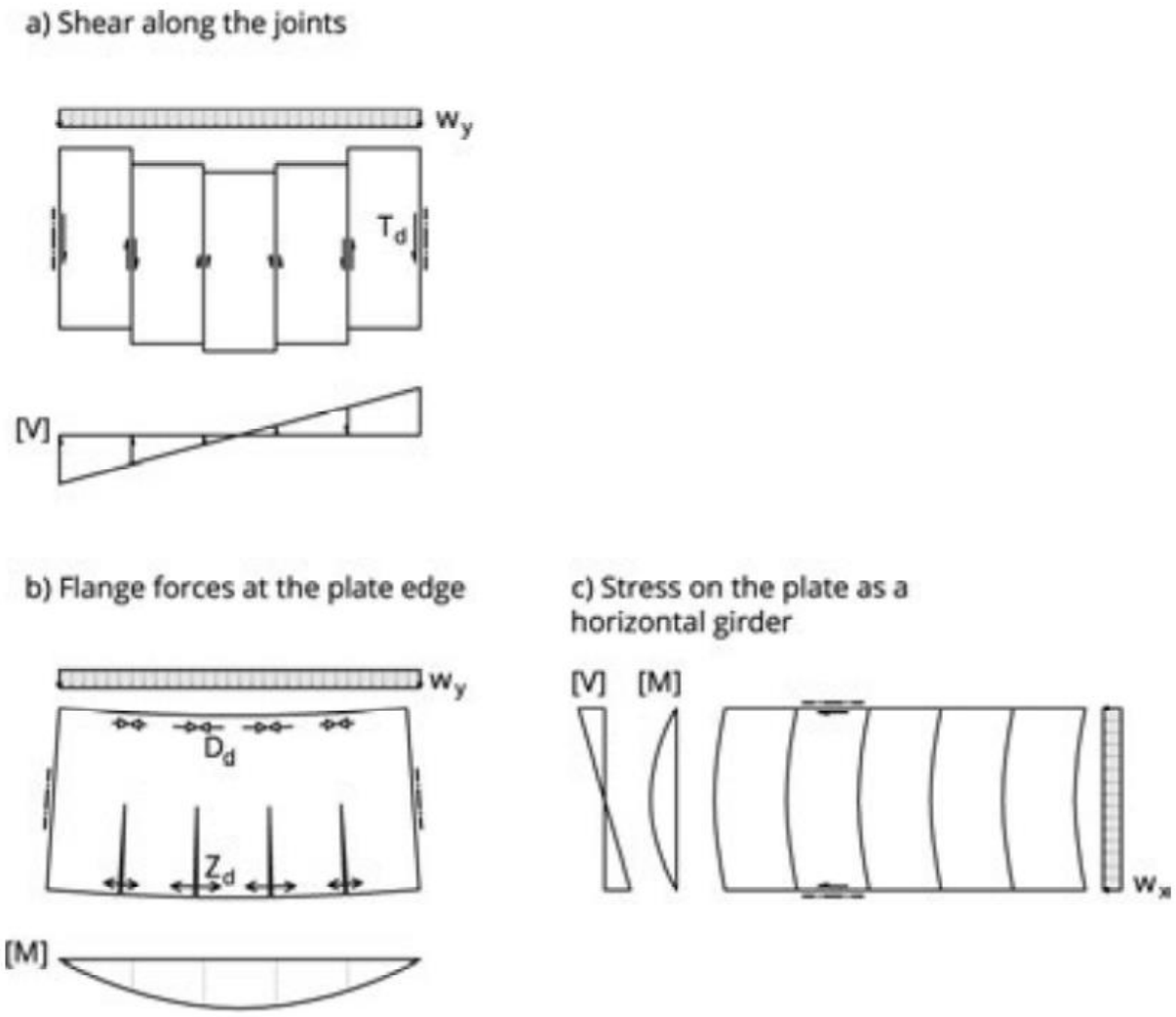
Bredde [mm]	Tykkelse [mm]	Lengde [mm]	Brannklasse
350	40	bjelkespenn	D-s1,d0
$f_{c,0,k}$ [N/mm^2]	$f_{t,0,k}$ [N/mm^2]	ρ_k [N/mm^3]	
35	35	480	

3.3 Skivekrefter

Da gulvkonstruksjonen designes som en massiv konstruksjonsdel, er det viktig å vurdere skivekreftene som oppstår. Dette gjøres for å bekrefte kontinuitet i gulvkonstruksjonen. Horisontalt virkende krefter utenfor planet må føres til avstivende deler (Wallner-Novak *et al*, 2018, s. 38). Siden skivene er de første elementene som motstår horisontale krefter, vil tap av skivevirkning med høy sannsynlighet føre til at hele konstruksjonen påvirkes negativt særlig da det ikke finnes lokale avstivninger i påbygget (Moroder, 2016). Disse kreftene må føres via skiven og over til nabobyggene ved hjelp av strekk-/trykklasker.

I dette prosjektet vil horisontale laster som følge av vind og horisontale virkninger av skjevfordelingslaster fra nyttelasten og snø tatt opp av dekkene. Oppgaven begrenses til dette da bidrag fra geometriske avvik ikke vil bli tatt i betraktning. Videre kan dimensjonering for jordskjelv utelukkes da bygget er i seismisk klasse II og grunntype A (direktefundamentering til fjell) iht. EC8 (Standard Norge, 2021). Ved å fordele nyttelasten over halve bjelken, vil summen av opplagerkreftene lokalt ikke være lik null. Her vil det
oppstå en ekstra skjevlast som dekket dimensjoneres for. Øverste dekke vil være kritisk siden skjevlasten her vil fungere i samme retning som vindlasten. I tillegg har øvre dekke mindre bredde enn det nedre, som fører til at kreftene vil fordeles på et mindre areal og gi større påkjenninger over konstruksjonen.

Ved å anse hele skiven som en stor I-bjelke hvor skivens midtfelt (steget) tar skjærkrefter, og kantene (flensene) tar normalkrefter i strekk og trykk som følge av momentpåvirkninger fra vind- og skjevlaster, kan et ellers komplekst problem forenkles betydelig (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015, s. 226). Den faktiske stivheten i et slikt system, samt fordelingen av kreftene er høyst usikker. Likevel gir denne forenklede modellen en konservativ løsning (Se figur 18).

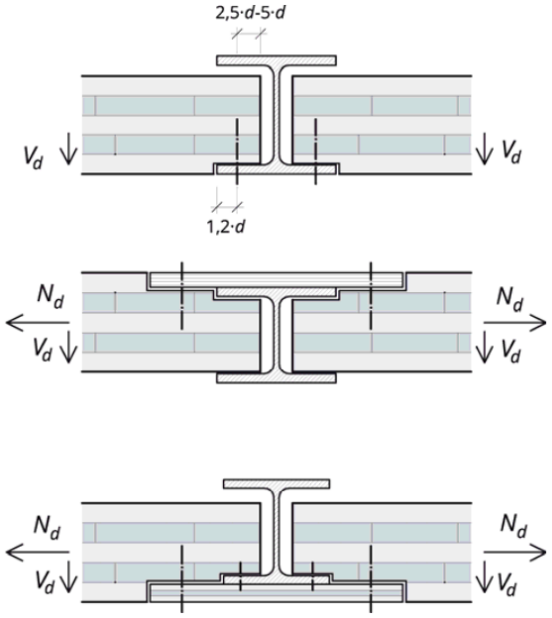


Figur 18: Skivekrefter i planet (Wallner-Novak, Koppelhuber, Pock, 2014, s. 130)

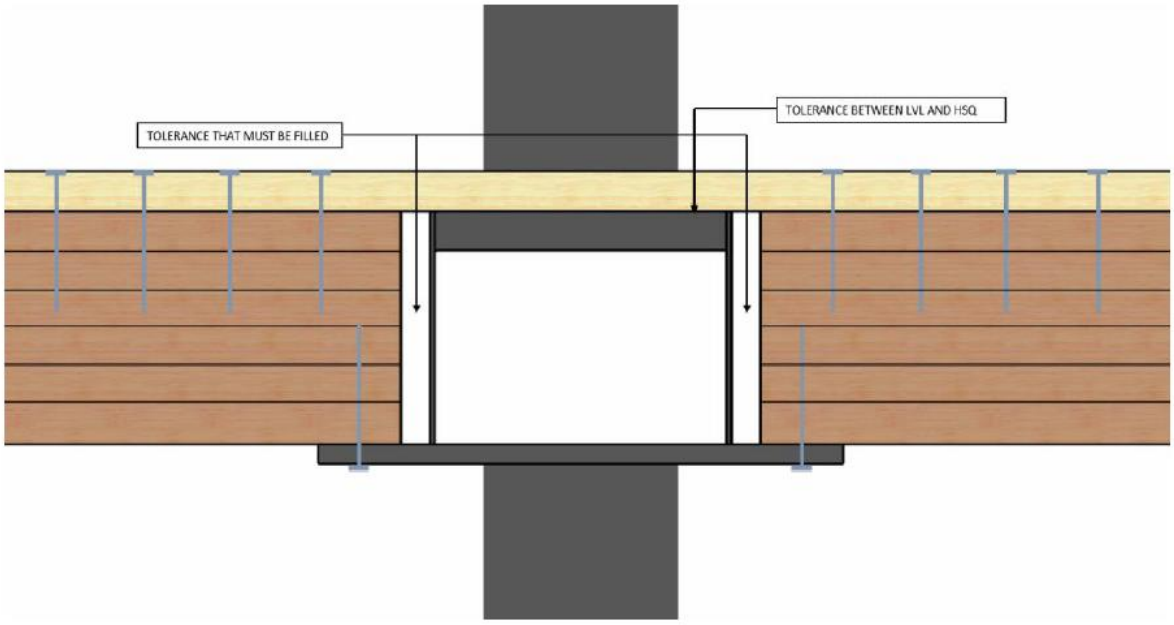
3.4 Forbindelser

3.4.1 Flush joist – Forbindelse mellom massivtre og HSQ-profil

For å binde sammen massivtreelementene med HSQ bjelken, vil det benyttes en variant av typen “flush joist”. Massivtreelementene hviler på HSQ-bjelkens nedre flenser og bindes fast ved bruk av skruer gjennom nedre flense og inn i massivtreet. I dette prosjektet bestemmes det i tillegg å binde elementene på topp. Dette gjøres ved å legge en LVL-plate på toppen, gitt att massivtreelementene på hver flense maksimalt har en høyde lik «h» (Figur 15). Videre vil skruer gå gjennom platen og massivtreet på begge sider av HSQ bjelken. Dette vil sikre at alle laster kan tas og føres kontinuerlig til strekklaskene ettersom dekket blir dimensjonert som en stiv skive.



Figur 19: Flush Joists (Wallner-Novak, Koppelhuber, Pock, 2014, s. 102)

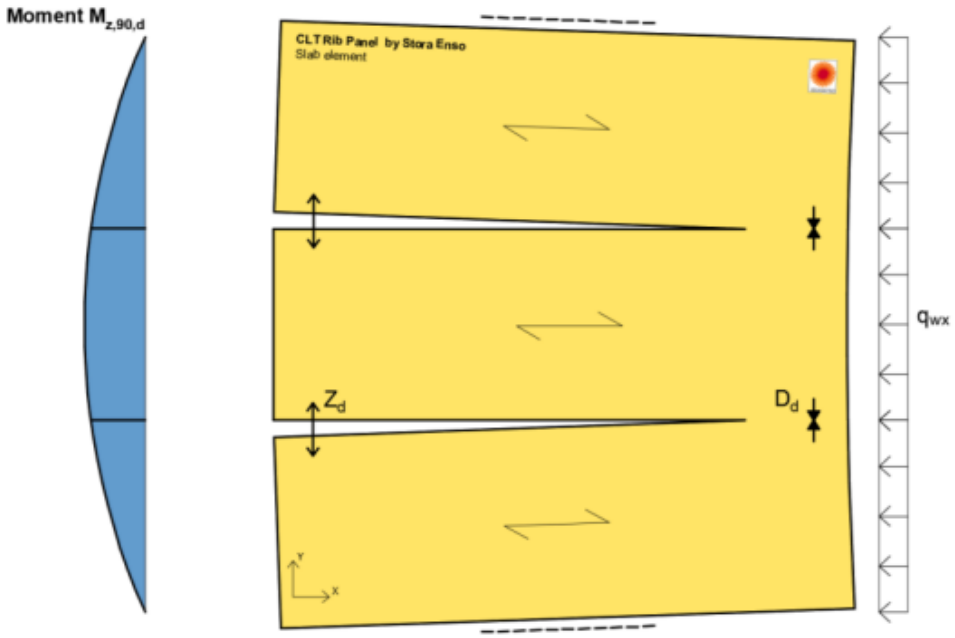


Figur 20: Modell av kobling mellom HSQ og Massivtre (Zahid og Zeito, 2023, s. 17)

3.5 Sideplate av stål som forbinder massivtre

For ytterligere sikring av kontinuitet gjennom elementene, trengs det en stålplate på kantene av massivtreet. Denne platen vil koble de delvise massivtreelementene sammen med skruer av varianten ESCRFTC. Løsningen velges på bakgrunn av bekymring om de eventuelle normalkreftene som vil fungere på kanten av massivtreelementene slik den er illustrert i figuren 22. Bøyningens største intensitet gir dimensjoneringsgrunnlag for platen (Stora Enso, 2022).

Figur 21: Modell av sideplate (Zahid og Zeito, 2023, s. 18)

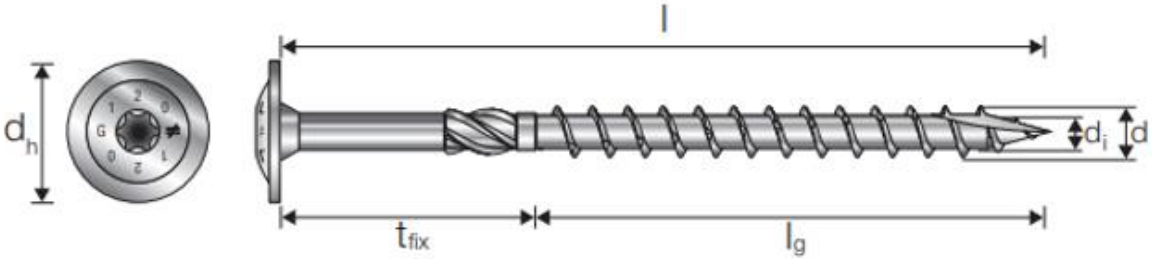


Figur 22: Illustrasjon av trykk-/strekkraft som fungerer på kant av skive (Stora Enso, 2022)

3.6 Skruetype og parametere

Skrueparametere er hentet direkte fra produsent (Simpson Strong-Tie).

3.6.1 SW-W – Washer Head Wood Screw

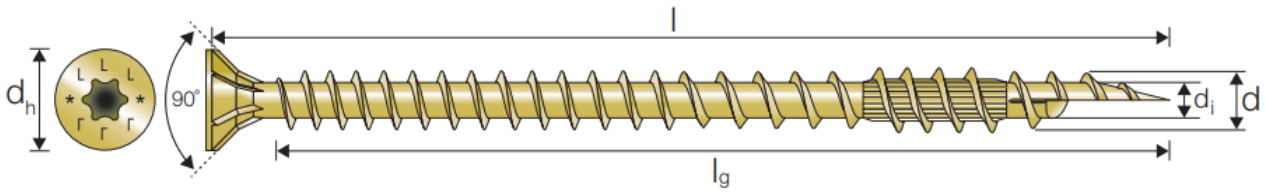


Figur 23: SW-W Skrue (Strongtie, 2024)

Tabell 24: Parametere for skrue av varianten SW-W

Forbindelse – Sideplate og massivtre					
L [mm]	L_g [mm]	L_{tfix} [mm]	d_h [mm]	d [mm]	d_i [mm]
140	80	80	25	10	6,2
$M_{y,k}$ [Nmm]	$F_{ax,k}$ [N/mm^2]	$F_{tens,k}$ [kN]	$F_{tor,k}$ [Nm]	$F_{head,k}$ [N/mm^2]	
43700	12,2	33,8	48,9	10,2	

3.6.2 ESCRFTC – Fully Threaded Countersunk Wood Screw



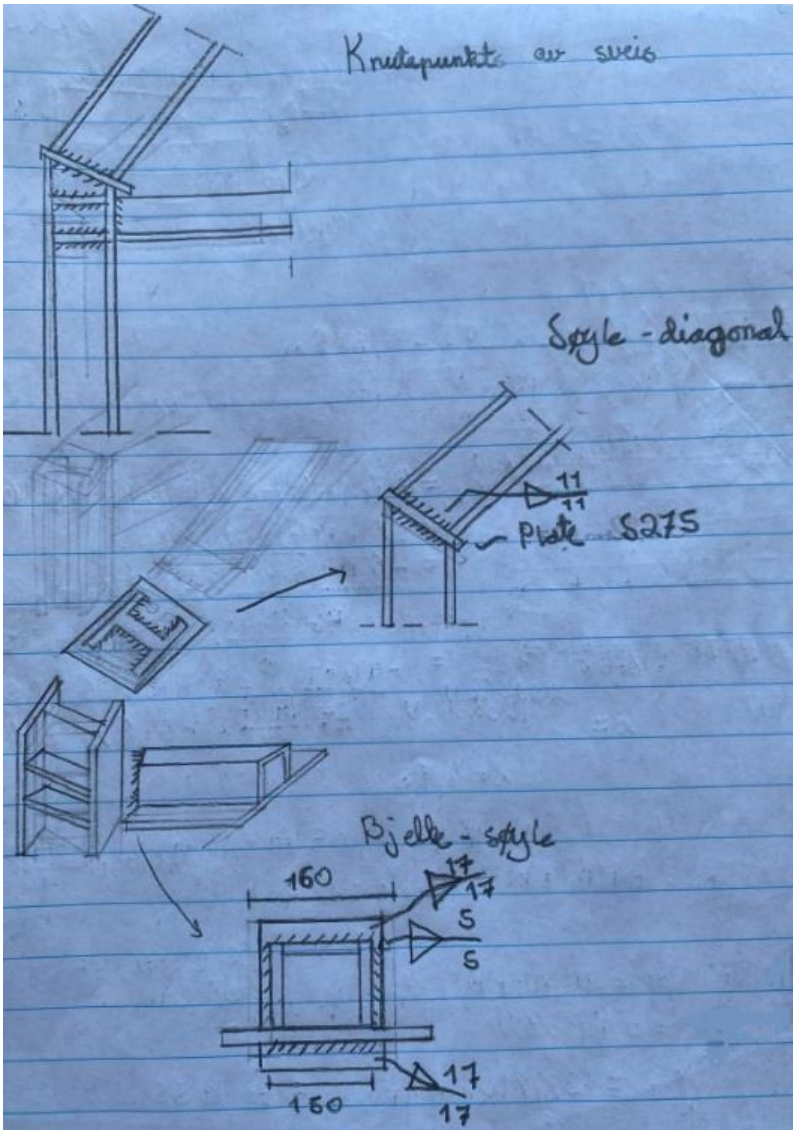
Figur 24: EFCRFTC skrue (Strongtie, 2024)

Tabell 25: Parametere for skruer av varianten ESCRFTC

Forbindelse – LVL og Massivtre					
L	L_g [mm]	d_h [mm]	d [mm]	d_i [mm]	
120	110	15	8	5,2	
$M_{y,k}$ [Nmm]	$F_{ax,k}$ [N/mm^2]	$F_{tens,k}$ [kN]	$F_{tor,k}$ [Nm]	$F_{head,k}$ [N/mm^2]	$F_{y,k}$ [N/mm^2]
20300	13,1	24,1	25,8	12,4	950

3.7 Sveiseforbindelse i stålramme

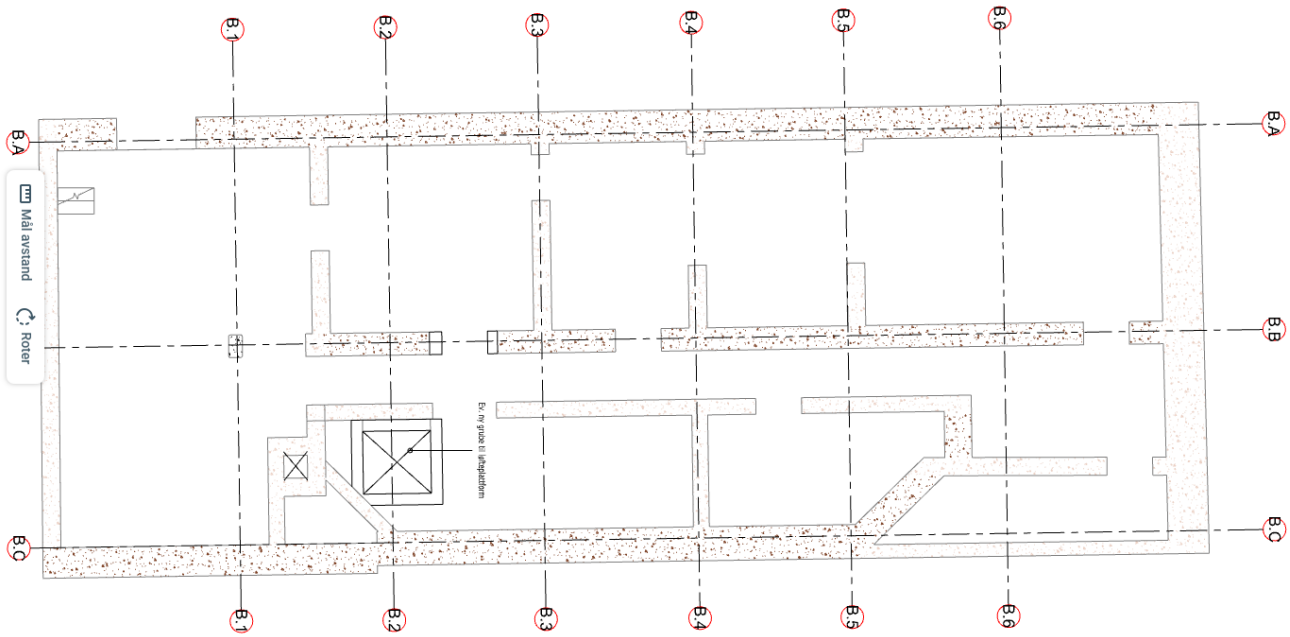
Knutepunktet til rammene blir konstruert der søylen og diagonalen er sammenkoblet ved at begge elementet er sveist sammen til en plate for simplifisering og enkel lastoverføring. Koblingen ved bjelken og søylen er noe annerledes. HSQ-bjelken er sveist direkte på søylen, der det vil bli satt stivere ved søylesteget for forsterkning av sterkt påkjente punkter. For stivere må disse dimensjoneres etter EC3 – Del: 1-5.



Figur 25: Sveiseforbindelse

3.8 Fundament

Bygget er direktefundamentert til fast fjell, noe som gjør det mulig å utelukke tradisjonelle fundamenteringsmetoder som «søylesko» på bakgrunn av at grunnen har mer enn nok trykkapasitet til å ta lastene som påføres av bygningen globalt og lokale punktlaster fra søyler. Det neste leddet av bærende elementer før det faste fjellet er i dette tilfellet murvegger. Eventuelle nye laster som påføres, og påvirkning av disse må dokumenteres.



Figur 26: Fundamentplan, Underetasje 2

3.9 Branndimensjonering

For de fleste elementene i påbygget vil bærende konstruksjoner være beskyttet mot brannpåkjenning da de er isolert. Dette gjelder diagonalene, toppbjelke og søylene innenfor teglveggene. Gulvbjelkene vil på samme måte være beskyttet, da de er omringet av massivtreelementene på hver side, samt isolerende materialer på topp og bunn. Disse er eksempelvis gipsplater og isolasjon.

Grunnet omfanget av branndimensjonering som må til for å dokumentere effekten av brann på konstruksjonen globalt iht. relevante krav, og usikkerheten rundt hvordan aktive og passive brannvern spiller inn under tidsområdet for brannpåkjenning, vil oppgaven begrense omfanget av dimensjoneringen spesifikt til de enkeltelementene som kan antas å være ubeskyttet på alle sider, da metodikken for slike snitt er dekket av EC3-1-2. De aktuelle elementene vil da være diagonalene på gavlveggene som befinner seg innenfor gulvarealet, og kan dimensjoneres for en eventuell ulykkeslast som oppstår lokalt.

Ut ifra metoden som klassifiserer konstruksjonsdelers brannkrav (se kap 2.15), skal påbyggets hovedbæresystem motstå direkte brann i 90 minutter. Det forventes at ubeskyttede stålprofiler i gavlveggen vil kunne motstå påkjenningen, da laster som fungerer på diagonalen under ulykkessituasjonen vil være forholdsvis små.

4 Metode

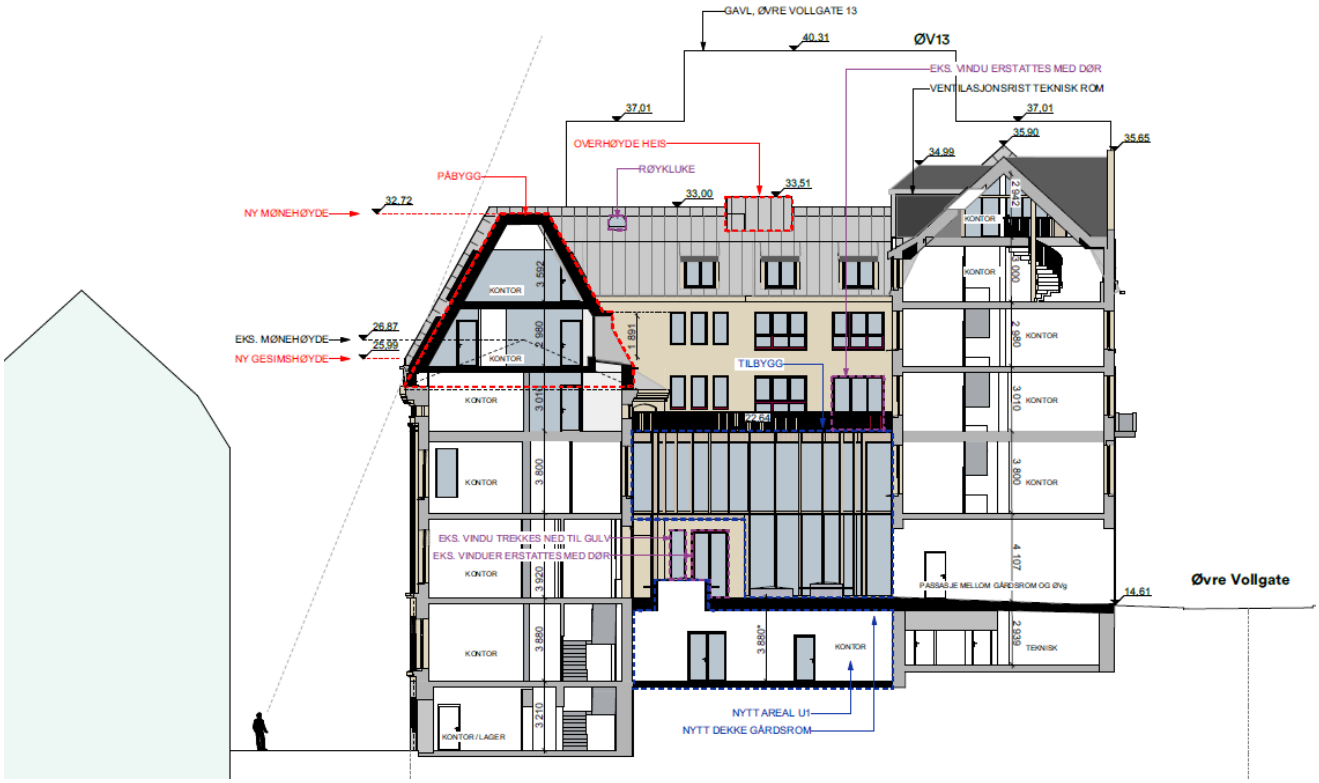
4.1 Generelt om metode

Oppgaven vil primært benytte kvantitativ metodikk som grunnlag for analysen av rammen. Dette skyldes viktigheten av å konstruere en realistisk ramme som kan sammenlignes med den opprinnelige rammen. Målbare størrelser vil eksempelvis være statiske laster, dimensjonering, materialegenskaper og miljøpåvirkning. Metodikken baseres på beregninger gjennomført iht. relevante standarder og sammenlignes med numeriske analyseverktøy som *Robot Structural Analysis* og *Focus konstruksjon*. For klimagassberegninger knyttet til materialvalg benyttes samme metodikk med *One Click LCA*.

Selv om den overordnede analysen er kvantitativ, inngår enkelte kvalitative vurderinger i prosjektet. Dette vil blant annet gjelde brannbeskyttelse og den komplekse oppbygningen av fundamentet. I slike tilfeller vil vurderinger baseres på erfaring og normkunnskap støttet opp mot numerisk data.

4.2 Beregning av vindlast

Figur 16 viser snittet av påbygget og byggets høyde. Oslo sin referansevindhastighet $v_{b,0} =$ 22 m/s. Man ser at alle bygningene er over 15 m med arealet dekket vel over 15%. Situasjonen legger bygget i terrengruhetskategori «IV» som verdiene $k_r = 0{,}24$ og $z_0 =$ 1,0 m.



Figur 24: ØV11, Snitt A-A

Med dette kan vindkasthastighetstrykket $q_p(z)$ finnes. Som nevnt er vindkasthastighetstrykket det raske, kraftige og kortvarige vindkastet som bygget skal tåle. En forenklet formel for denne er:

$$q_p(z) = k_w * v_{b,0}^2 * \left(c_{alt} * c_{prob}\right)^2$$

der:

- c_{alt} - nivåfaktor settes lik 1,0 med mindre høyere verdier følger av NA.4.2(2)P(901.1).

- c_{prob} – returperiodefaktor er 1,0 hvis returperioden velges forskjellig fra 50 år
- $k_w = 0{,}625 * \left[k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right]^2 * \left[1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}\right]$

Siden bygget er 14 moh., er det trygt å si at nivåfaktoren er 1,0. Returperiodefaktor er også 1,0, der strukturen er bygget for å vare i 50 år.

$$k_w = 0{,}625 * \left[0{,}24 * \ln\left(\frac{32{,}72}{1}\right)\right]^2 * \left[1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{32{,}72}{1}\right)}\right] = 1{,}32$$

$$q_p(32{,}72\ m) = k_w * v_{b,0}^2 * \left(c_{alt} * c_{prob}\right)^2 = 1{,}32 * 22^2 * (1 * 1)^2 * 10^{-3} = 0{,}64\ kN/m^2$$

$$v_{dekke,4.etg} = 1{,}5 * 0{,}64\frac{kN}{m^2} * \left(\frac{h_{4.etg}}{2}\left(c_{pe,trykk}^{\Theta=0°} + c_{pe,sug}^{\Theta=180°}\right) + \frac{h_{3.etg}}{2} * \left(c_{pe,trykk}^{D} + C_{pe,sug}^{E}\right)\right)$$

Dekke i etasje 4 tar halve vindlasten som kommer på veggen i underetasjen, og halve vindlasten som treffer takkonstruksjonen mellom dekke i 4. og 5. etasje. Formfaktorene er forskjellige for pulttak og vertikale vegger, der vindlast på vegger gir større faktorer. For å finne riktige formfaktorer for pulttak må formfaktorene interpoleres ettersom konstruksjonen er mellom 60° - 75° (se Tabell 7).

$$v_{dekke,5.etg} = 1{,}5 * 0{,}64\frac{kN}{m^2} * \left(c_{pe,trykk}^{\Theta=0°} + c_{pe,sug}^{\Theta=180°}\right) * \left(\frac{h_{4.etg}}{2} + h_{5.etg}\right)$$

4.3 Beregning av snølast

$$H \leq H_g \rightarrow \ s_k = s_{k,0} = 1{,}5 * 3{,}5\frac{kN}{m^2} * \mu_2 = 1{,}5 * 3{,}5\frac{kN}{m^2} * 0{,}8 = 4{,}2\frac{kN}{m^2} * b_{last}$$

Byggestedets høyde over havet er mindre enn høydegrensen for kommunen, som betyr at et høydetillegg ikke er nødvendig og grunnverdien for karakteristisk snølast på mark kan settes som maksimal snølast. Formfaktor settes til 0,8 grunnet snøfangere på taket.

4.4 Globale krefter

Globale krefter regnes ut ved FEM-design. Rammen simuleres i både Focus og Robot Structural Analysis for sammenligning av påkjente laster. Disse kreftene vil være utgangspunktet for alle beregninger som følger. Under modelleringen vil det være kritisk å definere riktige frihetsgrader i rammekonstruksjonen og sjekke dimensjonerende lastkombinasjon. Ved bruk av lastsituasjon 6.10b) vil to situasjoner sjekkes. For den ene vil snølasten være dominerende og for den andre vil nyttelasten være dimensjonerende. Følgene ligning har blitt brukt ihht. NS-EN 1990 NA.A1.2 (3):

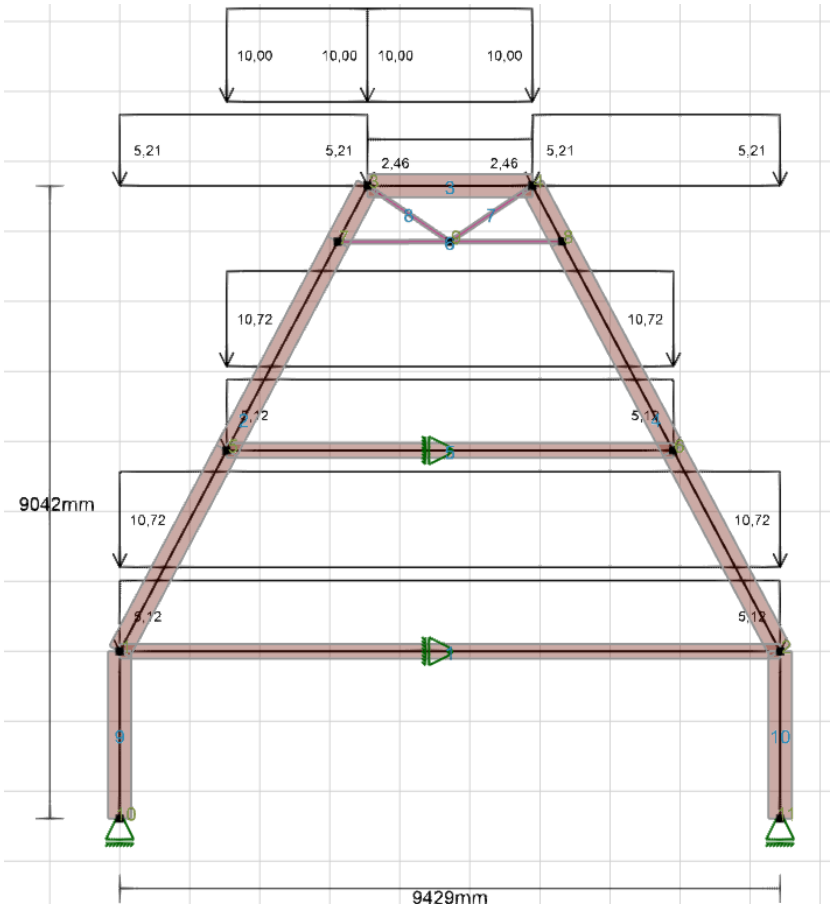
$$1{,}2 * G_{k,j} + 1{,}5 * Q_{k,1} + 1{,}5 * \Psi_{0,2} * Q_{k,2}$$

Der:

- $G_{k,j}$ – er egenlast, j = 1, 2, 3… (dersom flere egenlaster)
- $Q_{k,1}$ – Dominerende variabel last
- $Q_{k,2}$ – Øvrig variabel last
- $\Psi_{0,2}$ – kombinasjonsfaktor avhengig av lasttype og bygningstype

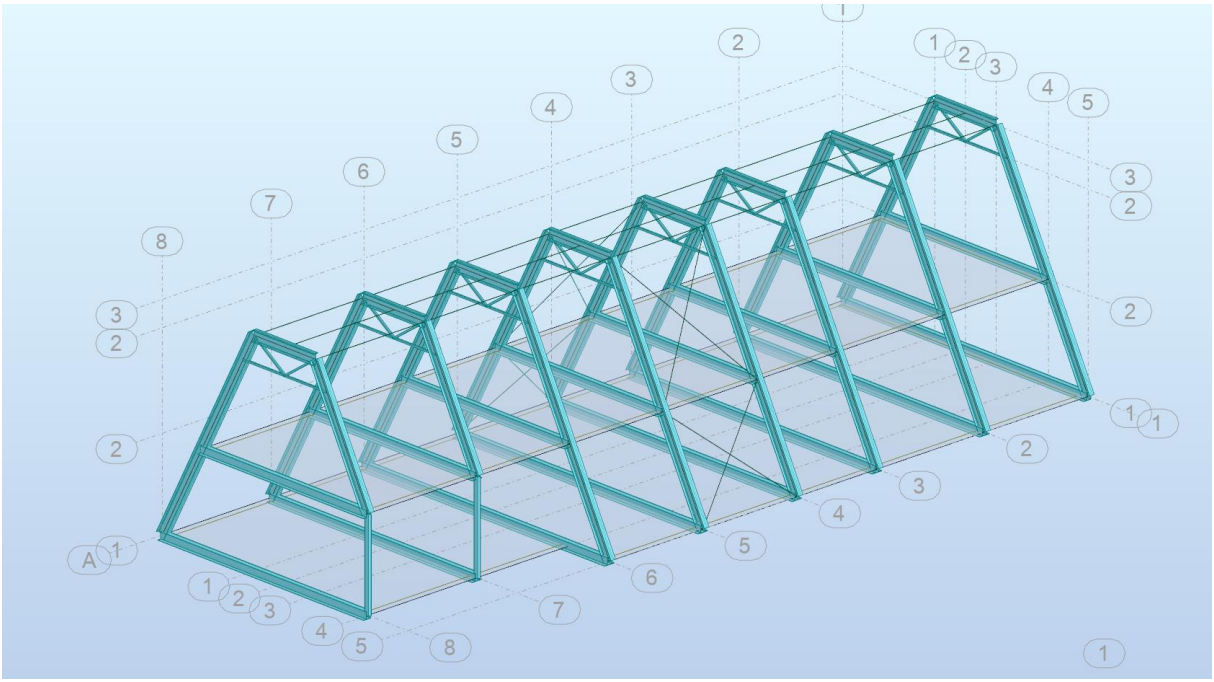
Plasseringen til søylene/oppleggene vil være forskjellige enn for limtrekonstruksjonen ettersom IPE-diagonalene er større i høyden og plantegningene plasserer søylen rett før aksene og ikke ved midtpunktet til diagonalene. Dette skaper unødvendig eksentrisitet som man burde unnvike. Derfor plasseres søylene ved midtpunktet til diagonalene, som fører til at lengdene vil avvike og plasseringen av søylene blir valgt til å være lenger inn i veggen enn for originalen.

Ved å konstruere rammen i programmene Fokus Konstruksjon og Robot Structural Analysis for stålelementene valgt, kan lastsituasjonene etter 6.10b) i bruddgrensetilstand brukes for å finne de dimensjonerende lastene som virker på rammene ved å innsette egenlast, snølast og nyttelast for konstruksjonen. Vindlasten tas opp av massivtredekket, der dekket vil dimensjoneres i etterkant av resultatene fått fra analysen i FEM-modellene.



Figur 25: Utklipp av kritisk ramme i Focus Konstruksjon

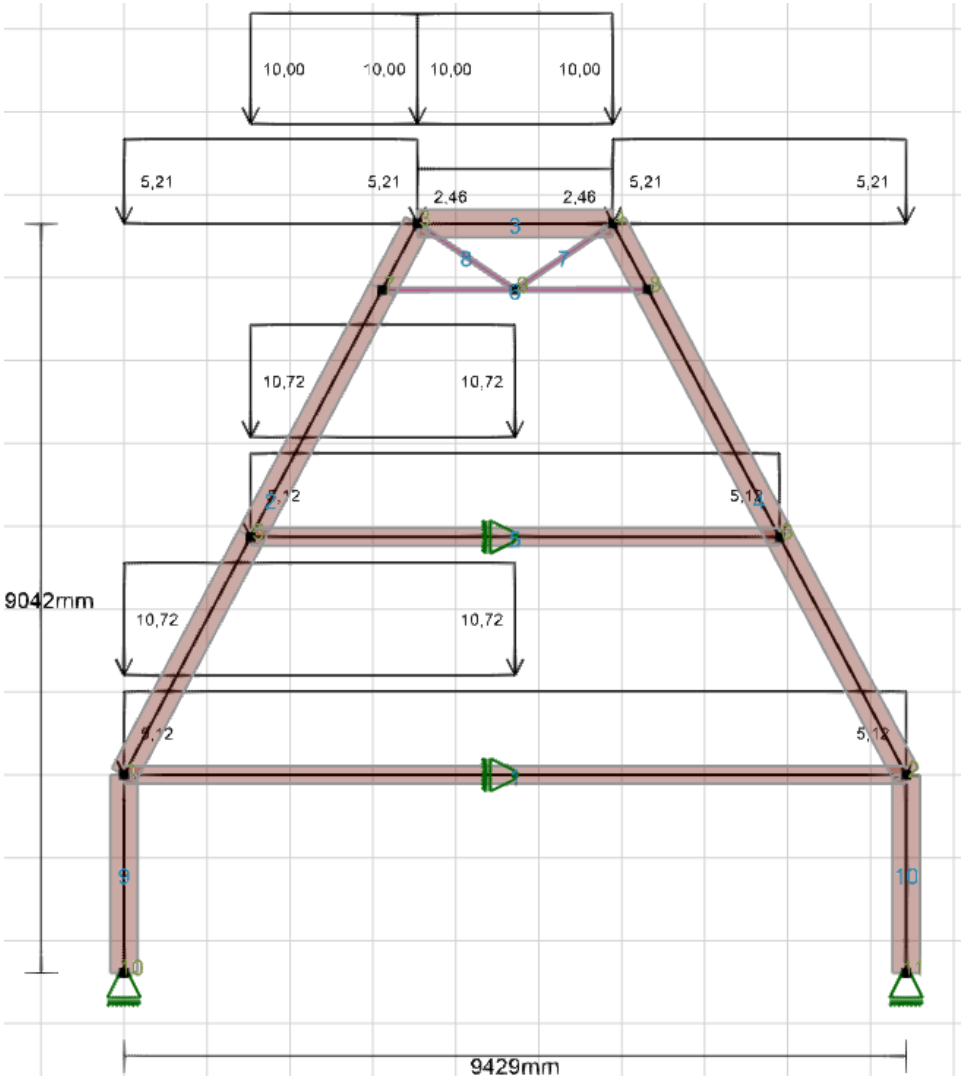
Grunnen til at det er valgt fastholdning for horisontal forskyvning i midten av bjelkene er fordi rammen er fri for forskyvning i x-retning ved søylene, som også betyr at rammen er fri til å velte. Fastholdningen i midtbjelkene i figur 26 representerer massivtredekket som er koblet til nabobygget ved hjelp av trykk- og strekklasker. Rammen i seg selv er statisk ubestemt og er helt avhengig av massivtreskiven for å forhindre veltingen.



Figur 26: Utklipp av hele rammesystemet i Robot Structural Analysis

4.5 Skivekrefter i planet

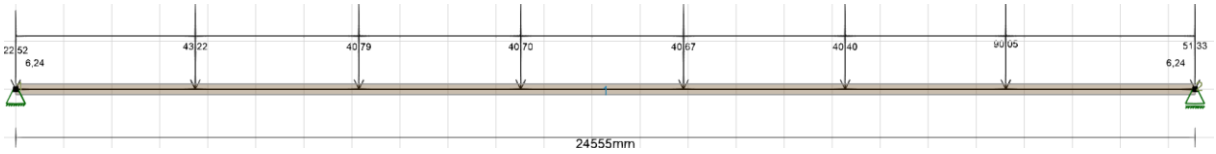
Ved å anse lastsituasjonen som en fritt opplagt bjelke hvor strekklaskene oppfører seg som opplagerne, kan man finne de dimensjonerende kreftene som omkommer skiven fra skjevlastene og vindlasten. I denne lastsituasjonen vil det være nødvendig å snitte konstruksjonen på vilkårlige punkter (x) av bjelken for å finne de indre kreftene som virker i snittet. Kreftene er avhengige av posisjonen (x), og ved å plotte funksjonene N(x), V(x) og M(x) vil man finne lastvirkningsdiagrammet til «bjelken». Situasjonen vil være for xy-planet, der hvor vindlasten inntreffer. Under henvises tabell og figurer for situasjonen og eksempel på utsnitt av en bjelke.



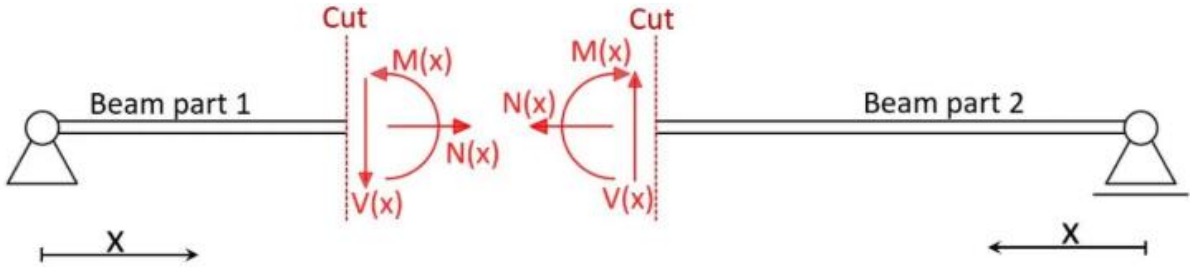
Figur 27: Lastsituasjon for horisontal skjevstillingslast

Tabell 26: Krefter i horisontalretning for hvert snitt

Horisontale krefter i hvert snitt								
Akse	B.0	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5	B.6	B.7
F_i [kN]	22,52	43,22	40,79	40,7	40,67	40,40	90,05	51,33
q_{vind} [kN/m]	6,24							
cc_{hsq} [m]	3,74	3,405	3,37	3,39	3,365	3,345	3,94	



Figur 28: Lastsituasjon til "bjelken"



Figur 29: Eksempel på utsnitt av bjelke (Ernst, 2024)

Som nevnt i kapittel 3.3, må skiven ses på som en stor I-bjelke for at kreftene blir dimensjonert på sikker side. Trykk og strekkreftene på kantene til skiven kan beregnes ved å dele det maksimale momentet med bredden til skiven:

$$N_T = N_C = \frac{M_{maks}}{b} \tag{4.1}$$

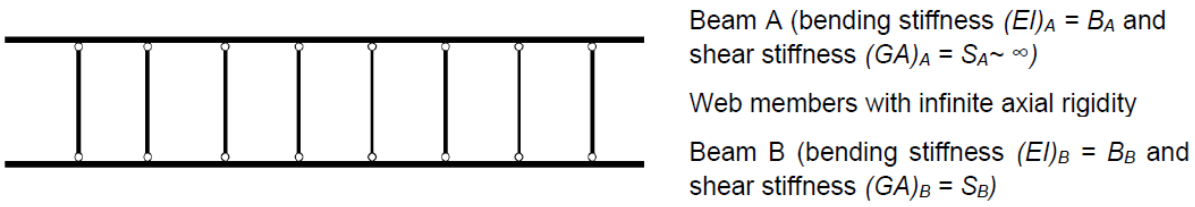
Skjærkreftene må finnes ved de forskjellige utsnittene i «bjelken». Ved å sette posisjonen (x) rett før hver bjelke kan man finne enhver dimensjonerende skjærkraft som omkommer punktet. Skjærkraften tas av skiven og vil være størst ved endene. Skjærstrømmen som skiven og dens forbindelser må dimensjoneres for er:

$$v = \frac{V}{b} \tag{4.2}$$

Skjærstrømmen kan brukes til å finne kraften hver enkelt forbinder skal dimensjoneres for i forbindelsen mellom skive og bjelke. Formelen er gitt som $F_v = v * s_f$, hvor s_f er avstanden mellom hver forbinder (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015, s. 226).

4.6 Dimensjonering av dekket

I tillegg til skivekrefter, må dekket dimensjoneres av nyttelast og egenlast som virker vinkelrett på planet (yz-planet). Dimensjoneringen av dekket er basert på Skjæranalogimetoden (Shear Analog Method), som er en analytisk tilnærming som benyttes til å beregne effektiv bøyningsstivhet i krysslaminerte massivtreelementer ved å ta hensyn til forskjellen i elasitetsmodul og skjærmodul hos de ulike sjiktene. Metoden baserer seg på at man idealiserer dekket som to imaginære bjelker «A» og «B» som er forbundet med uendelige stive staver. Disse stavene representerer samspillet mellom de ulike lagene i elementet (Habtemichael, 2024).



Figur 30: Imaginær bjelke A og B (FPInnovations, 2019, s. 57)

«Bjelke A» står for bøyningsstivheten til hvert enkelt lag. Det er ikke statisk samvirke mellom de ulike sjiktene og den har uendelig stor skjærstivhet. «**Bjelke B»** tar høyde for den ekstra bøynings- og skjærstivheten elementet får på grunn av samvirket av de sammensatte sjiktene. Stivheten inkluderer både bidraget fra forbindelsene mellom lagene og effekten av lagtykkelser og plassering i forhold til elementets nøytralakse. Avstanden fra hvert enkelt lag til elementets tyngdepunkt har betydelig innvirkning på resultatet, ettersom det påvirker det totale bøyemomentet og dermed den effektive stivheten (Habtemichael, 2024). Ved å kombinere de to bjelkene gjennom en analytisk prosess kan man beregne en tilnærmet effektiv bøyningsstivhet for hele elementet uttrykt som $EI_{eff} = (EI)_A + (EI)_B$.

Fordeling av bøyestivhet og skjærstivhet til Bjelke A:

- Bøyestivhet:

$$B_A = (EI)_A = \sum_{i=1}^{n} E_i * I_i = \sum_{i=1}^{n} E_i * b_i * \frac{h_i^3}{12} \tag{4.3}$$

- Skjærstivhet (Uendelig stor skjærstivhet)

$$S_B = (GA)_B \cong \infty \tag{4.4}$$

Fordeling av bøyestivhet og skjærstivhet til bjelke B:

- Bøyestivhet

$$B_B = (EI)_B = \sum_{i=1}^{n} E_i\, A_i\, z_i^2 = b_i * \sum_{i=1}^{n} E_i * h_i * z_i^2 \tag{4.5}$$

- Skjærstivhet (effektiv skjærstivhet):

$$(GA)_{eff} = S_B = (GA)_B = \left[\frac{a^2}{\frac{h_1}{2 * G_1 * b_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i * b_i} + \frac{h_n}{2 * G_n * b_n}}\right] \tag{4.6}$$

Der:

- E_i er E-modulen til sjikt i
- G_i er G-modulen til sjikt i
- I_i er arealtreghetsmoment til sjikt i
- a er total tykkelse på element minus tykkelse på ytterste sjikt $\left(a = h_{tot} - \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_n}{2}\right)\right)$
- z_i er avstanden fra tyngdepunkt til sjikt i og nøytralaksen til elementet
- h_i er tykkelse til sjikt i
- b_i er bredde til sjikt i, settes lik 1000 mm

Det er derimot viktig å merke seg at Skjæranalogimetoden har sine begrensninger. Den er ikke egnet for dimensjonering av massivtreelementer under brannpåvirkning og gjelder kun for symmetriske og vanlige krysslaminerte massivtreelementer (FPInnovations, 2019, s. 16).

4.7 Dimensjonering av skrueforbindelser

Forbindelsene må ha nok kapasitet til å ta de ulike lastene som opptrer spesifikt på hver forbindelse. Det tas høyde for forbinderenes bruksområde og type. På bakgrunn av lasten som opptrer og dimensjonerende kapasiteter vil det beregnes antallet nødvendige skruer i hver forbindelse.

Den dimensjonerende kapasiteten til en effektiv skrue med en vilkårlig kraftpåkjenning defineres som:

$$F_{Rd} = k_{mod} * \frac{F_{Rk}}{\gamma_m} \tag{4.7}$$

Der

- k_{mod} - er en modifiserende faktor og settes lik 0,8.
- γ_m - er materialfaktoren og settes lik 1,25.

4.7.1 Tre mot Tre

Den karakteristiske kapasiteten $F_{v,Rk}$ til skruene for enkeltsnittede forbindere beregnes etter bruddformene for tre mot tre, definert som:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(a)} \\ f_{h,2,k} t_2 d & \text{(b)} \\ \dfrac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta}\left[\sqrt{\beta + 2\beta^2\left[1+\dfrac{t_2}{t_1}+\left(\dfrac{t_2}{t_1}\right)^2\right]+\beta^3\left(\dfrac{t_2}{t_1}\right)^2} - \beta\left(1+\dfrac{t_2}{t_1}\right)\right] + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 1{,}05\dfrac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta}\left[\sqrt{2\beta(1+\beta)+\dfrac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d \quad t_1^2}} - \beta\right] + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ 1{,}05\dfrac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta}\left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta)+\dfrac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d \quad t_2^2}} - \beta\right] + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(e)} \\ 1{,}15\sqrt{\dfrac{2\beta}{1+\beta}}\sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(f)} \end{cases}$$

Figur 31:Karakteristisk kapasitet for forbinder iht. NS-EN 1995-1-1 likning (8.6)

Der

t_i er tre-/platetykkelsen eller inntrengningsdybde

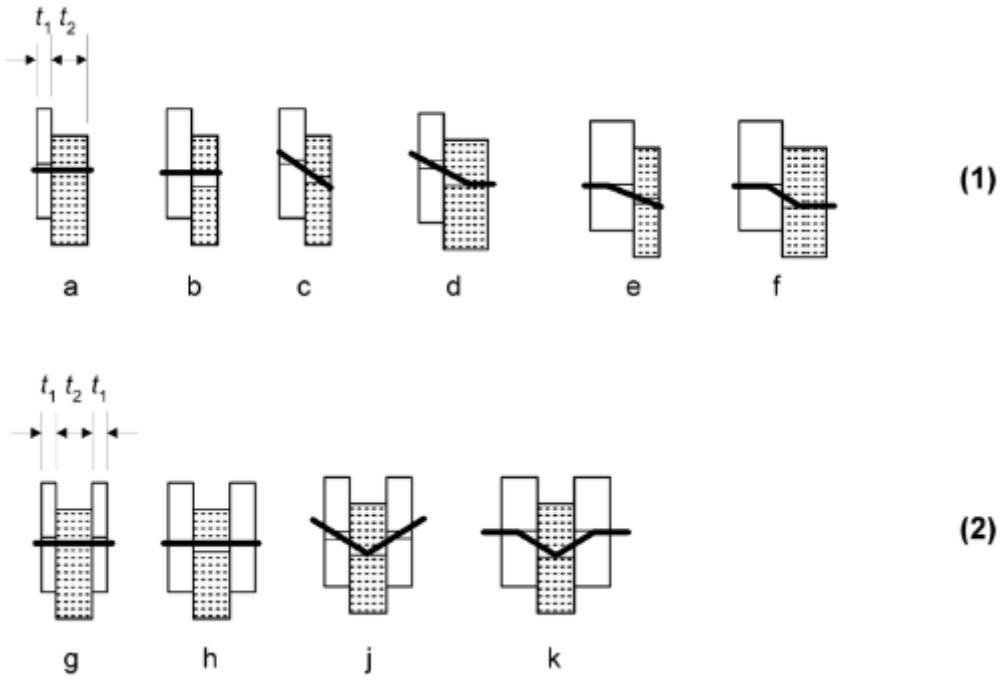
$f_{h,i,k}$ er den karakteristiske hullkantfastheten

d er forbinderens diameter

$M_{y,Rk}$ er forbinderens karakteristiske flytemoment

β er forholdet mellom de ulike komponentenes hullkantfasthet

$f_{ax,Rk}$ er forbinderens karakteristiske uttrekkskapasitet



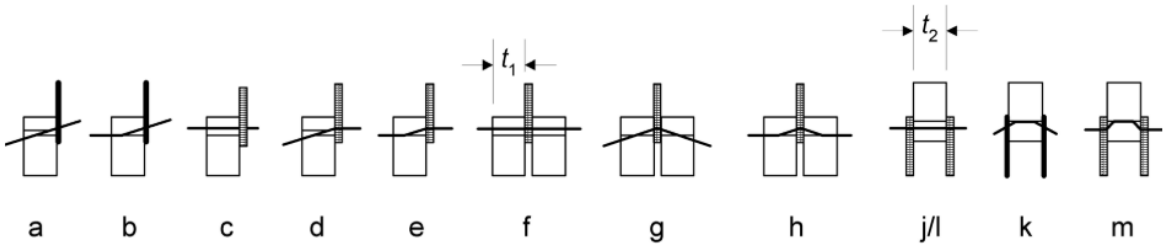
Figur 32: Illustrasjon av bruddformene for forbindelser tre mot tre iht. NS-EN 1995-1-1

Det siste leddet i likningene c-f, er bidraget fra taueffekten og beregnes iht. NS-EN 1995-1-1 som prosentdeler av Johansen-delen. For skruer vil dette tilsvare 25% kapasitet.

4.7.2 Stål mot tre

Den karakteristiske kapasiteten $F_{v,Rk}$ til skruene for enkeltsnittede forbindere beregnes etter bruddformene for stål mot tre definert for situasjonene: c, d og e iht. likning 8.6 i NS-EN 1995-1-1):

$$F_{v,Rk} = min \begin{cases} F_{h,k}\, t_1 d \\ F_{h,k}\, t_1 d \left[\sqrt{2 + \dfrac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k}\, d t_1^2}} - 1 \right] + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2{,}3 \sqrt{M_{y,Rk}\, f_{h,k}\, d} + \dfrac{F_{ax,Rk}}{4} \end{cases} \tag{4.8}$$



Figur 33: Illustrasjon av bruddformer for forbindelser stål mot tre iht. NS-EN 1995-1-1

4.7.3 Karakteristisk hullkantfasthet

For skruer med diameter større enn 8 mm må skruene dimensjoneres som bolter etter NS-EN 1995. Den karakteristiske hulkantfastheten i fiberretningen defineres som:

$$f_{h,0,k} = 0{,}082(1 - 0{,}01d)\rho_k \tag{4.9}$$

Den karakteristiske hullkantfastheten i en vinkel α i forhold til fiberretning er defineres som:

$$f_{h,0,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} \tag{4.10}$$

Der

$$k_{90} = \begin{cases} 1{,}35 + 0{,}015d & for\ bartrevirke \\ 1{,}30 + 0{,}015d & for\ parallelfiner \\ 0{,}90 + 0{,}015d & for\ hardved \end{cases}$$

Og

$f_{h,0,k}$ er karakteristisk hullkantfashet i fiberretning

ρ_k er trevirkets karakteristiske densitet

α er vinkel mellom last og fiberretning

d er skruediameter

4.7.4 Karakteristisk uttrekkskapasitet

For skruer i samsvar med NS-EN 14592 der:

$$\begin{cases} 6\ mm \leq d \leq 12\ mm \\ 0{,}6 \leq \dfrac{d_1}{d} \leq 0{,}75 \end{cases} \tag{4.11}$$

Vil den karakteristiske uttrekkskapasiteten defineres som:

$$F_{ax,\propto,Rk} = \frac{n_{ef}\, f_{ax,k}\, d\, \ell_{ef}\, k_d}{1{,}2\cos^2\alpha + \sin^2\alpha} \tag{4.12}$$

Der

$f_{ax,k}$ er den karakteristiske uttrekkskapasiteten i en vinkel α etter likning (8.39 EC5)

$k_d = min\begin{cases} d/8 \\ 1{,}0 \end{cases};\ (likning\ 8.40\ EC5)$

n_{ef} er effektivt antall skruer

ℓ_{ef} er den gjengede delens inntrengningsdybde

ρ_k er den karakteristiske densiteten

α er vinkel mellom skrue og fiberretning

4.7.5 Minsteavstander mellom skruer

Etter de dimensjonerende kapasitetene er funnet, og dimensjonene for skruer er valgt, bestemmes minsteavstandene etter EC5-1.

Tabell 27: Minste avstand mellom bolter iht. NS-EN 1995-1-1

Innbyrdes avstand og kant-/endeavstander (se figur 8.7)	**Vinkel α**	**Minste innbyrdes avstand og kant-/endeavstand**
a_1 (i fiberretningen)	$0° \le \alpha \le 360°$	$(4 + \lvert \cos \alpha \rvert)\, d$
a_2 (vinkelrett på fiberretningen)	$0° \le \alpha \le 360°$	$4\, d$
$a_{3,t}$ (belastet ende)	$-90° \le \alpha \le 90°$	max [7 d; 80 mm]
$a_{3,c}$ (ubelastet ende)	$90° \le \alpha < 150°$ $150° \le \alpha < 210°$ $210° \le \alpha \le 270°$	A1 $(1 + 6 \sin \alpha)\, d$ $4\, d$ $(1 + 6 \lvert \sin \alpha \rvert)\, d$ A1
$a_{4,t}$ (belastet kant)	$0° \le \alpha \le 180°$	max [$(2 + 2 \sin \alpha)\, d$; $3d$]
$a_{4,c}$ (ubelastet kant)	$180° \le \alpha \le 360°$	$3\, d$

4.7.6 Lastsituasjon spesifikt til forbindelse LVL og Massivtre

Som følge av nyttelast og egenvekt som fungerer på dekket, må skruene som går gjennom LVL-platen og inn i massivtreet dimensjoneres for den skjærende kraften som oppstår på grunn av endemomentene. Ved å benytte løsningen illustrert i figur 20, kan skjærkrefter transporteres gjennom forbindelse som resulterer i et kontinuerlig gulvsystem (Zahid og Zeito, 2023). Dekkespennet som hvert massivtreelement vil dimensjoneres for vil være avstanden mellom skrueforbindelsene som befinner seg ved HSQ-bjelkene. Verdien for momentet vil tas med utgangspunkt i lengden mellom snitt hvor massivtreelementet spenner lengst, noe som gir størst moment. Den dimensjonerende kraften F_{lvl} som skruen må ta skal være mindre eller lik strekkkapasiteten til LVL-platen:

$$F_{lvl} \le f_{t,0,d} * b_{lvl} * t_{lvl} \tag{4.13}$$

Momentet som fungerer på massivtreet defineres som:

$$M_{lvl} = \frac{q_d \, b_{mt}^2}{10} \tag{4.14}$$

Der

$f_{t,0,d}$ er den dimensjonerende strekkapasiteten til LVL-platen

b_{lvl} er LVL-platens bredde

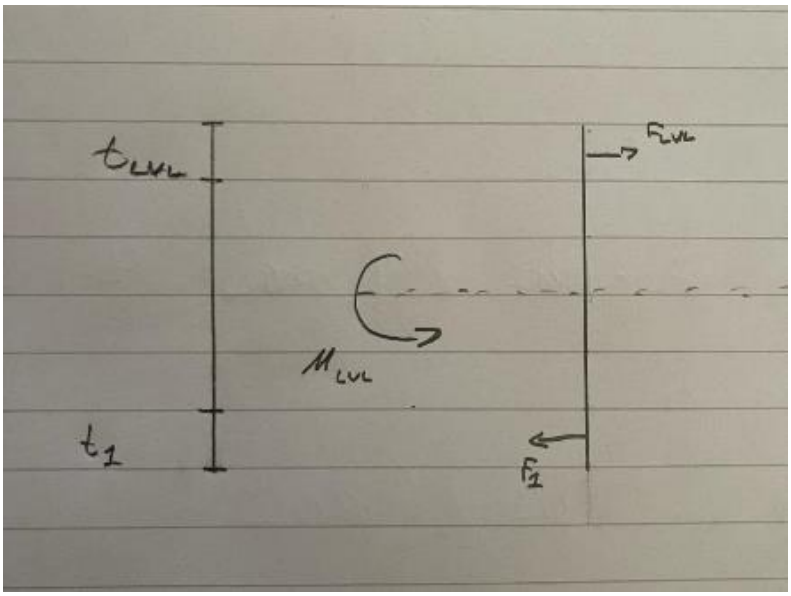
t_{lvl} tykkelsen til LVL-platen

b_{mt} er det største spennet for massivtre

q_d er dimensjonerende kraft på massivtreelement

Nedenfor illustreres momentlikevektet i dette systemet. Resultantene F_1 [N] sammen med F_{lvl} [N] vil fungere med lik kraft, men i motsatte retninger. Hver av dem, ganget med armen til nøytralaksen [mm] skal ha større eller lik verdi som momentet M_{lvl}, i tillegg til å tilfredsstille likning (4.37).

For denne oppgaven, antas det at trykksonen er begrenset til tykkelsen av det første laget, og at trykket fra momentet fungerer over hele tykkelsen t_1. Dette gir oss betingelsene:



Figur 34: Momentlikevekt av system rundt LVL platen

$$\begin{cases} F_{lvl} - F_1 = 0 \\ M_{lvl} = F_1 * \left(t_{tot} - \frac{t_1}{2} - \frac{t_{lvl}}{2} \right) \end{cases} \tag{4.15}$$

Der

F_1 er massivtreelementets resultant for trykkspenning i det første laget

F_{LVL} er dimensjonerende kraft på skruene

t_{tot} er total tykkelse til CLT sammen med LVL platen

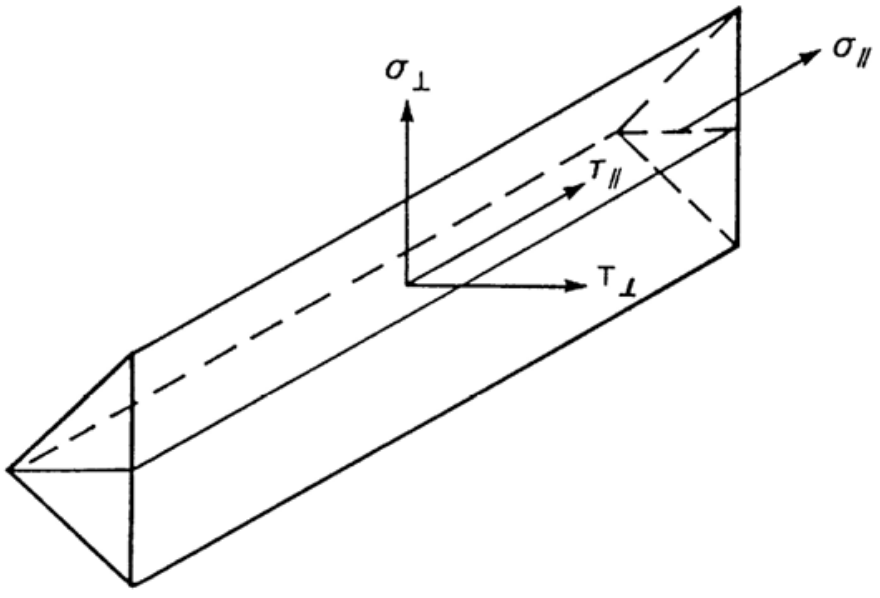
Og

$$F_1 = f_{c,0,d} * b_{lvl} * t_1 \tag{4.16}$$

4.8 Dimensjonering av sveiseforbindelser

Den mest vanlige typen sveis er referert som kilsveis. Denne typen kan forbinde deler der flatene danner en vinkel på mellom 60° og 120° med hverandre. Ved dimensjonering av kapasiteten til kilsveisede forbindelser anbefales det å ta i bruk av Retningsmetoden angitt i 4.5.3.2 eller forenklet metode gitt i 4.5.3.3. Valg av metode avhenger av forbindelsens kompleksitet, belastningsretning og krav til nøyaktighet. Retningsmetoden gir en mer nøyaktig tilnærming der de påførte kreftene som overføres gjennom sveisen dekomponeres per lengdeenhet av sveisefugen. Disse kreftene brytes ned i komponenter både parallelt og normalt på sveisens lengderetning, samt parallelt og normalt på kilsveisens skrå snittflate.

Formålet er å identifisere både normal- og skjærspenninger som virker i sveisen. Det antas i metoden at spenningsfordelingen over sveisesnittet er jevn. Denne antakelsen muliggjør en enkel beregning av spenningskomponentene som deretter kan sammenlignes med de dimensjonerende spenningene som omkommer i sveisen. Figur 38 gir et bilde på spenningskomponentene som oppstår i sveisen:



d

Figur 35: Spenninger i sveisesnittets plan

Forbindelsen anses som tilfredsstilt dersom kombinasjonen av normal- og skjærspenninger i sveisen ikke overskrider den dimensjonerende kapasiteten i henhold til gitte materialparametre og sikkerhetsfaktorer definert i standarden som:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \tag{4.17}$$

Der:

- f_u – er nominell strekkfasthet i den svakeste delen i forbindelsen
- β_w – er en korrelasjonsfaktor gitt for forskjellige stålsorter
- γ_{M2} – partialkoeffisient for sveiser (1,25)

Og:

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0{,}9 f_u}{\gamma_{M2}} \tag{4.18}$$

4.9 Branndimensjonering iht. NS-EN 1993-1-2

Ved en ulykkessituasjon, vil dimensjonerende laster reduseres betydelig i motsetning til ved likning 6.10b, som ellers benyttes for å finne kapasiteter ved bruddgrensetilstand. Dimensjonerende lastkombinasjon i ulykkessituasjoner følger EC0 likning 6.11b:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j}\text{"+"P" +" } A_d\text{"+"}(\psi_{1,1} \text{ eller } \psi_{2,1})Q_{k,1}\text{"+"}\sum_{i>1}\psi_{2,i}Q_{k,i} \qquad (4.19)$$

der

$G_{k,j}$ er permanente karakteristiske laster som egenvekt

P er relevant verdi for en forspenningslast

A_d er dimensjonerende verdi for ulykkespåvirkning

$\Psi_{i,n}$ er faktor for ofte forekommende/en tilnærmet permanent verdi for en variabel påvirkning (se tabell 1)

$Q_{k,1}$ er dominerende last

$Q_{k,i}$ er variable laster

Metoden som brukes for å påvise mostand tar hensyn til kritisk temperatur i materialet. Ifølge EC3-2, defineres kritisk temperatur som punktet der det forventes brudd i konstruksjonsdelen av stål. Påvisning av brannmotstand for uisolerte profiler med hensyn til kritisk temperatur skal tilfredsstille:

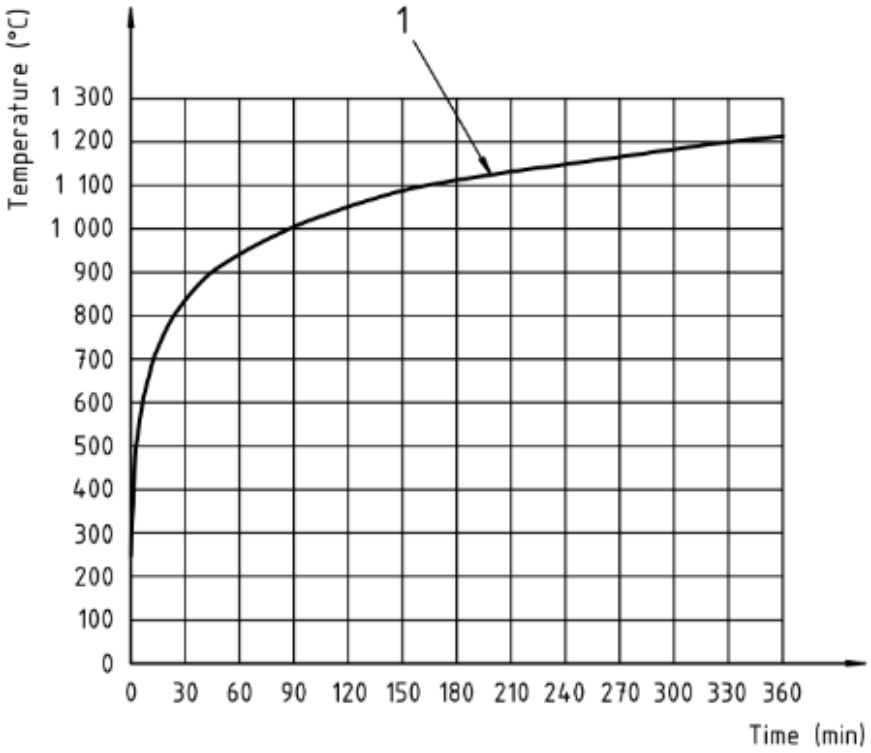
$$\theta_a \leq \theta_{a,cr} \; ; \; når \; t_{fi,requ} = 90min \qquad (4.20)$$

Der

θ_a er ståltemperaturen [ºC] ved tidspunkt $t_{fi,requ}$ iht. ISO834

$\theta_{a,cr}$ er den kritiske temperaturen for materialet som dimensjoneres

$t_{fi,requ}$ er tidskravet for den aktuelle situasjonen



Figur 36: Standard brannkurve iht. ISO834

$$\theta_{a,cr} = 39{,}29 \ln\left[\frac{1}{0{,}9674\ \mu_0^{3{,}833}} - 1\right] + 482 \qquad (4.21)$$

Ifølge EC3-2 likning (4.23), kan utnyttelsesgraden μ_0 for staver i tverrsnittsklasse 1-3 beregnes slik:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}};\ \mu_0 \geq 0{,}013 \tag{4.22}$$

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} * E_d \wedge R_{fi,d,0} = \frac{Af_y}{\gamma_{M,fi}} \tag{4.23}$$

Der

$E_{fi,d}$ er den dimensjonerende lastvirkningen i brannsituasjonen

η_{fi} er reduksjonsfaktor for dimensjonerende lastnivå, settes konservativt lik 0,65

$R_{fi,d,0}$ er kapasiteten ved brannpåvirkning på tidspunktet t=0

$\gamma_{M,fi}$ partialfaktoren for materialet i en brannsituasjon, settes lik 1,0

Ståltemperaturen for et vilkårlig tverrsnitt basert på variasjoner av faktor $k_{sh}\frac{A_m}{V}$ $[m^{-1}]$ finnes ved å benytte tabellen (se tabell 28) slik beskrevet i boka *Fire design of Steel Structure* (Franssen og Real, 2010).

Tabell 28: Ståltemperatur for uisolerte profiler iht. ISO 834 - Brannkurve

Temperature of unprotected stainless steel in ºC, exposed to the ISO 834 fire curve for different values of $k_{sh}\frac{A_m}{V}$, $[m^{-1}]$ (continued)

Time [min.]	10 m^{-1}	15 m^{-1}	20 m^{-1}	25 m^{-1}	30 m^{-1}	40 m^{-1}	60 m^{-1}	100 m^{-1}	200 m^{-1}	300 m^{-1}	400 m^{-1}
79	592	757	856	910	938	961	973	979	983	984	985
80	600	765	862	915	942	964	975	981	985	986	987
81	607	772	868	919	946	967	977	983	987	988	989
82	615	780	874	924	949	969	980	985	989	990	990
83	622	787	880	928	953	972	982	987	991	992	992
84	630	794	886	933	956	974	984	989	992	994	994
85	637	801	891	937	959	976	986	991	994	995	996
86	644	808	897	941	962	979	988	993	996	997	998
87	652	815	902	945	965	981	990	994	998	999	999
88	659	821	907	948	968	983	991	996	1000	1001	1001
89	666	828	912	952	971	985	993	998	1001	1002	1003
90	673	834	917	955	974	987	995	1000	1003	1004	1005

Der

k_{sh} er korreksjonsfaktor for skyggeeffekten

$\frac{A_m}{V}$ er profilfaktoren for uisolerte konstruksjonsdeler av stål iht. EC3-1-2

4.9.1 Påvisning av brannmotstand med passiv beskyttelse

Der brannmotstanden til dimensjonerende bjelker ikke tilfredsstiller kravet fra likning (4.20), iverksettes dimensjonering for brannmotstand med passiv beskyttelse/isolering.

4.10 Klimagassberegninger

Utslippene i CO2ekv beregnes kun for de tyngste elementene i begge rammer, alle andre deler forutsettes å være konstante, uavhengig av rammetype og ekskluderes fra beregningene. Deretter vil resultatene sammenlignes og tolkes basert på data hentet fra programmet One Click LCA.

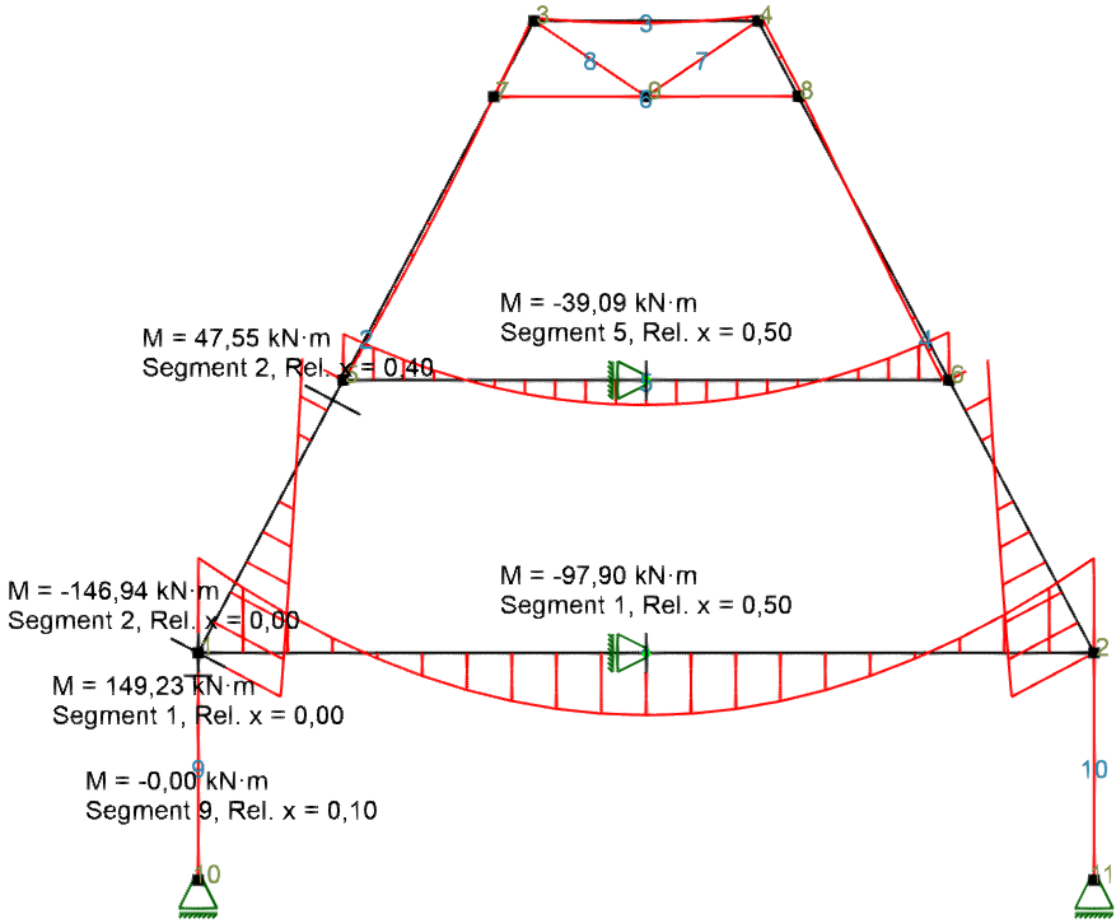
Produsentenes EPD deklarerer utslipp for 1 kg av et vilkårlig produkt, denne verdien vil deretter skaleres med egne mengder for stål funnet etter design av rammen.

Forutsetninger for beregning:

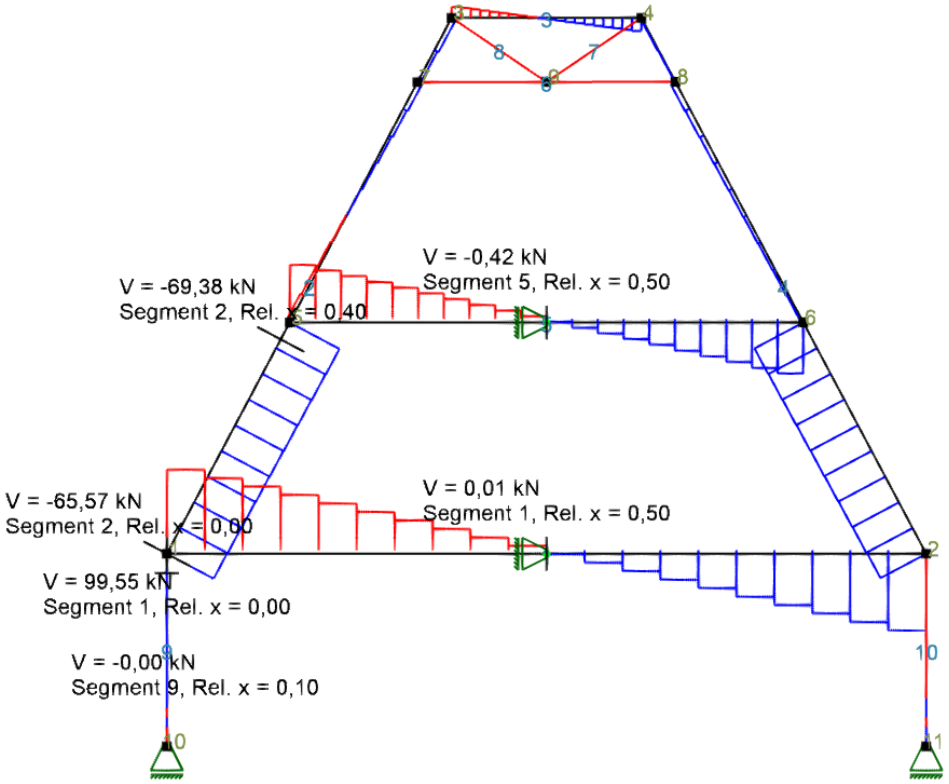
- Det benyttes materialer fra kjente produsenter i Norge sammen med deres EPDer
- Transportavstand antas å være innenfor 100km for alle produkter
- Transportmetode: Trailer med 40 tonns kapasitet og 100% fyllingsrate

5 Resultater

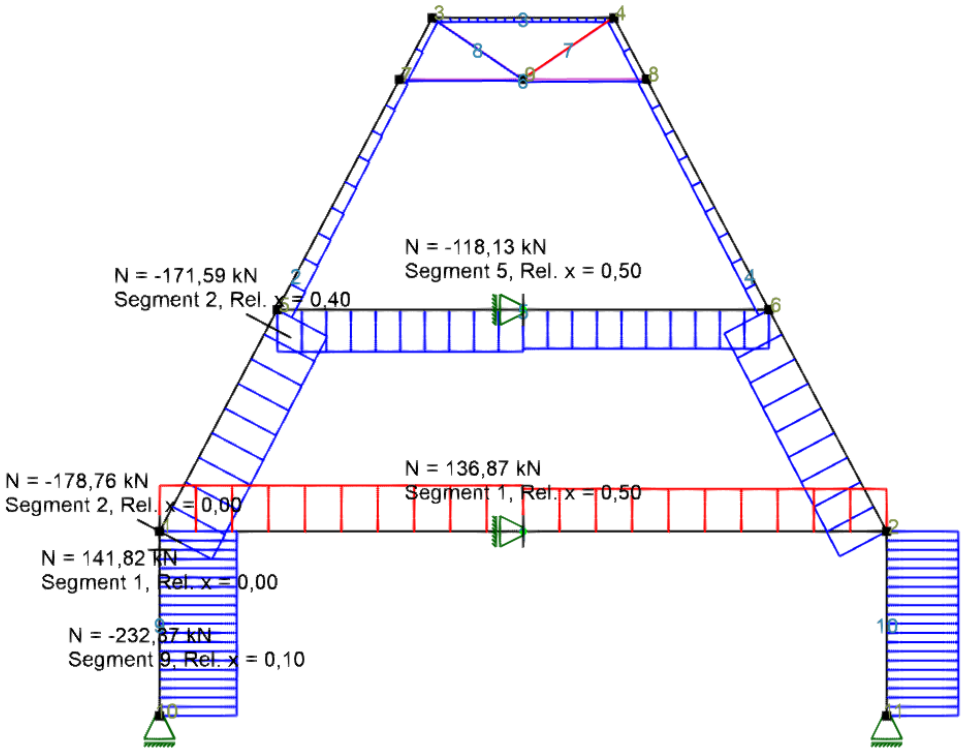
5.1 Lastvirkningsdiagrammer for kritisk stålramme



Figur 37: Momentdiagram for kritisk ramme



Figur 38: Skjærdiagram for kritisk ramme

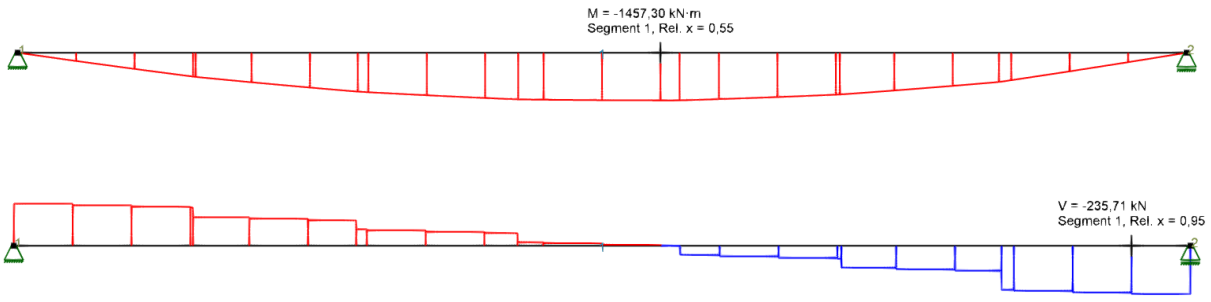


Figur 39: Normalkraftdiagram for kritisk ramme

Tabell 29: Kapasitetsutnyttelse iht. relevant kontroll

Kapasitetsutnyttelser – FEM-Design		**Kapasitetsutnyttelser – Manuelle beregninger**	
Diagonaler		**Diagonaler**	
Elastisk tversnittskontroll	0,90	Elastisk tversnittskontroll	0,90
Skjær	0,14	Skjær	0,20
Bøyning og aksialkraft	0,88	Bøyning og aksialkraft	0,52
Vipping	0,79	Vipping	0,81
HSQ-bjelke		**HSQ-bjelke**	
Elastisk tversnittskontroll	0,91	Elastisk tversnittskontroll	0,87
		Bøyning og trykk	0,50
		Skjær	0,43
		Vipping	0,60

5.2 Resultater av massivtredekket



Figur 40: Moment- og skjærdiagram for skiven

Tabell 30: Resultater fra manuelle beregninger

Skivekrefter - Manuelle beregninger		
M_{max}	1457,39	[kNm]
V_{max}	239,54	[kN]
N_C /N_T	247,60	[kN]
Lengde	24,555	[m]
Bredde	5,886	[m]

Tabell 31: Skjærkraft og skjærstrøm ved forbindere fra manuelle beregninger

Skjærkraft og skjærstrøm ved forbindelsene– Manuelle beregninger		
Snitt	V_{Ed} [kN]	v [kN/m]
B.0	209,52	35,60
B.1	186,18	31,63
B.2	121,72	20,68
B.3	59,90	10,18
B.4	-42,63	-7,24
B.5	-104,03	-17,67
B.6	-214,96	-36,52
B.7	-239,54	-40,70

5.2.1 Kritiske punkter for massivtredekket

Tabell 32: Lastpåkjenning for snitt der x=24,555m

Vertikal lastpåkjenning (x=24,555m)			**Fastheter**		
V_z	11,84	kN/m			
$\tau_{v,xz,d}$	0,13	N/mm^2/m	$f_{v,d}$	2,78	N/mm^2
M_y	11,66	kNm/m			
$\sigma_{m,y,d}$	2,2	N/mm^2/m	$f_{m,d}$	21,22	N/mm^2
Horisontal lastpåkjenning (x=24,555m)			**Fastheter**		
V_y	239,54	kN			
$\tau_{v,xy,d}$	0,85	N/mm^2	$f_{v,d}$	2,78	N/mm^2
M_z	0	kNm			
$\sigma_{m,z,d}$	0	N/mm^2	$f_{m,d}$	21,22	N/mm^2

Kombinasjon av skjær og bøyning om to akser (brukskapasitet):

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}}\right)^2-\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}}*\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}}\right)+3*\left(\left(\frac{\tau_{v,xz,d}}{f_{y,d}}\right)^2+\left(\frac{\tau_{v,xy,d}}{f_{y,d}}\right)^2\right)}\leq 1{,}0$$

$$\sqrt{\left(\frac{2{,}2}{21{,}22}\right)^2+\left(\frac{0}{21{,}22}\right)^2-\left(\frac{2{,}2}{21{,}22}*\frac{0}{21{,}22}\right)+3*\left(\left(\frac{0{,}13}{2{,}78}\right)^2+\left(\frac{0{,}85}{2{,}78}\right)^2\right)}=0{,}54$$

Tabell 33: Lastpåkjenning for snitt der x=13,59m

Vertikal lastpåkjenning (x=13,59m)			**Fastheter**		
V_z	10,19	kN/m			
$\tau_{v,xz,d}$	0,11	$N/mm^2/m$	$f_{v,d}$	2,78	N/mm^2
M_y	8,63	kNm/m			
$\sigma_{m,y,d}$	1,6	$N/mm^2/m$	$f_{m,d}$	21,22	N/mm^2
Horisontal lastpåkjenning (x=13,59m)			**Fastheter**		
V_y	0	kN			
$\tau_{v,xy,d}$	0	N/mm^2	$f_{v,d}$	2,78	N/mm^2
M_z	1457,39	kNm			
$\sigma_{m,z,d}$	3,15	N/mm^2	$f_{m,d}$	21,22	N/mm^2

Brukskapasitet:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}}\right)^2-\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}}*\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}}\right)+3*\left(\left(\frac{\tau_{v,xz,d}}{f_{y,d}}\right)^2+\left(\frac{\tau_{v,xy,d}}{f_{y,d}}\right)^2\right)}\leq 1{,}0$$

$$\sqrt{\left(\frac{1{,}6}{21{,}22}\right)^2+\left(\frac{3{,}15}{21{,}22}\right)^2-\left(\frac{1{,}6}{21{,}22}*\frac{3{,}15}{21{,}22}\right)+3*\left(\left(\frac{0{,}11}{2{,}78}\right)^2+\left(\frac{0}{2{,}78}\right)^2\right)}=0{,}15$$

5.3 Nedbøyning for dekke og HSQ-bjelke

Tabell 34: Nedbøyningskontroll for dekke og HSQ-bjelke

Vertikal nedbøyning			
Kritisk dekkespenn [mm]		**Kritisk HSQ-bjelke [mm]**	
Deformasjon pga. egenlast: $w_{g,k}$	0,53	Deformasjon pga. egenlast: $w_{g,k}$	8,57
Deformasjon pga. nyttelast: $w_{n,k}$	1,26	Deformasjon pga. nyttelast: $w_{n,k}$	17,93
Korttidsdeformasjon: w_{ins} = $w_{g,k} + w_{n,k}$	1,79	**Korttidsdeformasjon: w_{ins} = $w_{g,k} + w_{n,k}$**	26,5
Langtidsdeformasjon egenlast: $w_{fin,g}$	0,98	Langtidsdeformasjon egenlast: $w_{fin,g}$	15,85
Langtidsdeformasjon nyttelast $w_{fin,n}$	1,58	Langtidsdeformasjon nyttelast $w_{fin,n}$	22,51
Langtidsdeformasjon: $w_{fin,tot}$ = $w_{fin,g} + w_{fin,n}$	2,56	**Langtidsdeformasjon: $w_{fin,tot}$ = $w_{fin,g} + w_{fin,n}$**	38,35
Nedbøyningskrav (L/200)	18,15	Nedbøyningskrav (L/200)	49,02

Tabell 35: Deformasjonberegning fra FEM-program

Horisontal deformasjon ihht. FEM-Design [mm]	
Massivtre-skive 5. etg:	7,9
Deformasjonskrav (L/200)	122,78

5.4 Antallet nødvendige skruer

Tabell 36: Antallet nødvendige skruer for gitt type forbindelse

Type forbindelse	Antallet nødvendige skruer ved kritiske punkter
LVL-plate	61 skruer/side
Sideplate av stål	86 skruer
Forbindelse HSQ og massivtre	38 skruer

5.5 Vekt

Tabell 37: Vekt av påbygg konstruert med stål

Påbygg-STÅL							Total [kN]
Bjelker	Hatteprofil-m	Hatteprofil-e	IPE-330				
Vekt [kN]	61,99225065	15,922624	64,05754872				141,9724
		Tilleggslaster original					
Søyle	IPE-330	HEB (fot)	Betongputer				
Vekt [kN]	20,03269689	3,31817364	19,16281476				42,513685
Dekke	Dekke 4. etg.	tillegg topp	tillegg under	Dekke 5. etg.	tillegg topp	tillegg under	
Vekt [kN]	166,4798192	38,7334896	33,85543046	127,9361132	29,6032309	26,0654057	422,67349
Tillegg tak	oppbygning	Skylight	vindu vegg				
Vekt [kN]	220,8851569	1,092	16,73792895				238,71509
Staver	kvadratisk hulprofil						
Vekt [kN]	1,467104335						1,4671043
SUM [kN]							847,342
Nyttelast	4. etg.	5. etg.					
Vekt [kN]	592,2551925	452,64879					1044,904
SUM + N.T [kN]							1892,2458
						Avrunding:	1900

Tabell 38: Vekt av påbygg konstruert med tre

Påbygg-TRE							Total [kN]
	Etasje-bjelke				Ramme-bj		
Bjelker	295x450	295x720	90x180		295x315		
Vekt (kN)	27,61482043	66,573926	13,88159514		51,0427874		159,11313
	Tilleggslaster original						
Søyle	HUP	HEB (fot)	Betongputer				
Vekt (kN)	11,54979898	3,31817364	19,16281476				34,030787
Dekke	Dekke 4. etg.	Iso/bjelkelag	2x Gips	Dekke 5. etg.	Iso/bjelkelag	2x Gips	
Vekt (kN)	157,0091081	19,4132585	29,01027914	119,8800191	15,5355282	23,376143	364,22434
Tillegg tak	oppbygning	Skylight	vindu ark/dekke				
Vekt (kN)	225,5198116	1,092	16,73792895				243,34974
Staver	Staver						
Vekt (kN)	8,698046859						8,6980469
SUM [kN]							809,41604
Nyttelast	4. etg.	5. etg.					
Vekt (kN)	590,864805	444,31194					1035,1767
SUM + N.T [kN]							1844,5928
						Avrunding:	1850

5.6 Brannmotstand og klassifisering

Tabell 39: Klassifiseringer og resultater fra brannkontroll

Resultater for brannmotstand og klassifisering		
Brukskategori	Risikoklasse	Brannklasse
B – Kontor	II	BKL III
$\theta_{a,cr}$ [ºC]	θ_a [ºC] iht. ISO-kurve	
1282	1004	

5.7 Klimagassutslipp

5.7.1 Resultater for stålramme

Livssyklusanalyse for Level(s) i samsvar med EN 15978 Last ned resultatsammendrag

	Sektor	Klimagassutslipp kg CO2e	Biogent karbonlagring kg CO2e bio	Ozonreduksjonspotensial kg CFC11e	Forsuring kg SO2e	Eutrofiering kg PO4e	Formasjon av ozon i lavere atmosfære kg Ethenee	Abiotisk uttynningspotensial (ADP-elementer) for ikke-fossile ressurser kg Sbe	Abiotisk uttynningspotensial (ADP-fossile brensler) for fossile ressurser MJ	
A1-A3	Byggematerialer	1,50E+04	0,00E+00	1,45E-04	5,46E+01	5,39E+00	4,32E+00	9,71E-03	1,69E+05	Detaljer
A4	Transport til byggeplassen	6,46E+01		1,28E-05	2,97E-01	6,48E-02	3,64E-03	4,68E-01	1,84E+03	Detaljer
A5	Byggeplass	1,58E+02		2,90E-06	5,81E-01	6,13E-02	4,37E-02	5,16E-02	1,89E+03	Detaljer
C1-C4	Endt levetid	6,82E+02		1,32E-04	3,23E+00	6,84E-01	4,89E-02	4,68E+00	1,89E+04	Detaljer
D	Utover livsløp (ikke inkludert i totalen)	-1,77E+04		-9,71E-04	-7,39E+01	-1,11E+01	-1,05E+01	-8,92E-02	-2,43E+05	Detaljer
	Total	**1,59E+04**	**0,00E+00**	**2,93E-04**	**5,87E+01**	**6,20E+00**	**4,41E+00**	**5,21E+00**	**1,91E+05**	
	Resultater per nevner									
	Per brutto innvendig gulvareal m2 / år	8,71E-01	0,00E+00	1,60E-08	3,21E-03	3,39E-04	2,41E-04	2,85E-04	1,05E+01	
	Per brutto innvendig gulvareal m2	4,35E+01	0,00E+00	8,02E-07	1,60E-01	1,69E-02	1,21E-02	1,42E-02	5,23E+02	

Figur 41: Skjermklipp fra LCA-program - Vanlig syklus fra vugge til grav for stålramme (1)

5.7.2 Resultater for treramme

Livssyklusanalyse for Level(s) i samsvar med EN 15978 Last ned resultatsammendrag

	Sektor	Klimagassutslipp kg CO2e	Biogent karbonlagring kg CO2e bio	Ozonreduksjonspotensial kg CFC11e	Forsuring kg SO2e	Eutrofiering kg PO4e	Formasjon av ozon i lavere atmosfære kg Ethenee	Abiotisk uttynningspotensial (ADP-elementer) for ikke-fossile ressurser kg Sbe	Abiotisk uttynningspotensial (ADP-fossile brensler) for fossile ressurser MJ	
A1-A3	Byggematerialer	4,55E+03	3,29E+04	7,50E-05	2,60E+01	3,23E+00	2,91E+00	1,06E-03	2,96E+04	Detaljer
A4	Transport til byggeplassen	7,13E+01		1,41E-05	3,29E-01	7,16E-02	4,02E-03	5,17E-01	2,03E+03	Detaljer
A5	Byggeplass	4,23E+02		1,81E-05	3,63E+00	5,77E-01	3,72E-01	1,74E-01	2,00E+03	Detaljer
C1-C4	Endt levetid	3,47E+02		4,15E-05	2,52E+00	7,82E-01	7,64E-02	8,96E-01	5,60E+03	Detaljer
D	Utover livsløp (ikke inkludert i totalen)	-5,69E+03		-3,30E-04	-4,19E+01	-8,98E+00	-2,99E+00	-2,04E-02	-5,85E+04	Detaljer
	Total	**5,39E+03**	**3,29E+04**	**1,49E-04**	**3,25E+01**	**4,66E+00**	**3,36E+00**	**1,59E+00**	**3,92E+04**	
	Resultater per nevner									
	Per brutto innvendig gulvareal m2 / år	2,94E-01	1,80E+00	8,13E-09	1,77E-03	2,54E-04	1,84E-04	8,68E-05	2,14E+00	
	Per brutto innvendig gulvareal m2	1,47E+01	9,00E+01	4,06E-07	8,87E-02	1,27E-02	9,18E-03	4,34E-03	1,07E+02	

Figur 42: Skjermklipp fra LCA-program - Vanlig syklus fra vugge til grav for treramme (2)

6 Diskusjon og analyse

6.1 Stålrammer

I kapittel 5.5 blir det henvist at vekten til den opprinnelige limtrerammen er lettere enn stålkonstruksjonen . Med bare denne informasjonen kan vekten ved bruk av tre være en bedre løsning enn den stålrammen, men flere faktorer settes på spill. Samtlige like konstruksjoner vil ha ulik vekt for stål-/trekonstruksjonen grunnet ulike bredder, lengder, samt vinkler for diagonalene.

Limtrerammene er konstruert i en vinkel på 61°, mens stålrammene har en vinkel på 62°. Spennviddene til dekkene vil være forskjellige grunnet bredden til HSQ-bjelken og limtrebjelken brukt i eksisterende bygg. Breddene til dekkene vil også være større grunnet den forskjellige vinkelen. Alle konstruksjonsdelene er satt på likt sted i henhold til etasjehøydene, men for den opprinnelige konstruksjonen vil bredden til øverste dekke avvike rent matematisk. Fra produksjons-filene gitt av *Moelven*, er bredden mindre enn det den faktisk skal være i forhold til høyden. Dette er en feilkilde som også indikerer på at den opprinnelige løsningen kanskje har dekket litt høyere enn gitt posisjon. Søylene for stålkonstruksjonen vil også være lengre grunnet høydeforskjeller i HSQ-bjelkene og nedre limtrebjelke.

6.2 Skrueforbindelser

Alle skruene er dimensjonert etter EC5 med karakteristisk hullkantfasthet for bartrevirke. Eurokoden dekker ikke karakteristisk hullkantfasthet spesifikt for massivtre. Men, den svenske massivtrehåndboka (Swedish Wood, 2019, s. 81). har referert til empiriske formler for karakteristisk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretningen for massivtre. Formlene er utviklet etter samtlige tester og gir vesentlig like fastheter til Eurokoden. Resultatene vil ikke gi merkbare forskjeller i nødvendige antall skruer.

6.3 Fundament

Vanligvis vil stabiliteten i høybygg bli sjekket med tanke på de horisontale lastene bygget eksponeres for. Ofte vil fundamentet bli dimensjonert for velting der bygningen inkludert bunnplaten betraktes som en sammenhengende enhet. Dette stiller krav til forankring mellom stabiliserende overbygg og fundament (Swedish Wood, 2019, s. 116). Velting kontrolleres deretter ved å beregne om bygningens egenvekt er tilstrekkelig til å motvirke «veltemomentet» til vindlasten (og evt. skjevstillingslaster) som treffer bygget. Hvis egenlasten ikke gir tilstrekkelig motstand mot velting, må utformingen av bygningen endres ved å enten øke egenvekten eller forankre bunnplaten i undergrunnen (Habtemichael, 2024).

Grunnforholdene er den store faktoren til hvorfor bygget ligger på murvegger og søyler over bakkehøyde. *Stabil AS*, som er et eksternt firma i samarbeid med *Moelven* og *Sweco*, har utført en sjekk for grunnforhold, fundament og risikovurdering for bygget. I ØV11 blir etasje U2 og U1 betraktet som fundament der disse ligger rett over fast fjell. Ytterveggene er ført ned på rensket/sprengt fjell og bærende innervegger i disse etasjene er bygd opp av såler/banketter støpt i kontakt med fjell. Søyler fra disse etasjene er støpt på kvadratiske pilarer og stålkjernepeler som her også føres ned til fjellet. I tillegg blir det støpt ny selvbærende bunnplate på de eksisterende ytterveggene for ytterligere beskyttelse.

Den ekstra forsterkningen skyldes sannsynligvis den økte vertikale lasten som påbygget frembringer. For å unngå å sette fundamentet i ytterlig risiko, vil de ekstra horisontale lastene påbygget blir eksponert for ført videre til nabobygget og deretter til nabobyggets fundament. Hvis de resterende etasjene også er koblet til nabobygget samt fundamentet, kan man anse alle bygningene som en hel enhet. Med dette i baktanke er det lite sannsynlig at velting er et problem der egenvekten til alle bygningene vil være dominerende. I tillegg til dette vil noe av den vertikale påkjenningen bli fordelt til nabofundamentet for denne antagelsen.

Ved endring av limtre- til stålrammer merker vi en periferisk økning i vekt. Om vi regner på resultatet gitt i kapittel 5.5, gir stålkonstruksjonen en påført last på rundt 0,2 kN/m^2 på det eksisterende bygget. Dette er i den dimensjonerende verden liten, der betydningen på fundamentet også kan neglisjeres. Det er mulig at lokale punkter trenger ytterliggere forsterkning der fordelingen av den ekstra lasten er liten, noe som vil si at påvirkningen må analyseres og dokumenteres i det gitte punktet. Men siden bygget opprinnelig er fra 1800-

tallet, kombineres gamle og nye konstruksjonsløsninger og materialer som betong med tegl og stål med mørtel. Samtlige materialer og beregninger for disse dekkes ikke av opplæring fra studiet og ekskluderes fra analysen i prosjektoppgaven.

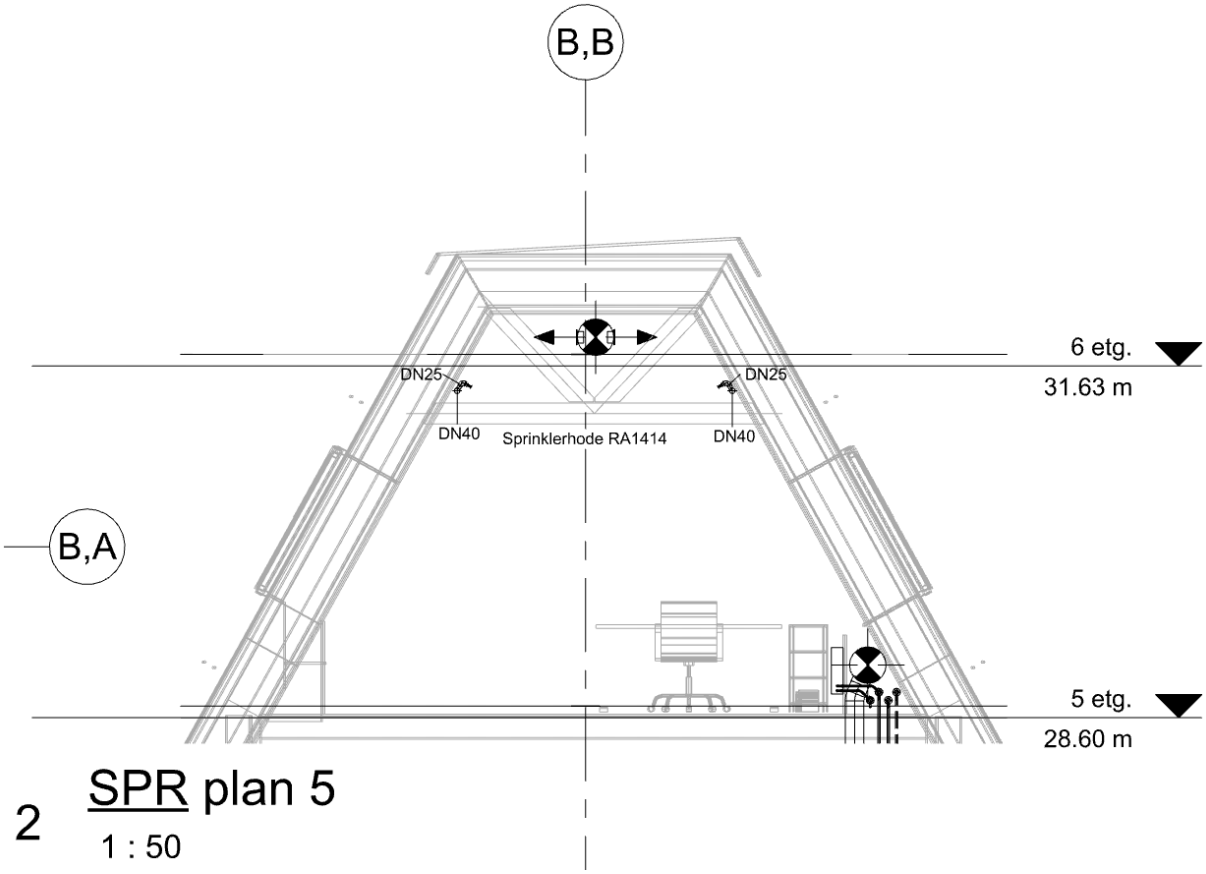
6.4 Brannkrav

Etter å ha gjennomført en enklere dimensjonering av spesifikke elementer i rammen, kommer det frem at tverrsnittene som er mest eksponerte for brann vil tilfredsstille kravene. Den kritiske temperaturen er en del høyere enn temperaturen ved 90 minutter iht. Standard ISO-kurve, noe vil si at elementet kan stå i åpen brann uten å måtte isoleres. Derimot, for å få en realistisk global-vurdering av konstruksjonen med tanke på brann, må man bruke mer avansert analyse som dokumenterer hvordan en brann påvirker løsninger bygd opp av flere lag og ulike materialer. Eksempelvis, HSQ-bjelken som er omringet av massivtre og isolerende materialer på toppen grunnet den store lasten denne spesifikke bjelken. De omringende materialene vil forlenge tiden det tar å varme opp stålet til kritisk temperatur, noe som gjør at den bærende konstruksjonsdelen kan holde sin funksjon i lenger tid.

I en test gjort av den mest kritiske HSQ-bjelken i etterkant, ble det antatt at bjelken ble påkjent av brann på alle kanter slik som diagonalen ble beregnet. Det viste seg at den kritiske temperaturen fortsatt holdt seg under kravet, noe som garanterer bæreevnen til bjelken slik den er planlagt med omringende elementer. Denne bjelken har en høyere strekkpåkjenning enn diagonalen, men i tillegg større areal og flytespenning, noe som ser ut til å være meget kritisk for den økte lasten.

Ved siden av de omringende elementene som kan defineres som en slags passiv beskyttelse, har bygget aktiv beskyttelse i form av sprinklersystem og varsling i form av alarm direkte til sentral, se figur 47. Disse systemet vil ha en tydelig virkning på brannutviklingen, selv om dimensjoneringsmetodikken for brann ikke tar høyde for dette. Sprinklersystemet oppdager og kontrollerer brannen ved at det sprutes vann (Standard Norge, 2019), alarmen vil utløses og varsle nødetater. Som følge av dette vil det være konservativt å anta at temperaturutviklingen forlenges ytterligere ved at ståltemperaturen (θ_a) ved 90 minutter iht. kravet nås på et senere tidspunkt enn ved standard ISO-kurve, og øker sannsynligheten for at

brannen kan kontrolleres og slukkes i god tid før kritisk temperatur er nådd. I en studie om brannutvikling og effekten av sprinklersystemer, kommer det tydelig fram at den meget ustabile og raske brann-/røykutviklingen kontrolleres av sprinklersystemer i antenningsfasen (Ye, et al. 2016), allikevel må det verste scenarioet vurderes, at elementene står i åpen og ukontrollert brann uten ekstern påvirkning.



Figur 43: Montasje av sprinklersystem

6.5 Klimagassutslipp

Ved å sammenligne livssyklusanalysene for de relevante scenarioene vist i kapittel 5.7 (1 og 2), kommer det frem at scenarioet for tre fører til betydelig mindre rent klimagassutslipp i kg CO2ekv. I scenarioene for resirkulerte stålelementer, vil den initiale utvinnings-/produksjonsfasen kuttes ut, med andre ord vil organisasjonen som eventuelt realiserer prosjektet ikke være ansvarlig for disse stadiene ettersom resirkulert materiale benyttes. Alle prosesser etter materialet hentes inn hos gjenvinningssentral vil derimot tas i betraktning. Dette gjelder kun for stål, siden limtre ikke kan gjenbrukes til samme formål grunnet krav om bevaring av mekaniske egenskaper. Siden treprodukter kun kan nedsirkuleres, vil innføring av materialet følge normal syklus som fører til et økt utslipp i de første stadiene i livssyklusen spesifikt for tre. Dette utslippet er derimot lavt i forhold til stålets initiale utslipp. Positivt for stål, er at det kan skrapes, smeltes og formes til nye produkter i samme lastbærende bruksområde med en teoretisk gjenvinningsgrad på 100% (Sansom og Avory, 2014).

Trerammen vil gjøre opp for virkningen av sin produksjonsfase ved at materialet lagrer CO2 i løpet av livssyklusen. Mengden biogent karbon anslår programmet til å være 33 tonn CO2ekv, noe som er mange ganger mer enn utslippet fra produksjonsfasen, og mer enn hele utslippet fra produksjonsfasen til stålproduktene. Denne potensielle energien vil derimot frigjøres, dersom materialet forbrennes eller brytes ned.

Økningen i utslipp for stål er en forholdsvis drastisk økning, ettersom verdiene skaleres med mengden stål som benyttes. Det er verdt å merke seg at mengden stål og tre som benyttes i analysen er begrenset til rammekonstruksjonens tyngste elementer, nemlig rammen selv. Sammenligning av begge situasjoner viser en økning i CO2ekv på nærmere 300% for rammen som konstrueres i stål.

7 Konklusjon

Etter dimensjonering og vurdering av den alternative rammen i stål, konkluderes det med at et optimalisert stålsystem gir marginal økning i total vekt sammenlignet med opprinnelig limtreløsning, men at det kan føre til nye økonomiske og tekniske konsekvenser eksempelvis for forbindelser, knutepunkter og integrering mot eksisterende treelementer. Forutsatt at eksisterende forsterkninger videreføres, vil effekten av den alternative rammen derfor ha lite betydning i en global sammenheng. Nedenfor vises kraften [kN] som fungerer på underliggende konstruksjon (se tabell 39).

Tabell 40: Sammenligning av kraft [kN] fra ramme av stål og limtre

kraft [kN] fra rammer på underliggende konstruksjon	
Limtre	Stål
1850	1900

Kontroller gjennomført for kritiske elementer tilfredsstiller kriteriene for brann. For flater som kan anses å være direkte eksponert, er belastningene for lave til å ha noen signifikant betydning for bæreevne under en eventuell brann. Øvrige bærende elementer som blir påkjent av krefter med større betydning for integritet, anses som beskyttede gjennom eksisterende sjiktsoppbygning.

Med tanke på klimagassutslipp, ser vi ut ifra resultater utført med LCA-program at rammen konstruert i tre har betydelig mindre klimagassutslipp enn rammen som utelukkende konstrueres i stål. Resultatene viser en økning i utslipp av CO2ekv på 300% til tross for resirkuleringspotensialet for stål.

For dette konkrete prosjektet fremstår derfor hovedbæring av tre som det mest hensiktsmessige og bærekraftige materialvalget på bakgrunn av analysen som er blitt gjort, og bruksområdet til konstruksjonen.

8 Videre arbeid

Under innhenting av informasjon særlig for HSQ-profilen, viste det seg å være lite materiell som dekker kombinasjonen av HSQ-profiler med tredekker, da HSQ-profiler primært brukes for betongdekker. Videre arbeid kan utforske og utarbeide effektive, trygge og solide løsninger for den nevnte materialkombinasjonen.

Spesifikt for prosjektet ØV11 og særlig relevant for fremtidige prosjekter og byggherre, burde i tillegg den økonomiske belastningen sammenlignes for begge rammetyper. Videre kan det vurderes hvordan en eventuell brann ville ha påvirket forbindelser og knutepunkter.

Litteraturliste

Bakshi, B. R. (2019) *Sustainable Engineering: Principles and Practice*. England: Cambridge University Press.

Ernst, L. (2024) *Internal forces.* Tilgjengelig fra: https://structuralbasics.substack.com/p/internal-forces (Hentet 3. mai 2025)

EU-kommisjonen (2025) *About the EN Eurocodes | Eurocodes: Building the future*. Tilgjengelig fra: https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/en-eurocodes/about-en-eurocodes (Hentet: 20.03 2025).

FPInnovations. (2019) *Canadian CLT Handbook.* Volum 1. Canada: FPInnovations. Tilgjengelig fra: https://web.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/clt-handbook-complete-version-en-low.pdf (Hentet: 28. april 2025).

Franssen, J.-M. og Real, P. V. (2010) Annex A: Thermal data for carbon steel and stainless-steel sections. *Fire Design of Steel Structures.* Tyskland: ECSS, s. 319-345.

Franssen, J.-M. og Real, P. V. (2010) Annex C: Mechanical properties of carbon steel and stainless steel. *Fire Design of Steel Structures.* Tyskland: ECSS, s. 359-381.

Habtemichael, A. S. 2024. Dimensjonering av dekke med KLT-elementer. *BYGG2351 Dimensjonering og visualisering av høye bygninger.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com (Hentet: 2. mai 2025).

Habtemichael, A. S. 2024. Global stabilitet og fundamentering av vertikale avstivende skiver (av betong/CLT). *BYGG2351 Dimensjonering og visualisering av høye bygninger.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com (Hentet: 7. mai 2025).

Ji, G. 2024. Forbindelsesmidler og konstruksjonsdetaljer. *BYGG2256 Forbindelsesmidler og konstruksjonsdetaljer.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com (Hentet: 15. februar 2025).

Landgraff, M. 2023. Vindlast del 1. *BYGG2251 Konstruksjonslære.* Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com (Hentet: 12. februar 2025).

LCA.no (2022) *Hva er LCA?*. Tilgjengelig fra: https://lca.no/hva-er-lca/ (Hentet: 05. Mai 2025).

Moelven (2025) *LVL (kerto®)*. Tilgjengelig fra: https://www.moelven.com/no/no/limtre/lvl-kerto/ (Hentet: 15. April 2025).

Moroder, D. (2016) *Floor diaphragms in multi-storey timber buildings*. Doctor of Philosophy, University of Canterbury.

Norske Limtreprodusenters Forening (2015) *Limtreboka*. Norge: Norske Limtrebokas Forening.

Norsk Stålforbund. (2025) *Sveiste bjelker*. Tilgjengelig fra: https://www.stalforbund.no/sveiste-bjelker/ (Hentet: 20. Mars 2025).

Olerud, K. og Lahn, B. (2023) Store norske leksikon *Klimagassutslipp.* Tilgjengelig fra: https://snl.no/klimagassutslipp (Hentet: 15. April 2025).

Standard Norge. (1999) *ISO 834-1:1999 Fire-resistance tests - Elements of building construction*. Tilgjengelig fra: https://online.standard.no/nb/iso-834-1-1999 (Hentet: 2. Mai 2025).

Standard Norge. (2016) *NS-EN 1990:2002+A1:2005+AC:2010+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*. Tilgjengelig fra: https://standard.no/fagomrader/eurokoder/ns-en-1990-grunnlag-for-prosjektering-av-konstruksjoner/ (Hentet: 5. April 2025).

Standard Norge. (2018) *NS-EN 1993-1-2:2005+NA Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering*. Tilgjengelig fra: https://standard.no/fagomrader/eurokoder/eurokode-3-prosjektering-av-stalkonstruksjoner/ (Hentet: 28. April 2025).

Standard Norge (2019) *NS-EN 12845:2015+A1:2019 Faste brannslokkesystemer - Automatiske sprinklersystemer - Dimensjonering, installering og vedlikehold*. Tilgjengelig fra: https://online.standard.no/nb/ns-en-12845-2015a1-2019 (Hentet: 10. Mai 2025).

Standard Norge. (2019) *NS-EN 1993-1-5:2006+A2:2019+NA Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-5: Plater påkjent i plateplanet*. Tilgjengelig fra: https://online.standard.no/nb/ns-en-1993-1-5-2006a2-2019na-2019 (Hentet: 2. Mai 2025).

Standard Norge. (2019) *NS-EN 10025-2:2019 Varmvalsede produkter av konstruksjonsstål - Del 2: Tekniske leveringsbetingelser for ulegerte konstruksjonsstål*. Tilgjengelig fra: https://online.standard.no/nb/ns-en-10025-2-2019 (Hentet: 30. April 2025).

Standard Norge. (2024) *NS-EN 1995-1-1:2004+A2:2014+NA:2024 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*. Tilgjengelig fra: https://online.standard.no/nb/ns-en-1995-1-1-2004a2-2014na-2024-2 (Hentet: 26. April 2025).

Stora Enso. (2022) *CLT Rib Panels - Structural design manual*. Tilgjengelig fra: https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-specifications/wood-products/rib-panel-technical/structural-design-manualclt-rib-panelsv021-sep-2022.pdf (Hentet: 22. April 2025).

Swedish Wood. (2019) *The CLT Handbook.* Sverige: Swedish Wood.

Sintef. (2019) *Splitkon krysslimt tre*. (Teknisk Godkjenning 20712). Norge: SINTEF. Tilgjengelig fra: https://splitkon.no/app/uploads/2024/05/10-2023-Teknisk-Godkjenning-20712.pdf (Hentet: 28. April 2025).

Sansom, M. og Avery, N. (2014) Briefing: Reuse and recycling rates of UK steel demolition arisings, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 167(3), s. 89-94. https://doi.org/10.1680/ensu.13.00026

Serano, E. *et al.* (2015) *Limtreboka*. Norske Limtreprodusenters Forening. Tilgjengelig fra: https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf.

Stabil (u.d.) *Øvre Vollgate 11 på Kvadraturen i Oslo er et herskapelig murbygg fra 1875 hvor det nå skal bygges på to nye etasjer med rammekonstruksjoner i limtre*. Tilgjengelig fra: https://www.stabil.as/aktuelt/ovre-vollgate-11-pa-kvadraturen-i-oslo-er-et-herskapelig-murbygg-fra-1875-hvor-det-na-skal-bygges-pa-to-nye-etasjer-med-rammekonstruksjoner-i-limtre (Hentet: 20. Februar 2025).

Strong-Tie, S. (2024) *Structural Fasteners Technical Guide*. (C-F-EU-TG-2023-4). Tilgjengelig fra: https://www.calameo.com/read/000764082c1d78cae5b9d (Hentet: 20. April 2025).

TEK17 (2017) *Byggteknisk forskrift*. Tilgjengelig fra: https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/10/10-2 (Hentet: 25. April 2025).

Thue, J. V. *Fundament.* Tilgjengelig fra: https://snl.no/fundament (Hentet: 15. Mai 2025)

Vinje, L. (2016) *Betongelementboken Bind B - Avstivning og kraftoverføring*. Betongelementforeningen. Tilgjengelig fra: https://betongelementboka.betong.no/betongapp/BookB.asp?isSearch=0&liID=Forord&DocumentId=BindB/Forord.pdf&BookId=B (Hentet: 12. februar).

Wallner-Novak, M. *et al.* (2018) *Cross-Laminated Timber Structural Design Volume II: Applications - proHolz Austria*. Østerrike: proHolz Austria. Tilgjengelig fra: https://www.proholz.at/publikationen/cross-laminated-timber-structural-design-volume-ii (Hentet: 10. Mars 2025).

Ye, X. *et al.* (2016) *Suppression Effect of Sprinkler System on Fire Spread in Large Commercial Buildings*. (Procedia Engineering). Frankrike: Elsevier. Tilgjengelig fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816001594 (Hentet: 13. Mai 2025).

Zahid, Y. og Zeito, N. (2023) *On analysis of HSQ steel beams combined with a CLT flooring system*. Masteroppgave. Royal Institute of Technology.

9 Vedlegg

VEDLEGG A – MATERIALER OG EPD	
A1	SINTEF Teknisk godkjenning for *Splitkon krysslimt tre*
A2	EPD *Standard limtrebjelke, Moelven*
A3	EPD *Stålbjelker, Tibnor*
A4	EPD *Kald- og varmformede hulprofiler, Contige AS stål*
A5	Data fra LCA-program, *One Click LCA*
VEDLEGG B - PLANTEGNINGER	
B1	Detaljer for takkonstruksjon
B2	Detaljer for ramme
B3	Kobling mellom bakbygg og frontbygg
B4	Dekke over 4. etg.
VEDLEGG C - RESULTATER FRA PROGRAM	
C1	Hardest belastet HSQ-bjelke
VEDLEGG D - MANUELLE BEREGNINGER	
D1	Lastforutsetninger
D2	Rammedimensjonering
D3	Knutepunkter og stivere
D4	Dimensjonering av skive
D5	Skrueforbindelser
D6	Branndimensjonering

Deklarasjon om KI-hjelpemidler

Har det i utarbeidingen av denne rapporten blitt anvendt KI-baserte hjelpemidler?

[X] Nei

[ ] Ja

Hvis *ja*: spesifiser type av verktøy og bruksområde under.

Tekst

[ ] **Stavekontroll**. Er deler av teksten kontrollert av:
Grammarly, Ginger, Grammarbot, LanguageTool, ProWritingAid, Sapling, Trinka.ai eller lignende verktøy?

[ ] **Tekstgenerering**. Er deler av teksten generert av:
ChatGPT, GrammarlyGO, Copy.AI, WordAi, WriteSonic, Jasper, Simplified, Rytr eller lignende verktøy?

[ ] **Skriveassistanse**. Er en eller flere av ideene eller fremgangsmåtene i oppgaven foreslått av:
ChatGPT, Google Bard, Bing chat, YouChat eller lignende verktøy?

Hvis *ja* til anvendelse av et tekstverktøy - spesifiser bruken her:

Kode og algoritmer

[ ] **Programmeringsassistanse**. Er deler av koden/algoritmene som i) fremtrer direkte i rapporten eller ii) har blitt anvendt for produksjon av resultater slik som figurer, tabeller eller tallverdier blitt generert av: *GitHub Copilot, CodeGPT, Google Codey/Studio Bot, Replit Ghostwriter, Amazon CodeWhisperer, GPT Engineer, ChatGPT, Google Bard* eller lignende verktøy?

Hvis *ja t*il anvendelse av et programmeringsverktøy - spesifiser bruken her:

Bilder og figurer

[ ] **Bildegenerering**. Er ett eller flere av bildene/figurene i rapporten blitt generert av:
Midjourney, Jasper, WriteSonic, Stability AI, Dall-E eller lignende verktøy?

Hvis *ja* til anvendelse av et bildeverktøy - spesifiser bruken her:

[ ] **Andre KI verktøy**. har andre typer av verktøy blitt anvendt? Hvis ja spesifiser bruken her:

[X] Jeg er kjent med NTNUs regelverk: *Det er ikke tillatt å generere besvarelse ved hjelp av kunstig intelligens og levere den helt eller delvis som egen besvarelse.* Jeg har derfor redegjort for all anvendelse av kunstig intelligens enten i) direkte i rapporten eller ii) i dette skjemaet.

Andi Hadri, Ari Hadri. 19.05.25, Gjøvik

Underskrift/Dato/Sted

Vedlegg
A1

SINTEF

Teknisk Godkjenning

SINTEF Certification

Nr. 20712

Utstedt første gang: 07.10.2019
Revidert:
Korrigert: 19.10.2023
Gyldig til: 01.11.2024
Forutsatt publisert på www.sintefcertification.no

SINTEF bekrefter at

Splitkon krysslimt tre

er vurdert å være egnet i bruk og tilfredsstiller krav til produktdokumentasjon i henhold til forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk (DOK) og forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK), for de egenskaper, bruksområder og betingelser for bruk som er angitt i dette dokumentet

1. Innehaver av godkjenningen

Splitkon AS
Industriveien 3
3340 Åmot
https://splitkon.no

2. Produktbeskrivelse

Splitkon krysslimt tre er treelementer sammenlimt i sjikt av krysslagte, fingerskjøtte trelameller, se fig. 1. Lamellene limes sammen med lim av mellamin urea formaldehyd (MUF). Lamellene kantlimes ikke.

Elementene produseres med lameller av gran, sortert til fasthetsklasse T15 og T22 i henhold til EN 338.

Elementene leveres i tykkelser fra 60 mm opptil 300 mm, og med minst 3 og inntil 9 lamellsjikt. Elementoppbygningen er symmetrisk om midtsnittet. Oppbygning av standard elementer er vist i tabell 1.

Maksimal elementbredde er 3,5 m og maksimal element-lengde er 16 m. Elementene leveres for øvrig med lengder og bredder, og eventuelt med hull, innsnitt e.l., etter spesifikasjon for det enkelte byggeprosjekt. Elementer kan også settes sammen til større formater med mekaniske forbindelser, noe som må prosjekteres spesifikt i hvert enkelt tilfelle.

Måltoleranser for ferdige elementer:
- Lengde ±5 mm
- Bredde: ±2 mm
- Tykkelse ±2 mm
- Kantretthet: ±2 mm
- Vinkelretthet: ±1°mm
- Diagonalmål: ±5 mm

Ved produksjon er fuktinnholdet i lamellene 8 – 18 vekt %, med maksimalt 5 vekt % variasjon mellom lamellene.
For øvrig tilpasses fuktinnholdet til bruksområdet for den enkelte leveranse.

Midlere densitet av elementene regnes som 460 kg/m^3.

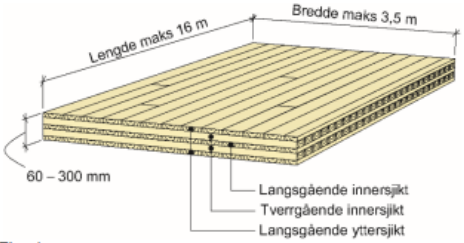


Fig. 1
Prinsipiell oppbygning av Splitkon krysslimt tre. Eksempel på fem-sjikts element.

3. Bruksområder

Elementene kan brukes som bærende konstruksjons-elementer til etasjeskillere, tak og vegger i klimaklasse 1 og 2, innendørs og under tak, i henhold til NS-EN 1995-1-1.

Elementene kan benyttes i bygninger i risikoklasse 1 - 6 i brannklasse 1 og 2. Ved bruk i brannklasse 3 må brannsikkerheten dokumenteres ved analytisk brannteknisk prosjektering. Se forøvrig pkt. 6 vedr. betingelser for bruk.

4. Egenskaper

4.1 Bæreevne

Tabell 2 viser materialfastheter, stivhetsmoduler og densitet til lamellene for bruk ved dimensjonering av Splitkon krysslimt tre. Tabell 3 - 6 i pkt. 6 viser karakteristiske konstruksjonsdata for standard elementoppbygninger.

4.2 Egenskaper ved brannpåvirkning

Elementene har brannteknisk klasse D-s2,d0 i henhold til EN 13501-1. Brukt som gulv er den brannteknisk klassen D_{FL}-s1. Klassifiseringen gjelder bruk på alle underlag og mot hulrom.

4.3 Brannmotstand

Brannmotstand bestemmes for komplette bygningsdeler i hvert enkelt byggeprosjekt som elementene benyttes i, og bestemmes ved standardisert prøving eller ved beregning i henhold til aktuelle standarder og håndbøker.

© Copyright SINTEF

Tabell 1
Standard elementoppbygninger for Splitkon krysslimt tre

Elementbetegnelse Tykkelse i mm og antall sjikt	Tykkelse i mm til hvert lamellsjikt [1]						
	L	T	L	T	L	T	L
Standardelementer							
60 (3s)	20	20	20				
80 (3s)	29	22	29				
100 (3s)	33	33	33				
120 (3s)	40	40	40				
135 (3s)	45	45	45				
100 (5s)	20	20	20	20	20		
120 (5s)	21	28,5	21	28,5	21		
140 (5s)	28	28	28	28	28		
160 (5s)	34	29	34	29	34		
180 (5s)	33	40	34	40	33		
200 (5s)	40	40	40	40	40		
220 (5s)	44	44	44	44	44		
225 (5s)	45	45	45	45	45		
240 (7s)	45	20	45	20	45	20	45
260 (7s)	33	40	40	34	40	40	33
280 (7s)	45	33	45	34	45	33	45
300 (7s)	45	40	45	40	45	40	45
Elementer med doble langsgående yttersjikt [2]							
	L	L	T	L	L/T	L	L
160 (5ss)	32	32	32	32	32		
200 (5ss)	40	40	40	40	40		
220 (7ss)	28	28	40	28	40	28	28
240 (7ss)	45	20	45	20	45	20	45
260 (7ss)	33	40	40	34	40	40	33
280 (7ss)	45	33	45	34	45	33	45
300 (7ss)	45	40	45	40	45	40	45

[1] L = lameller lagt i elementets lengderetning
T = lameller lagt på tvers av elementets lengderetning
Elementer leveres også med tverrgående lameller i yttersjikt
Ytterlameller er i kvalitet T22, innerlameller i T15.
[2] Doble langsgående ytterlameller er begge i kvalitet T22

Tabell 2
Materialfastheter, stivhetsmoduler og densitet for lameller til Splitkon krysslimt tre [1]

Egenskap		Fasthetsklasse	
		T15	T22
Karakteristiske fastheter		*N/mm²*	*N/mm²*
Bøyefasthet	$f_{m,k}$	22,0	30,5
Strekkfasthet	$f_{t,0,k}$	15,0	22,0
Trykkfasthet	$f_{c,0,k}$	21,0,0	26,0
Skjærfasthet	$f_{v,k}$	4,0	4,0
Rulleskjærfasthet	$f_{v,90,k}$	0,7	0,7

Egenskap		Fasthetsklasse	
		T15	T22
Stivheter for deformasjons-beregninger		*N/mm²*	*N/mm²*
Elastisitetsmodul strekk	$E_{0,mean}$	11500	13000
	$E_{90,mean}$	380	430
Skjærmodul	$G_{0,mean}$	720	810
	$G_{90,mean}$	72	81
Densitet		*kg/m³*	*kg/m³*
Midlere densitet	ρ_m	430	470
Karakteristisk densitet	ρ_k	360	390

[1] I henhold til EN 338, NS-EN 14080 og EN 16351

4.4 Varmeisolering

Dimensjonerende varmekonduktivitet for trevirket i elementene er λ_d = 0,12 W/(m·K) i henhold til NS-EN ISO 10456. Spesifikk varmekapasitet er 1600 J/kg·K.

4.5 Vanndampmotstand

Trevirket i elementene har en vanndampmotstandsfaktor μ = 50 ved tørre forhold og μ = 20 ved fuktige forhold i henhold til NS-EN ISO 10456.

4.6 Fuktbevegelser

Følgende endringer av elementenes dimensjoner pr. % endring i trevirkets fuktinnhold bør forventes:

- Lengderetning 0,01 %
- Bredderetning 0,03 %
- Tykkelsesendring 0,20 %

5. Miljømessige forhold

5.1 Helse– og miljøfarlige kjemikalier

Splitkon Krysslimt tre inneholder ingen prioriterte miljøgifter, eller andre relevante stoffer i en mengde som vurderes som helse- og miljøfarlige. Prioriterte miljøgifter omfatter CMR, PBT og vPvB stoffer.

5.2 Inneklimapåvirkning

Elementene er vurdert i henhold til SINTEF Teknisk Godkjenning – krav til helse- og miljøegenskaper versjon 09.05.2022. Produktet er bedømt å ikke avgi partikler, gasser eller stråling som gir negativ påvirkning på inneklimaet, eller som har helsemessig betydning. Produktet tilfredsstiller krav i BREEAM-NOR v6.0, Emisjoner fra byggeprodukter i henhold til Hea 02 Inneluftskvalitet.

5.3 Avfallshåndtering / Gjenbruksmuligheter

Elementene sorteres som trematerialer ved avhending, og leveres til godkjent avfallsmottak der de kan energi-gjenvinnes.

5.5 Miljødeklarasjon

Det er ikke utarbeidet miljødeklarasjon (EPD) for Splitkon krysslimt tre.

6. Betingelser for bruk

6.1 Beregning av bæreevne

Beregning av elementenes bæreevne, inkludert oppleggs-kapasitet og effekt av hulltaking, innsnitt etc., skal gjøres for hver enkelt leveranse. Den statiske dimensjoneringen skal være tilpasset det enkelte byggeprosjekt, og være basert på NS-EN 1995-1-1 og relevante laster i henhold til NS-EN 1991 med nasjonale tillegg NA. Karakteristiske fastheter og stivheter som angitt i tabell 2 skal legges til grunn.

Dersom det ikke gjøres andre spesifikke beregninger kan det for dimensjonering av standard elementoppbygninger som vist i tabell 1 og 2 anvendes karakteristiske fastheter og stivhetsmoduler for den enkelte elementoppbygning som angitt i tabell 3 – 5.

Alternativt kan det også anvendes karakteristiske kapasiteter for standard elementoppbygninger som vist i tabell 6.

6.2 Spennvidder for etasjeskillere

I tabell 7 vises det anbefalte spennvidder for Splitkon krysslimt tre elementer med standard elementbredde, brukt som dekkeelementer i bolighus og lignende bygg der det er viktig å unngå sjenerende svingninger og rystelser som følge av normal gangtrafikk. Spennviddene er basert på SINTEFs anbefalte komfortkriterium for dynamisk og statisk stivhet.

For bygninger med mange gående personer, rytmiske aktiviteter eller sensitivt utstyr bør krav til stivhet utredes spesifikt.

Anbefalte spennvidder for bolighus ol. i tabell 7 gjelder for elementer uten hensyn til eventuell avstivende effekt av overgolv eller himling. Dersom det monteres ikke bærende vegger på tvers av elementene, tilnærmet midt i spennet på over- eller undersiden av elementene, kan det benyttes spennvidder basert på dimensjonering med jevnt fordelt nyttelast alene (dvs. uten kontroll av komfortkriterium). Dette forutsetter at veggene festes til elementene.

6.3 Sikkerhet ved brann

For hvert enkelt prosjekt må nødvendig brannmotstand i henhold til TEK være bestemt for bygningsdeler som skal ha bærende og/eller branncellebegrensende egenskap ved brann, og dimensjonerende lastkapasitet ved ulykkesgrensetilstand brann må kontrolleres. Valg av oppbygning gjøres blant annet ut fra behovet for brannmotstand.

6.4 Lydisolering og akustikk

Ved bruk i konstruksjoner med krav til lydisolasjon og/eller akustisk regulering skal de lydtekniske egenskapene til den ferdige konstruksjonen være forhåndsprosjektert, og eventuelle supplerende golvkonstruksjoner og kledninger være bestemt. Dette inkluderer også oppleggsdetaljer.

I etasjeskillere med krav til lydisolasjon må elementene kompletteres med et oppbygd golv og / eller en nedsenket himling for å kunne tilfredsstille lydisolasjon klasse C eller bedre i henhold til NS 8175 med hensyn til luft- og trinnlydisolasjon. Også elementer som skal benyttes til lydskillevegger må i praksis kompletteres med en tilleggskonstruksjon i form av utlektet veggkledning på én eller to sider, eller bruk av to uavhengige veggskall.

6.5 Fuktteknisk hensyn

Det må tas hensyn til hvilke klimavariasjoner med tilhørende fuktbevegelser som elementene kan bli utsatt for, se pkt. 4.6. Spesielt gjelder dette for store flater sammensatt av mange elementer.

Ved bruk i varmeisolerte konstruksjoner må eventuell bruk av dampsperre som supplement til elementenes dampmotstand vurderes spesielt, se pkt. 4.5.

6.6 Montasje

Elementene skal monteres i henhold til en montasjeplan med tilhørende konstruksjonsdetaljer som er utarbeidet spesifikt for hvert enkelt byggeprosjekt. Krav til understøttelser og nødvendige toleranser på tilstøtende konstruksjoner skal være klarlagt.

6.7 Transport og lagring

Under transport og lagring skal elementene være plassert på et tilstrekkelig plant og stivt underlag som hindrer permanente deformasjoner, og være beskyttet mot nedbør og kontakt med fritt vann.

6.8 Bestandighet

Trevirket i standard elementer er ubehandlet, og har i praksis samme bestandighet som vanlig konstruksjonsvirke ved anvendelse som angitt i pkt. 3.

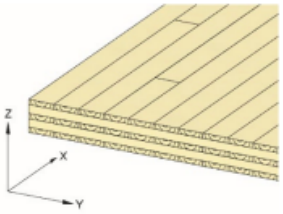


Fig. 2
Akseretninger angitt i tabell 3 – 6

Tabell 3
Beregnede karakteriske fastheter i N/mm² til standard elementoppbygninger av Splitkon krysslimt tre (5%-fraktilen) [1)]

Element-betegnelse	Bøyefasthet $f_{m,k}$				Strekkfasthet $f_{t,k}$			Trykkfasthet $f_{c,k}$			Skjærfasthet $f_{v,k}$		
Tykkelse i mm og antall sjikt	Y (sterk)	X (svak)	Z_1 skive-virkn. (sterk)	Z_2 skive-virkn. (svak)	X (sterk)	Y (svak)	Z (tverr-strekk)	X (sterk)	Y (svak)	Z vinkel-rett fiber-retn.	XZ (sterk)	YZ (svak)	XY skive-virkn.
Standardelementer													
60 (3s)	29,4	0,7	20,3	7,3	14,7	5,0	0,4	17,3	7,0	3,0	1,1	4,0	1,3
80 (3s)	29,9	0,4	22,1	6,1	16,0	4,1	0,4	18,9	5,8	3,0	0,7	4,0	1,1
100 (3s)	29,4	0,7	20,3	7,3	14,7	5,0	0,4	17,3	7,0	3,0	0,7	4,0	1,3
120 (3s)	29,4	0,7	20,3	7,3	14,7	5,0	0,4	17,3	7,0	3,0	0,7	4,0	1,3
135 (3s)	29,4	0,7	20,3	7,3	14,7	5,0	0,4	17,3	7,0	3,0	0,7	4,0	1,3
100 (5s)	24,1	4,0	18,3	8,8	11,8	6,0	0,4	14,6	8,4	3,0	1,1	1,1	1,6
120 (5s)	22,4	5,2	16,1	10,4	10,4	7,1	0,4	12,9	9,9	3,0	0,7	0,7	1,9
140 (5s)	24,1	4,0	18,3	8,8	11,8	6,0	0,4	14,6	8,4	3,0	0,7	0,7	1,6
160 (5s)	25,0	3,5	19,4	8,0	12,5	5,4	0,4	15,5	7,6	3,0	0,7	0,7	1,5
180 (5s)	22,9	4,8	16,9	9,8	10,9	6,7	0,4	13,5	9,3	3,0	0,7	0,7	1,8
200 (5s)	24,1	4,0	18,3	8,8	11,8	6,0	0,4	14,6	8,4	3,0	0,7	0,7	1,6
220 (5s)	24,1	4,0	18,3	8,8	11,8	6,0	0,4	14,6	8,4	3,0	0,7	0,7	1,6
225 (5s)	24,1	4,0	18,3	8,8	11,8	6,0	0,4	14,6	8,4	3,0	0,7	0,7	1,6
240 (7s)	25,6	2,9	22,9	5,5	13,9	3,8	0,4	17,6	5,3	3,0	0,7	0,7	1,0
260 (7s)	20,0	6,5	17,1	9,6	10,2	6,6	0,4	13,1	9,2	3,0	0,7	0,7	1,8
280 (7s)	23,3	4,4	19,6	7,9	11,9	5,4	0,4	15,1	7,5	3,0	0,7	0,7	1,4
300 (7s)	22,2	5,1	18,3	8,8	11,1	6,0	0,4	14,1	8,4	3,0	0,7	0,7	1,6
Elementer med doble langsgående yttersjikt													
160 (5ss)	30,3	0,2	24,4	4,4	17,6	3,0	0,4	20,8	4,2	3,0	0,7	0,7	0,8
200 (5ss)	30,3	0,2	24,4	4,4	17,6	3,0	0,4	20,8	4,2	3,0	0,7	0,7	0,8
220 (7ss)	28,6	1,2	21,3	6,7	14,7	4,5	0,4	17,7	6,4	3,0	0,7	0,7	1,2
240 (7ss)	27,6	1,9	19,1	8,3	13,2	5,6	0,4	15,8	7,9	3,0	0,7	0,7	1,5
260 (7ss)	28,0	1,6	21,1	6,8	14,3	4,6	0,4	17,3	6,5	3,0	0,7	0,7	1,2
280 (7ss)	27,9	1,7	20,7	7,1	14,1	4,8	0,4	17,0	6,8	3,0	0,7	0,7	1,3
300 (7ss)	28,1	1,5	21,4	6,6	14,5	4,5	0,4	17,5	6,3	3,0	0,7	0,7	1,2

[1)] Akseretninger Z, X og Y er angitt i fig. 2.
- Sterk betegner belastning i elementets lengderetning
- Svak betegner belastning i elementets tverretning

Tabell 4
Beregnede karakteriske stivhetsverdier i N/mm² til standard elementoppbygninger av Splitkon krysslimt tre for **deformasjonsberegninger** (50%-fraktilen) [1)]

Element-betegnelse	E-modul ved bøyning $E_{m,50}$		E-modul ved aksielt strekk og trykk $E_{t,50}$ / $E_{c,50}$			Skjærmodul ved bøyning G_{50}		
Tykkelse i mm og antall sjikt	Y (sterk)	X (svak)	X (sterk)	Y (svak)	Z vinkelrett fiberretn.	XZ bøyning (sterk)	YZ bøyning (svak)	XY bøyning skivevirk.
Standardelementer								
60 (3s)	12519	426	8667	3833	413	105	200	640
80 (3s)	12730	239	9425	3163	416	118	165	578
100 (3s)	12519	426	8667	3833	413	105	200	548
120 (3s)	12519	426	8667	3833	413	105	200	504
135 (3s)	12519	426	8667	3833	413	105	200	475
100 (5s)	10284	2392	7500	4600	400	112	62	628
120 (5s)	9541	3052	6618	5412	398	102	76	573
140 (5s)	10284	2392	7500	4600	400	112	62	577
160 (5s)	10639	2076	7969	4169	401	120	56	543
180 (5s)	9775	2844	6939	5111	398	106	70	506
200 (5s)	10284	2392	7500	4600	400	112	62	508
220 (5s)	10284	2392	7500	4600	400	112	62	488
225 (5s)	10284	2392	7500	4600	400	112	62	483
240 (7s)	10927	1707	9188	2875	399	164	55	475
260 (7s)	8543	3834	6838	5042	393	118	80	493
280 (7s)	9916	2615	7875	4107	396	129	69	472
300 (7s)	9450	3036	7350	4600	395	120	75	471
Elementer med doble langsgående yttersjikt								
160 (5ss)	12896	92	10400	2300	420	147	120	579
200 (5ss)	12896	92	10400	2300	420	147	120	532
220 (7ss)	12211	697	8927	3482	410	119	52	553
240 (7ss)	11755	1101	8000	4313	407	104	71	484
260 (7ss)	11930	944	8804	3538	408	121	49	511
280 (7ss)	11891	978	8639	3696	408	117	52	485
300 (7ss)	11969	908	8900	3450	408	123	47	486

[1)] Akseretninger Z, X og Y er angitt i fig. 2.
- Sterk betegner belastning i elementets lengderetning
- Svak betegner belastning i elementets tverretning

Tabell 5
Beregnede karakteriske stivhetsverdier i N/mm² til standard elementoppbygninger av Splitkon krysslimt tre for **styrkeberegninger** (5%-fraktilen) [1) 2)]

Elementbetegnelse	E-modul ved bøyning $E_{m,5}$		E-modul ved aksielt strekk og trykk $E_{t,5}$ / $E_{c,5}$	
Tykkelse i mm og antall sjikt	Y (sterk)	X (svak)	X (sterk)	Y (svak)
Standardelementer				
60 (3s)	8378	285	5800	2567
80 (3s)	8519	160	6308	2118
100 (3s)	8378	285	5800	2567
120 (3s)	8378	285	5800	2567
135 (3s)	8378	285	5800	2567
100 (5s)	6882	1602	5020	3080
120 (5s)	6385	2044	4429	3624
140 (5s)	6882	1602	5020	3080
160 (5s)	7120	1390	5334	2791
180 (5s)	6542	1904	4644	3422
200 (5s)	6882	1602	5020	3080
220 (5s)	6882	1602	5020	3080
225 (5s)	6882	1602	5020	3080
240 (7s)	7313	1143	6150	1925
260 (7s)	5718	2567	4578	3376
280 (7s)	6637	1751	5271	2750
300 (7s)	6324	2033	4920	3080
Elementer med doble langsgående yttersjikt				
160 (5ss)	8630	62	6960	1540
200 (5ss)	8630	62	6960	1540
220 (7ss)	8172	467	5974	2331
240 (7ss)	7867	737	5354	2888
260 (7ss)	7984	632	5892	2369
280 (7ss)	7958	655	5782	2475
300 (7ss)	8010	608	5957	2310

1) Akseretninger Z, X og Y er angitt i fig. 2.
- Sterk betegner belastning i elementets lengderetning
- Svak betegner belastning i elementets tverretning

2) Tabellen er basert på Timoshenkos bjelketeori

Tabell 6
Beregnede karakteriske kapasiteter til standard elementoppbygninger av Splitkon krysslimt tre.
Elementbredde 1 m [1)]

Element-betegnelse Tykkelse i mm og antall sjikt	Bøyemomentkapasitet i kNm/m Last vinkelrett på plateplanet M_k		Skjærkraftkapasitet i kN/m Last vinkelrett på plateplanet V_k		Trykkapasitet i kN/m i plateplanet $F_{c,d}$		Strekkapasitet i kN/m i plateplanet $F_{t,d}$	
	Y (sterk)	X (svak)	XZ (sterk)	YZ (svak)	X (sterk)	Y (svak)	X (sterk)	Y (svak)
Standardelementer								
60 (3s)	17,6	0,7	47,7	1,8	1040	520	880	440
80 (3s)	31,9	0,4	62,1	0,7	1508	462	1276	330
100 (3s)	48,0	1,8	50,1	1,9	1716	858	1452	726
120 (3s)	70,5	2,7	60,7	2,3	2080	1040	1760	880
135 (3s)	89,2	3,4	68,3	2,6	2340	1170	1980	990
100 (5s)	40,2	6,7	90,6	20,0	1460	840	1180	600
120 (5s)	52,9	12,2	70,2	33,5	1638	1176	1386	840
140 (5s)	78,9	20,7	80,9	20,0	2184	1456	1848	1232
160 (5s)	106,6	15,0	91,4	16,7	2652	1218	2244	870
180 (5s)	123,8	26,0	105,5	29,1	2430	1680	1962	1200
200 (5s)	161,0	42,3	115,5	28,5	3120	2080	2640	1760
220 (5s)	194,9	51,2	127,1	31,4	3432	2288	2904	1936
225 (5s)	203,8	53,5	129,9	32,1	3510	2340	2970	1980
240 (7s)	249,3	27,7	184,5	18,1	4680	1260	3960	900
260 (7s)	225,8	73,1	133,3	59,8	3396	2394	2652	1710
280 (7s)	305,9	57,8	140,5	36,8	4455	2100	3645	1500
300 (7s)	336,7	77,1	151,5	48,1	4680	2520	3960	1800
Elementer med doble langsgående yttersjikt								
160 (5ss)	129,1	0,7	77,2	0,6	3328	672	2816	480
200 (5ss)	201,7	1,0	96,4	0,7	4160	840	3520	600
220 (7ss)	226,9	9,3	113,2	6,5	3852	1386	3204	990
240 (7ss)	264,8	17,9	128,2	15,6	3800	1890	3160	1350
260 (7ss)	315,3	18,0	137,8	10,7	4510	1680	3722	1200
280 (7ss)	364,6	21,6	148,7	12,0	4770	1890	3942	1350
300 (7ss)	421,2	23,1	158,7	11,8	5260	1890	4340	1350

[1)] Akseretninger Z, X og Y er angitt i fig. 2.
- Sterk betegner belastning i elementets lengderetning.
- Svak betegner belastning i elementets tverretning

Tabell 7
Anbefalte maksimale spennvidder for Splitkon Krysslimt tre i bolighus o.l. [1)]

Elementbetegnelse Tykkelse i mm og antall sjikt	Spennvidde i meter
Standardelementer	
60 (3s)	2,19
80 (3s)	2,83
100 (3s)	3,40
120 (3s)	3,96
135 (3s)	4,37
100 (5s)	3,20
120 (5s)	3,65
140 (5s)	4,25
160 (5s)	4,79
180 (5s)	5,14
200 (5s)	5,68
220 (5s)	6,00
225 (5s)	6,07
240 (7s)	6,42
260 (7s)	6,29
280 (7s)	6,82
300 (7s)	7,02
Elementer med doble langsgående yttersjikt	
160 (5ss)	5,07
200 (5ss)	6,00
220 (7ss)	6,22
240 (7ss)	6,51
260 (7ss)	6,84
280 (7ss)	7,13
300 (7ss)	7,42

[1)] Tabellen gjelder for elementer montert fritt opplagt over ett spenn og klimaklasse 1 i henhold til NS–EN 1995-1-1, og for en jevnt fordelt nyttelast på 2,0 kN/m^2 pluss 0,5 kN/m^2 egenlast i tillegg til egenvekt av massivtreelementer

7. Produkt- og produksjonskontroll

Splitkon Krysslimt tre produseres av Splitkon AS, Industriveien 3, 3340 Åmot, Norge.

Innehaver av godkjenningen er ansvarlig for produksjonskontrollen for å sikre at elementene blir produsert i henhold til de forutsetninger som er lagt til grunn for godkjenningen.

Fabrikkfremstillingen av elementene er underlagt overvåkende produkt- og produksjonskontroll i henhold til kontrakt om SINTEF Teknisk Godkjenning.

8. Grunnlag for godkjenningen

Produktet er vurdert på grunnlag av rapporter som er innehavers eiendom.

9. Merking

Hvert element skal være merket med relevant nummerering, kode eller lignende som angir spesifikk plassering i det enkelte byggeprosjekt. Produsentnavn og produksjonstidspunkt skal også fremgå av merkingen. Det kan også merkes med godkjenningsmerket for Teknisk Godkjenning; TG 20712.

Godkjenningsmerke

10. Ansvar

Innehaver/produsent har det selvstendige produktansvar i henhold til gjeldende rett. Krav kan ikke fremmes overfor SINTEF utover det som er nevnt i NS 8402.

for SINTEF

Hans Boye Skogstad
Godkjenningsleder

Vedlegg

A2

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

epd-norge.no
The Norwegian EPD Foundation

Eier av deklarasjonen:	Moelven Limtre AS
Program operatør:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjon nummer:	NEPD-336-222-NO
Godkjent dato:	01.07.2015
Gyldig til:	01.07.2020

Standard limtrebjelke

Moelven Limtre AS

www.epd-norge.no

Generell informasjon

Produkt:
Standard limtrebjelke

Eier av deklarasjonen:
Moelven Limtre AS
Kontakt person: Kato Sveen
Tlf: +47 908 59 468
e-post: kato.sveen@moelven.no

Program operatør:
Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Postboks 5250 Majorstuen, 0303 Oslo
Tlf: +47 23 08 82 92
e-post: post@epd-norge.no

Produsenter:

Moelven Limtre AS, Moelv Lundemovegen 1 2391 Moelv Norge	Moelven Limtre AS, Avd. Agder Stasjonsveien 4 4730 Vatnestrøm Norge

Deklarasjon nummer:
NEPD-336-222-NO

Produksjonssted:
Moelv, Norge
Vatnestrøm, Norge

ECO Platform registreringsnummer:

Kvalitet/Miljøsystem:
ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, PEFC ST 2002:2013

Deklarasjonen er basert på PCR:
CEN Standard EN 15804 tjener som kjerne PCR
NPCR015 Wood and wood-based products for use in construction (08/2013)

Org. no.:
913 711 300

Erklæringen om ansvar:
Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

Godkjent dato:
01.07.2015

Gyldig til:
01.07.2020

Deklarert enhet:
Produksjon av 1 m^3 standard limtrebjelke av gran eller furu

Årstall for studien:
2014-2015

Deklarert enhet med opsjon:

Sammenlignbarhet:
EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

Funksjonell enhet:
1 m^3 standard limtrebjelke av gran eller furu fra vugge-til-grav med en referanselevetid på 60 år.

Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:
Lars G. F. Tellnes
Norsk Treteknisk Institutt

Verifikasjon:
Uavhengig verifikasjon av deklarasjonen og data, i henhold til ISO 14025:2010

internt	eksternt
☐	☑

Tredjeparts verifikator:
Helene Sedal
Helene Sedal, seniorrådgiver
(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

Godkjent

Dagfinn Malnes
Daglig leder av EPD-Norge

Produkt

Produktbeskrivelse:
Limtre er oppbygd av trelameller som er sammenbundet med lim. Fiberretningen i lamellene går parallelt med bjelkens lengderetning. Bruksområde er takbjelker, kantbjelker, bjelkelag, sperrer, hallkonstruksjoner, bruer.

Tekniske data:
GL30c styrkeklassen. Produsert etter EN 14080:2013.
Limtre har en densitet på 470 kg/m^3 og en fuktighet på 12%.

Produktspesifikasjon:
Lameltykkelsen er 45mm for standard dimensjoner. Bjelkens høyde er multipel av dette, f.eks. 225, 270, 315 osv. Spesialprodukter og buer med små radier kan/må produseres med andre lamelltykkelser.

Markedsområde:
Norge og Sverige

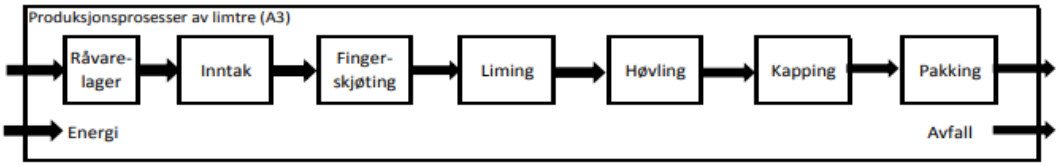
Levetid:
Referanselevetid er den samme som for byggverket, som regel settes denne til 60 år.

Materialer	kg	%
Høvellast av gran eller furu	461,22	98,13
Lim	8,78	1,87
Totalt for produktet	470	100,00
Plastemballasje	1	
Totalt med emballasje	471	

LCA: Beregningsregler

Deklarert enhet:
Produksjon av 1 m3 standard limtrebjelke av gran eller furu

Systemgrenser:
Flytskjema for produksjonen (A3) av limtre er vist under, mens resten av modulene er vist på side 5. Modul D er beregnet med energisubstitusjon og er nærmere forklart under scenarioene.



Datakvalitet:
Data for produksjonen av limtre ble hentet inn i 2014 og representerer et snitt for 2013. Data for skurlast et hentet fra norsk EPD med data representativt for 2013. Data for produksjon av lim er hentet fra de spesifikke leverandørene. Andre data er hentet fra Ecoinvent v3.1 som ble lansert i 2014. Data for fjernvarme er hentet fra Statistisk sentralbyrå og er representative for et gjennomsnitt i 2013.

Cut-off kriterier:
Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (<1%) er ikke inkludert. Disse cut-off kriteriene gjelder ikke for farlige materialer og stoffer.

Allokering:
Allokering er gjort i henhold til bestemmelser i EN 15804. Inngående energi, vann, avfall og interntransport er allokert etter volum mellom alle produktene. Påvirkning for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til hovedproduktet der materialet ble brukt. I verdikjeden av trevirke er det brukt økonomisk allokering.

Beregning av biogent karboninnhold:
Opptak og utslipp av karbondioksid fra biologisk opphav er beregnet basert på NS-EN 16485:2014. Denne metoden er basert på modularitetsprinsippet i EN 15804:2012, og hvor utslipp skal telles med i den livsløpsmodulen hvor det faktisk skjer. Mengden karbondioksid er beregnet i henhold til NS-EN 16449:2014. Med en gjennomsnittlig densitet på 461 kg/m^3 for limtre, så vil karboninnholdet omregnet til karbondioksid gi 755 kg CO_2 per m^3 trevirke.

Estimater og antakelser:
Nøkkelestimater og antakelser er enten presentert i EPD eller finnes i NPCR015 (08/2013).

LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjon beskriver scenariene for modulene i EPDen.

Det er forutsatt en transport til byggeplass på 200 km, hvor 100 km skjer på stor lastebil og 100 km på en middels stor lastebil.

Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl. retur (%)	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/ Energiforbruk	Verdi (l/t)
Bil	53	EURO4, >32 tonn	100	0,02 l/tkm	2
Bil	26	EURO4, 16-32 tonn	100	0,045 l/tkm	4,5

I byggefasen er det antatt et behov for 1 MJ elektrisitet og at det blir 5 % svinn av produktet.

Produktet har emisjoner til innemiljø deklarert under inneklima, men ingen LCA-relatert miljøpåvirkning i bruk.

Byggefase (A5)

	Enhet	Verdi
Hjelpematerialer	kg	
Vannforbruk	m^3	
Elektrisitetsforbruk	MJ	1
Andre energikilder	MJ	
Materialtap	kg	23,5
Materialer fra avfallsbehandling	kg	
Støv i luften	kg	

Montert produkter i bruk (B1)

	Enhet	Verdi
Ingen LCA-relatert miljøpåvirkning i bruk		

Produktet krever normalt ingen vedlikehold eller reparasjon.

Produktet krever normalt ingen utskiftning i byggets levetid.

Vedlikehold (B2)/Reparasjon (B3)

	Enhet	Verdi
Vedlikeholdsfrekvens	År	
Hjelpematerialer	kg	
Andre ressurser	kg	
Vannforbruk	m^3	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Materialtap	kg	

Utskifting (B4)/Renovering (B5)

	Enhet	Verdi
Utskiftingsfrekvens	År	60
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Utskifting av slitte deler	0	

Produktet har ingen drifts energi og vannbruk

Limtre skal sorteres som blandet treavfall på byggeplass og behandles med energigjenvinning.

Drifts energi (B6) og vannbruk (B7)

	Enhet	Verdi
Vannforbruk	m^3	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Utstyrets varmeeffekt	kW	

Sluttfase (C1, C3, C4)

	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	
Blandet avfall	kg	
Gjenbruk	kg	
Resirkulering	kg	
Energigjenvinning	kg	470
Til deponi	kg	

Transporten av treavfall er basert på gjennomsnittsavstand for 2007 i Norge og utgjør 85 km (Raadal et al. (2009). Det er videre estimert at 36% av dette blir videre transportert til Sverige for behandling der. Det er estimert at 67% går på bil, 9% går på tog og 24% blir transportert på båt, mens transportavstandene er anslått.

Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl. retur (%)	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/ Energiforbruk	Verdi (l/t)
Bil		Uspesifisert	85	0,045 l/tkm	3,8
Bil	53	EURO4, >32t	200	0,019 l/tkm	3,8
Tog		Frakttog	400	- l/tkm	-
Båt		Pram	800	0,011 l/tkm	8,8

Gevinsten av eksportert energi fra energigjenvinning er beregnet med erstatning av norsk el-miks, norsk fjernvarmemiks, ulike former for industrielt brensel og eksport til Sverige. Data for el-miks er samme som brukt i A1-A3, fjernvarmemiks er basert på produksjonen i 2013, industrielt brensel er fra spesifikke produksjonssteder, mens generiske data fra ELCD er brukt for andelen som er eksportert til Sverige.

Gevinst og belastninger etter endt levetid (D)

	Enhet	Verdi
Erstatning av elektrisk energi	MJ	626
Erstatning av termisk energi	MJ	4643

LCA: Resultater

Resultatene for global oppvarming i A1-A3 gir store utslag for opptaket av karbondioksid gjennom fotosyntesen under trevirkets vekst. Den samme mengden karbondioksid slippes ut ved avfallsforbrenning i C3.

Systemgrenser (X = inkludert, MID = modul ikke deklarert, MIR = modul ikke relevant)

Produktfase			Konstruksjon installasjon fase		Bruksfase							Sluttfase				Etter endt levetid
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjon installasjon fase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk-gjenvinning-resirkulering-potensiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Miljøpåvirkning

Parameter	Unit	A1-A3	A4	A5	C1	C2	C3	B1-B7, C4	D
GWP	kg CO_2-ekv	-6,63E+02	1,19E+01	7,11E+00	7,02E-03	9,31E+00	7,84E+02	0	-3,38E+02
ODP	kg CFC11-ekv	1,19E-05	2,20E-06	8,16E-07	6,09E-10	1,64E-06	5,89E-07	0	-5,14E-05
POCP	kg C_2H_4-ekv	5,34E-02	2,05E-03	3,09E-03	1,87E-06	1,74E-03	4,69E-03	0	-8,63E-02
AP	kg SO_2-ekv	7,43E-01	4,84E-02	4,82E-02	3,93E-05	5,01E-02	1,22E-01	0	-1,63E+00
EP	kg PO_4^{3-}-ekv	1,66E-01	8,13E-03	1,08E-02	8,77E-06	9,33E-03	3,20E-02	0	-1,15E-01
ADPM	kg Sb-ekv	2,72E-04	3,45E-05	1,72E-05	1,73E-07	2,36E-05	1,10E-05	0	-7,84E-05
ADPE	MJ	1,42E+03	1,82E+02	9,06E+01	6,29E-02	1,39E+02	7,46E+01	0	-2,43E+03

GWP Globalt oppvarmingspotensial; ODP Potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon; POCP Potensial for fotokjemisk oksidantdanning; AP Forsurningspotensial for kilder på land og vann; EP Overgjødslingspotensial; ADPM Abiotisk uttømmingspotensial for ikke-fossile ressurser; ADPE Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser

Ressursbruk

Parameter	Unit	A1-A3	A4	A5	C1	C2	C3	B1-B7, C4	D
RPEE	MJ	3,22E+03	2,37E+00	5,58E+02	1,13E+00	2,27E+00	7,91E+03	0	-1,58E+03
RPEM	MJ	7,91E+03	INA	-1,22E-14	INA	INA	-7,91E+03	0	INA
TPE	MJ	1,11E+04	2,37E+00	5,58E+02	1,13E+00	2,27E+00	1,80E+00	0	-1,58E+03
NRPE	MJ	1,35E+03	1,83E+02	9,52E+01	8,99E-02	1,40E+02	2,26E+02	0	-4,41E+03
NRPM	MJ	1,56E+02	INA	-1,01E-16	INA	INA	-1,56E+02	0	INA
TRPE	MJ	1,51E+03	1,83E+02	9,52E+01	8,99E-02	1,40E+02	7,05E+01	0	-4,41E+03
SM	kg	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0	INA
RSF	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0	INA
NRSF	MJ	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0	INA
W	m^3	2,03E+02	-3,16E-03	1,02E+01	8,51E-03	-1,51E-02	2,50E-01	0	-4,60E+00

RPEE Fornybar primærenergi brukt som energibærer; RPEM Fornybar primærenergi brukt som råmateriale; TPE Total bruk av fornybar primærenergi; NRPE Ikke fornybar primærenergi brukt som energibærer; NRPM Ikke fornybar primærenergi brukt som råmateriale; TRPE Total bruk av ikke fornybar primærenergi; SM Bruk av sekundære materialer; RSF Bruk av fornybart sekundære brensel; NRSF Bruk av ikke fornybart sekundære brensel; W Netto bruk av ferskvann

Livsløpets slutt - Avfall									
Parameter	**Unit**	**A1-A3**	**A4**	**A5**	**C1**	**C2**	**C3**	**B1-B7, C4**	**D**
HW	kg	1,36E+00	4,95E-02	1,82E-01	1,83E-04	4,55E-02	2,19E+00	0	-6,21E-01
NHW	kg	3,33E+01	1,13E+01	2,90E+00	6,41E-03	7,89E+00	5,29E+00	0	-5,34E+00
RW	kg	4,01E-03	1,25E-03	3,19E-04	7,20E-07	9,39E-04	1,74E-04	0	-1,40E-02

HW Avhendet farlig avfall; NHW Avhendet ikke-farlig avfall; RW Avhendet radioaktivt avfall

Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer									
Parameter	**Unit**	**A1-A3**	**A4**	**A5**	**C1**	**C2**	**C3**	**B1-B7, C4**	**D**
CR	kg	INA	INA	INA	INA	INA	INA	0	INA
MR	kg	1,74E+00	INA	1,09E+00	INA	INA	INA	0	INA
MER	kg	8,00E-02	INA	4,00E-03	INA	INA	INA	0	INA
EEE	MJ	INA	INA	2,84E+01	INA	INA	5,68E+02	0	-6,26E+02
ETE	MJ	INA	INA	2,11E+02	INA	INA	4,21E+03	0	-4,64E+03

INA = Indikator er ikke vurdert

CR-komponenter for gjenbruk, MR Materialer for resirkulering, MER Materialer for energigjenvinning, EEE Eksportert elektrisk energi; ETE Eksportert termisk energi

Lese eksempel: 9,0 E-03 = $9{,}0*10^{-3}$ = 0,009

Norske tilleggskrav

Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen
Nasjonal produksjonsmiks fra import, medium spenning (produksjon av overføringslinjer, i tillegg til direkte emissions tap i nettet) av anvendt elektrisitet for produksjonprosessen (A3).

Data kilde	Mengde	Enhet
Econinvent v3.1 (june 2014)	22,8	gram CO_2-ekv/kWh

Farlige stoffer

- ☐ Produktet inneholder ingen stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten
- ☑ Produktet inneholde stoffer som er under 0,1 vekt% på REACH Kandidatliste
- ☐ Produktet inneholde stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten, se tabell under Spesifikke norske krav.
- ☐ Produktet inneholder ingen stoffer på REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten. Produktet kan karakteriseres som farlig avfall (etter Avfallsforskiften, Vedlegg III), se tabell under Spesifikke norske krav.

Transport
Transport fra produksjonssted til byggeplass i Norge i henhold til scenario i A4: 200 km

Inneklima
Limtrebjelk av gran har blitt testet for emisjoner av totalt flykte oragniske forbindelser (TVOC), formaldehyd og ammoniakk. Resultatene etter 28 dager viser en emisjonshastighet på 0.04 mg/m^{2}h for TVOC, <0.033 mg/m^{2}h for formaldehyd og <0.005 mg/m^{2}h. I følge den finske innklimaklassifiseringen av byggematerialer fra Rakennustieto, så vil dette ligge i klassen M1. Resultatene har også blitt vurdert til å oppfylle kravene til E1 i NS-EN 717-1:2004 med en beregnet formaldehydemisjon på <0.009 mg/m^3. Dokumentasjon av testresultater kan fås på forespørsel til Moelven limtre AS.

Klimadeklarasjon
Det er ikke utarbeidet klimadeklarasjon for produktet.

Bibliografi

NS-EN ISO 14025:2010	*Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.*
NS-EN ISO 14044:2006	*Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer*
NS-EN 15804:2012+A1:2013	*Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer*
ISO 21930:2007	*Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products*
Tellnes, L. G. F. (2015)	*LCA-report for Moelven Limtre AS. Report nr. 310484-1 from Norwegian Institute of Wood Technology, Oslo, Norway*
NPCR015 rev1	*Product category rules for wood and wood-based products for use in construction*
Ecoinvent v3.1	*Swiss Centre of Life Cycle Inventories. www.ecoinvent.ch*
ELCD 3.0	*European reference Life-Cycle Database. Http://eplca.jrc.ec.europa.eu/*
Statistisk sentralbyrå	*Tabell 04727: Fjernvarmebalansen*
Statistisk sentralbyrå	*Tabell 09469: Nettoproduksjon av fjernvarme*
NS-EN 16449:2014	*Tre og trebaserte produkter - Beregning av biogent karboninnhold i tre og omdanning til karbondioksid*
NS-EN 16485:2014	*Tømmer og skurlast - Miljødeklarasjoner - Produktkategoriregler for tre og trebaserte produkter til bruk i byggverk*
NS-EN 14080:2013	*Trekonstruksjoner - Limtre og limt laminert heltre - Krav*
Raadal et al. (2009).	*Raadal, H. L., Modahl, I. S. & Lyng, K-A. (2009). Klimaregnskap for avfallshåndtering, Fase I og II. Oppdragsrapport nr 18.09 fra Østfoldforskning, Norge*
Rakennustieto	*Emission Classification of Building Materials. The Building Information Foundation RTS (Rakennustieto). Helsinki, Finland.*
NS-EN 717-1:2004	*Trebaserte platematerialer - Bestemmelse av formaldehydutslipp - Del 1: Formaldehydutslipp ved kammermetode*

epd-norge.no The Norwegian EPD Foundation	**Program operatør og utgiver** Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Postboks 5250 Majorstuen, 0303 Oslo Norge	Tlf: e-post: web	+47 23 08 82 92 post@epd-norge.no www.epd-norge.no
MOELVEN	**Eier av deklarasjonen** Moelven Limtre AS Postboks 143, 2391 Moelv Norge	Tlf: Fax e-post: web	+47 62 33 40 00 +47 62 33 40 01 post.limtre@moelven.no www.moelven.no
Treteknisk	**Forfatter av Livssyklusrapporten** Lars G. F. Tellnes Norsk Treteknisk Institutt Postboks 113 Blindern, 0314 Oslo, Norge	Tlf: Fax e-post: web	+47 98 85 33 33 firmapost@treteknisk.no www.treteknisk.no

Vedlegg
A3

Ver1 2015

epd-norge.no
The Norwegian EPD Foundation

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Tibnor
Programoperatør:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjonsnummer:	NEPD-2364-1104-NO
Publiseringsnummer:	NEPD-2364-1104-NO
ECO Platform registreringsnummer:	-
Godkjent dato:	14.09.2020
Gyldig til:	14.09.2025

Stålbjelker HEA, HEB, UPE, UNP og IPE

Tibnor

TIBNOR

www.epd-norge.no

Generell informasjon

Produkt:

Stålbjelker HEA, HEB, UPE, UNP og IPE

Eier av deklarasjonen:

Tibnor
Kontaktperson: Idar Vartdal
Telefon: 22909000
e-post: idar.vartdal@tibnor.com

Programoperatør:

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner
Pb. 5250 Majorstuen, 0303 Oslo
Phone: +47 23 08 80 00
e-post: post@epd-norge.no

Produsent:

Tibnor

Deklarasjonsnummer:

NEPD-2364-1104-NO

Produksjonssted:

Eidsvoll

ECO Platform registreringsnummer:

Kvalitet/Miljøsystem:

ISO 9001

Deklarasjonen er basert på PCR:

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR
NPCR 013:2019 Part B for Steel and aluminium construction products

Org. no.:

911 032 767

Erklæring om ansvar:

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

Godkjent dato:

14.09.2020

Gyldig til:

14.09.2025

Deklarert enhet:

1 kg Stålbjelker HEA, HEB, UPE, UNP og IPE

Årstall for studien:

2017

Deklarert enhet med opsjon:

A1,A2,A3,A4,C1,C2,C3,C4,D

Sammenlignbarhet:

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

Funksjonell enhet:

Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:

Deklarasjonen er utviklet ved bruk av eEPD v4.0 fra LCA.no
Godkjenning:
Bedriftsspesifikke data er

Samlet og registrert av:	Anne Mone Hansen
Kontrollert av:	Idar Vartdal

Verifikasjon:

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4

Ekstern

Tredjeparts verifikator:

Sign

Fredrik Moltu Johnsen

(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

Godkjent:

Sign

Håkon Hauan
Daglig leder av EPD-Norge

Produkt

Produktbeskrivelse:

Stålbjelker i materialkvalitete S355 og S460 iht. EN 10025-1. Typisk anvendelse er til bærende elemneter i stål strukturer som hus og bruer. Bjelkene kan benyttes som boltede og/eller sveisete komponeneter samt i støpte konstruksnoner.

Produktspesifikasjon:

Typiske profiler er HEA, HEB, UPE og IPE profiler.

Material	%
Steel	100,00

Tekniske data:

teoretisk tetthet 7850 kg/dm3, Smeltepunkt 1536 C, E- Modul : 210000 n/ mm2

Markedsområde:

Stålstrukturer som: Stadion/ Idrettsanlegg, Sykehus kjøpesenter, parkeringshus, bolighus bruer og jernbasner for å nevne noen.

Levetid, produkt:

Not declared

Levetid, bygg:

Not declared

LCA: Beregningsregler

Deklarert enhet:

1 kg Stålbjelker HEA, HEB, UPE, UNP og IPE

Cut-off kriterier:

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (mindre enn 1%) er ikke inkludert. Disse cut-off kriteriene gjelder ikke for farlige materialer og stoffer.

Allokering:

Allokering er gjort iht. bestemmelser i EN 15804. Inngående energi og vann, samt produksjon av avfall i egen produksjon er allokert likt mellom alle produktene gjennom masseallokering. Miljøpåvirkning og ressursforbruk for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til det opprinnelige produktsystemet. Bearbeidingsprosessen og transport av materialet til produksjonssted er allokert til analysen i denne EPDen.

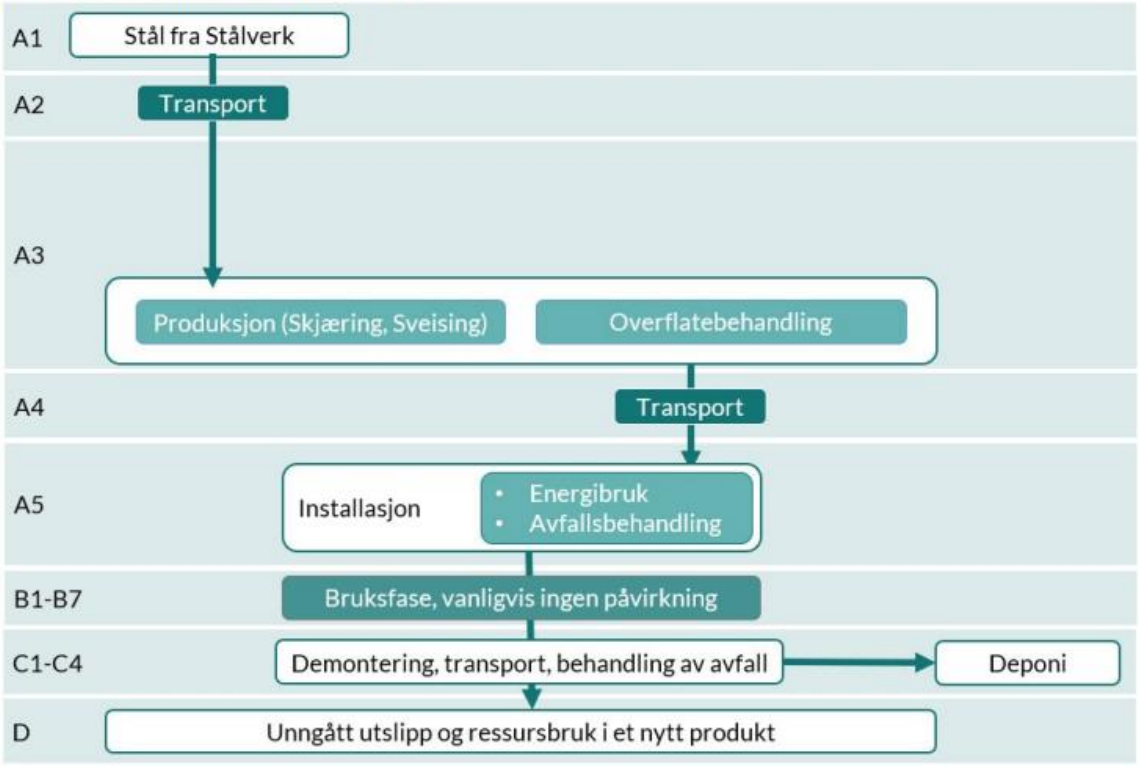
Datakvalitet:

Spesifikke data for produktsammensetningen er fremskaffet av produsenten. De representerer produksjonen av det deklarerte produktet og ble samlet inn for EPD-utvikling i det oppgitte året for studien. Bakgrunnsdata er basert på registrerte EPDer i henhold til EN 15804, Østfoldforskning sine databaser, ecoinvent og andre LCAdatabaser. Datakvaliteten for råmaterialene i A1 er presentert i tabellen nedenfor.

Materials	Source	Data quality	Year
Steel	EPD-ARM-20170033-IBD1-EN	EPD	2016

Systemgrenser:

Flytskjemaet nedenfor illustrerer systemgrensene for analysen:



Teknisk tilleggsinformasjon

LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	38,8 %	Truck, lorry 16-32 tonnes, EURO 5	300	0,044606	l/tkm	13,38
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annet					l/tkm	

Sluttfase (C1,C3,C4)

.	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	
Blandet avfall	kg	
Gjenbruk	kg	
Resirkulering	kg	0,9000
Energigjenvinning	kg	
Til deponi	kg	0,1000

Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	FBrennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Truck	55,0 %	Truck, lorry over 32 tonnes, EURO 5	300	0,022823	l/tkm	6,85
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annen transport					l/tkm	

Gevinst og belastninger etter endt levetid (D)

.	Enhet	Verdi
Substitution of primary construction steel, with net scrap steel (kg)	kg/DU	0,83

LCA: Resultater

Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklarert, MNR=modul ikke relevant)

Product stage			Construction installation stage		User stage							End of life stage				.	Beyond the system bondaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons/ installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til slutt behandling		Gjenbruk/gjenvinning/ resirkulering-potensiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	.	D
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	X	X	X	X	.	X

Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP	kg CO_2 -eq	5,81E-01	4,88E-02	5,67E-02	2,62E-02	1,80E-04	5,18E-04	-1,38E+00
ODP	kg CFC11 -eq	6,94E-09	9,00E-09	9,82E-09	5,10E-09	2,00E-11	1,72E-10	-5,71E-08
POCP	kg C_2H_4-eq	1,74E-04	7,95E-06	9,50E-06	4,23E-06	4,93E-08	1,58E-07	-9,67E-04
AP	kg SO_2 -eq	2,09E-03	1,56E-04	4,30E-04	8,51E-05	1,12E-06	3,78E-06	-6,18E-03
EP	kg PO_4^{3-} -eq	1,79E-04	2,58E-05	9,36E-05	1,43E-05	1,73E-07	6,67E-07	-2,06E-03
ADPM	kg Sb -eq	3,55E-07	1,49E-07	2,45E-10	5,91E-08	1,40E-11	1,00E-11	-2,68E-05
ADPE	MJ	6,26E+00	7,35E-01	7,84E-01	4,11E-01	1,67E-03	1,46E-02	-1,30E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10 -3 = 0,009
*INA Indicator Not Assessed

Ressursbruk (Resource use)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
RPEE	MJ	9,46E-01	1,07E-02	4,27E-03	7,42E-03	1,39E-02	1,19E-04	-1,17E+00
RPEM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TPE	MJ	9,46E-01	1,07E-02	4,27E-03	7,42E-03	1,39E-02	1,19E-04	-1,17E+00
NRPE	MJ	9,69E+00	7,53E-01	7,91E-01	4,23E-01	2,25E-03	1,48E-02	-1,24E+01
NRPM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TRPE	MJ	9,69E+00	7,53E-01	7,91E-01	4,23E-01	2,25E-03	1,48E-02	-1,24E+01
SM	kg	1,08E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	1,92E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
W	m^3	4,23E-03	1,41E-04	6,80E-05	9,98E-05	9,27E-07	1,60E-05	-8,46E-03

RPEE Renewable primary energy resources used as energy carrier; RPEM Renewable primary energy resources used as raw materials; TPE Total use of renewable primary energy resources; NRPE Non renewable primary energy resources used as energy carrier; NRPM Non renewable primary energy resources used as materials; TRPE Total use of non renewable primary energy resources; SM Use of secondary materials; RSF Use of renewable secondary fuels; NRSF Use of non renewable secondary fuels; W Use of net fresh water

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10 -3 = 0,009
*INA Indicator Not Assessed

Livsløpets slutt - Avfall (End of life - Waste)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
HW	kg	3,20E-07	4,40E-07	2,15E-06	2,25E-07	5,56E-09	2,20E-08	-1,20E-04
NHW	kg	2,90E-02	3,96E-02	3,56E-03	3,84E-02	1,71E-04	1,00E-01	-2,37E+00
RW	kg	INA*	INA*	INA*	INA*	INA*	INA*	INA*

HW Hazardous waste disposed; NHW Non hazardous waste disposed; RW Radioactive waste disposed

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10 -3 = 0,009
*INA Indicator Not Assessed

Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer (End of life - Output flow)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
CR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MR	kg	1,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	INA*	INA*	INA*	INA*	INA*	INA*	INA*
ETE	MJ	INA*	INA*	INA*	INA*	INA*	INA*	INA*

CR Components for reuse; MR Materials for recycling; MER Materials for energy recovery; EEE Exported electric energy; ETE Exported thermal energy

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10 -3 = 0,009
*INA Indicator Not Assessed

Vedlegg
A4

Norske tilleggskrav

Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Nasjonal produksjonsmiks fra import, lavspenning (inkludert produksjon av overføringslinjer, i tillegg til direkte utslipp og tap i nett) er brukt for anvendt elektrisitet i produksjonsprosessen (A3). Bakgrunnsdata er presentert i tabellen under. Karakteriseringsfaktorer fra EN15804:2012+A1:2013 er benyttet.

Elektrisitetsmiks	Datakilde	Mengde	Enhet
El-mix, Norway (kWh)	ecoinvent 3.4	31,04	g CO2-ekv/kWh

Farlige stoffer

Produktet inneholder stoffer som er under 0,1 vekt% på REACH Kandidatliste og den norske prioritetslisten.

Inneklima

Produktet har ingen innvirkning på inneklimaet

Bibliografi

NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer.
NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer.
ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products.
ecoinvent v3, Allocation, cut-off by classification, Swiss Centre of Life Cycle Inventories.
Iversen et al., (2018) eEPD v3.0 - Background information for EPD generator system. LCA.no rapportnummer 04.18.
Vold et al., (2019) EPD generator for Norsk Stålforbund - Background information for industry application and LCA data, LCA.no rapportnummer 09.19.
NPCR Part A: Construction products and services. Ver. 1.0. April 2017, EPD-Norge.
NPCR 013 Part B for steel and aluminium construction products. Ver. 3.0 April 2019, EPD-Norge.

epd-norge.no The Norwegian EPD Foundation	**Programoperatør og utgiver** Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Pb. 5250 Majorstuen 0303 Oslo Norway	Telefon: e-post: web:	+47 23 08 80 00 post@epd-norge.no www.epd-norge.no
TIBNOR	**Eier av deklarasjon** Tibnor Tevlingveien 15 1081 Oslo	Telefon: Fax: e-post: web:	22909000 91350073 idar.vartdal@tibnor.com www.tibnor.com
LCA.no	**Forfatter av livsløpsrapporten** LCA.no AS Dokka 1C 1671 Kråkerøy	Telefon: Fax: e-post: web:	+47 916 50 916 90571091 post@lca.no www.lca.no
LCA.no	**Utvikler av EPD-generator** LCA.no AS Dokka 1C 1671 Kråkerøy	Telefon: e-post: web:	+47 916 50 916 post@lca.no www.lca.no

epd-norge.no
The Norwegian EPD Foundation

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Contiga AS Stål
Programoperatør:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjonsnummer:	NEPD-2623-1333-NO
Publiseringsnummer:	NEPD-2623-1333-NO
ECO Platform registreringsnummer:	-
Godkjent dato:	19.01.2021
Gyldig til:	19.01.2026

Kald- og varmformede hulprofiler

Contiga AS Stål

CONTIGA
HEIDELBERGCEMENT Group

www.epd-norge.no

Generell informasjon

Produkt:

Kald- og varmformede hulprofiler

Eier av deklarasjonen:

Contiga AS Stål
Kontaktperson: Thor Egil Einarsrud
Telefon: +47 97 57 42 57
e-post: thor-egil.einarsrud@contiga.no

Programoperatør:

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner
Pb. 5250 Majorstuen, 0303 Oslo
Phone: +47 23 08 80 00
e-post: post@epd-norge.no

Produsent:

Contiga AS Stål
Postboks 70, 1501 Moss , 1501 Moss
Norway

Deklarasjonsnummer:

NEPD-2623-1333-NO

Produksjonssted:

Contiga AS Stål
Postboks 70, 1501 Moss , 1501 Moss
Norway

ECO Platform registreringsnummer:

Kvalitet/Miljøsystem:

NS-EN ISO 14001:2015 sert 2003-OSL-SYMI-8195 NS-EN ISO 9001:2015 sert 95-OSL-AQ-NOR-NA NS-EN 1090-1:2009 + A1:2011 NS-EN ISO 3834-2:2005 sert CS2145

Deklarasjonen er basert på PCR:

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR
NPCR 013:2019 Part B for Steel and aluminium construction products

Org. no.:

No 917 507 837

Erklæring om ansvar:

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

Godkjent dato: 19.01.2021

Gyldig til: 19.01.2026

Deklarert enhet:

1 kg Kald- og varmformede hulprofiler

Årstall for studien:

2020

Deklarert enhet med opsjon:

A1,A2,A3,A4,C1,C2,C3,C4,D

Sammenlignbarhet:

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

Funksjonell enhet:

Hulprofiler, kald- og varmformet, for bruk i bærende konstruksjoner. Fra vugge til grav

Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:

Deklarasjonen er utarbeidet og verifisert ved bruk av EPDverktøy lca.tools ver EPD2020.11, utviklet av LCA.no AS. EPDverktøyet er integrert i bedriftens miljøstyringssystem, og godkjent av EPD-Norge

EPD er utarbeidet av:

Thor Egil Einarsrud

Bedriftsspesifikke data og EPD er kontrollert av:

Jane Mælen

Generelt om verifikasjon av EPD fra verktøy:

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4. Individuell tredjepartsverifisering av hver EPD er ikke nødvendig når verktøyet er i) integrert i bedriftens miljøstyringssystem, ii) prosedyrer for bruk av verktøyet er godkjent av EPD-Norge og iii) prosessen granskes årlig. Se vedlegg G i EPD-Norges retningslinjer for ytterligere informasjon om EPD-verktøy.

Godkjent:

Verifikasjon av EPD-verktøy:

Uavhengig tredjepartsverifikasjon av verktøy, bakgrunnsdata og test-EPD er gjort i henhold til EPD-Norge sine prosedyrer og retningslinjer for verifisering og godkjenning av EPD-verktøy.

Sign

Fredrik Moltu Johnsen, Norsus AS

(krever ikke signatur)

Håkon Hauan, Daglig leder EPD-Norge

Produkt

Produktbeskrivelse:

Runde, firkant og rektangulære profiler brukt i bærende konstruksjoner

Produktspesifikasjon:

Stålprodukter er produsert av Contiga AS. Produktene er prefabrikert og montert på byggeplass

Materialer	kg	%
Steel	0,99	99,00
Paint, solvent-based	0,01	1,00
Totalt:	1,00	

Tekniske data:

Dimensjoner: Firkant huprofil 25x2 - 300x12,5. Rektangulær hulprofil 50x25x2 - 400x200x12,5. Runde rør 21,3x2 - 711x60. Stålkvalitet <= S355. EN 10219, EN 10210, og EN 1090-2 standardene er lagt til grunn

Markedsområde:

Norge

Levetid, produkt:

100 år

Levetid, bygg:

100 år

LCA: Beregningsregler

Deklarert enhet:

1 kg Kald- og varmformede hulprofiler

Cut-off kriterier:

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (mindre enn 1%) er ikke inkludert. Disse cut-off kriteriene gjelder ikke for farlige materialer og stoffer.

Prosesser som ikke påvirker total mengde og energiforbruk mer enn 1 % er utelatt. Utelatte produkter har ikke relevans til resultat i EPD

Allokering:

Allokering er gjort iht. bestemmelser i EN 15804. Inngående energi og vann, samt produksjon av avfall i egen produksjon er allokert likt mellom alle produktene gjennom masseallokering. Miljøpåvirkning og ressursforbruk for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til det opprinnelige produktsystemet. Bearbeidingsprosessen og transport av materialet til produksjonssted er allokert til analysen i denne EPDen.

Datakvalitet:

Spesifikke data for produktsammensetningen er fremskaffet av produsenten. De representerer produksjonen av det deklarerte produktet og ble samlet inn for EPD-utvikling i det oppgitte året for studien. Bakgrunnsdata er basert på registrerte EPDer i henhold til EN 15804, Østfoldforskning sine databaser, ecoinvent og andre LCAdatabaser. Datakvaliteten for råmaterialene i A1 er presentert i tabellen nedenfor.

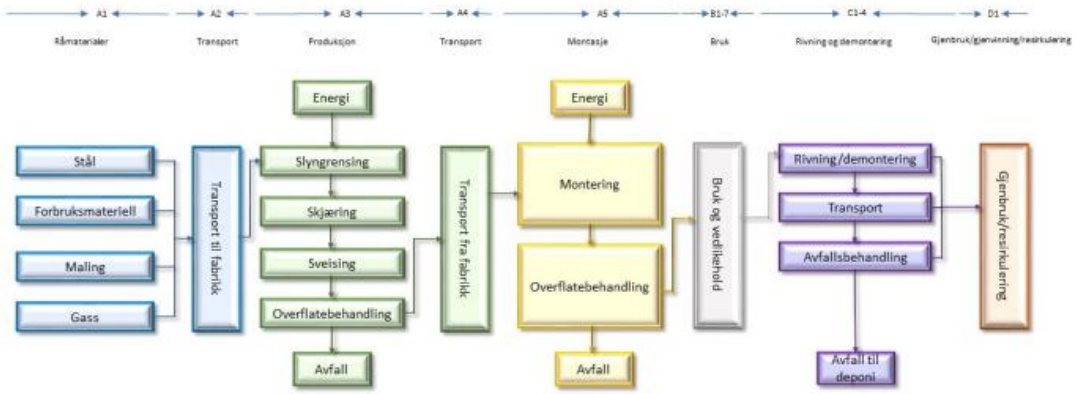
Kravene i EN-1090-2:2018 tilpasses og stålkonstruksjonene kan produseres i utførelsesklasser opp til EXC 3. Materialkvaliteten er opp til S460

Materials	Source	Data quality	Year
Paint, solvent-based	ecoinvent 3.5	Database	2018
Steel	EPD-ARC-20190180-CBD1-EN	EPD	2020

Systemgrenser:

B1, B6, B7 er ikke tatt med i EPD da vi ikke har forutsetning for å beregne dette

Flytskjemaet nedenfor illustrerer systemgrensene for analysen:



Teknisk tilleggsinformasjon

EPD gjelder ulike dimensjoner kald- og varmformede hulprofiler
Etter endt levetid for bygget er det enkelt å resirkulere bestanddelene

LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	55,0 %	Truck, lorry over 32 tonnes, EURO 6	100	0,022606	l/tkm	2,26
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annet					l/tkm	

Sluttfase (C1,C3,C4)

.	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	
Blandet avfall	kg	
Gjenbruk	kg	
Resirkulering	kg	0,9801
Energigjenvinning	kg	
Til deponi	kg	0,0099

Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	FBrennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Truck	38,8 %	Truck, lorry 16-32 tonnes, EURO 6	100	0,043626	l/tkm	4,36
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annen transport					l/tkm	

Gevinst og belastninger etter endt levetid (D)

.	Enhet	Verdi
Substitution of primary reinforcing steel, with net scrap steel (kg)	kg	0,62

LCA: Resultater

LCA resultatene er presentert under for den deklarerte enheten som er definert på side 2 av EPD dokumentet.

Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklarert, MNR=modul ikke relevant)

Product stage				Construction installation stage	User stage							End of life stage				Beyond the system bondaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons/ installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk/gjenvinning/ resirkulering-potensiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	X	X	X	X	X

Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP	kg CO_2 -eq	2,35E+00	8,28E-03	0	1,59E-02	1,96E-04	5,13E-05	-1,04E+00
ODP	kg CFC11 -eq	1,01E-08	1,70E-09	0	3,00E-09	2,20E-11	1,70E-11	-4,30E-08
POCP	kg C_2H_4-eq	7,50E-04	1,29E-06	0	2,41E-06	5,37E-08	1,57E-08	-7,28E-04
AP	kg SO_2 -eq	6,62E-03	2,14E-05	0	3,75E-05	1,22E-06	3,74E-07	-4,66E-03
EP	kg PO_4^{3-} -eq	5,54E-04	2,95E-06	0	4,92E-06	1,88E-07	6,61E-08	-1,55E-03
ADPM	kg Sb -eq	7,98E-07	1,97E-08	0	4,95E-08	1,50E-11	1,00E-12	-2,02E-05
ADPE	MJ	2,33E+01	1,36E-01	0	2,41E-01	1,82E-03	1,44E-03	-9,80E+00

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10 -3 = 0,009
*INA Indicator Not Assessed

Ressursbruk (Resource use)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
RPEE	MJ	5,02E+00	2,47E-03	0	3,55E-03	1,52E-02	1,18E-05	-8,84E-01
RPEM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TPE	MJ	5,02E+00	2,47E-03	0	3,55E-03	1,52E-02	1,18E-05	-8,84E-01
NRPE	MJ	2,51E+01	1,40E-01	0	2,46E-01	2,45E-03	1,46E-03	-9,31E+00
NRPM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TRPE	MJ	2,51E+01	1,40E-01	0	2,46E-01	2,45E-03	1,46E-03	-9,31E+00
SM	kg	3,58E-01	0,00E+00	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	5,43E-04	0,00E+00	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
W	m^3	1,26E-02	3,32E-05	0	4,66E-05	1,01E-06	1,58E-06	-6,37E-03

RPEE Renewable primary energy resources used as energy carrier; RPEM Renewable primary energy resources used as raw materials; TPE Total use of renewable primary energy resources; NRPE Non renewable primary energy resources used as energy carrier; NRPM Non renewable primary energy resources used as materials; TRPE Total use of non renewable primary energy resources; SM Use of secondary materials; RSF Use of renewable secondary fuels; NRSF Use of non renewable secondary fuels; W Use of net fresh water

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10 -3 = 0,009
*INA Indicator Not Assessed

Livsløpets slutt - Avfall (End of life - Waste)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
HW	kg	2,34E-06	7,47E-08	0	1,45E-07	6,06E-09	2,18E-09	-9,03E-05
NHW	kg	1,29E-01	1,28E-02	0	1,32E-02	1,86E-04	9,90E-03	-1,79E+00
RW	kg	INA*	INA*	0	INA*	INA*	INA*	INA*

HW Hazardous waste disposed; NHW Non hazardous waste disposed; RW Radioactive waste disposed

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10 -3 = 0,009
*INA Indicator Not Assessed

Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer (End of life - Output flow)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
CR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MR	kg	4,90E-02	0,00E+00	0	0,00E+00	9,80E-01	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	INA*	INA*	0	INA*	INA*	INA*	INA*
ETE	MJ	INA*	INA*	0	INA*	INA*	INA*	INA*

CR Components for reuse; MR Materials for recycling; MER Materials for energy recovery; EEE Exported electric energy; ETE Exported thermal energy

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10 -3 = 0,009
*INA Indicator Not Assessed

Norske tilleggskrav

Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Nasjonal produksjonsmiks fra import, lavspenning (inkludert produksjon av overføringslinjer, i tillegg til direkte utslipp og tap i nett) er brukt for anvendt elektrisitet i produksjonsprosessen (A3). Bakgrunnsdata er presentert i tabellen under. Karakteriseringsfaktorer fra EN15804:2012+A1:2013 er benyttet.

Elektrisitetsmiks	Datakilde	Mengde	Enhet
El-mix, Norway (kWh)	ecoinvent 3.4	31,04	g CO2-ekv/kWh

Farlige stoffer

Produktet er ikke tilført stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten.

Inneklima

Bibliografi

NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer.
NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer.
ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products.
ecoinvent v3, Allocation, cut-off by classification, Swiss Centre of Life Cycle Inventories.
Iversen et al., (2018) eEPD v3.0 - Background information for EPD generator system. LCA.no rapportnummer 04.18.
Vold et al., (2019) EPD generator for Norsk Stålforbund - Background information for industry application and LCA data, LCA.no rapportnummer 09.19.
NPCR Part A: Construction products and services. Ver. 1.0. April 2017, EPD-Norge.
NPCR 013 Part B for steel and aluminium construction products. Ver. 3.0 April 2019, EPD-Norge.

epd-norge.no The Norwegian EPD Foundation	**Programoperatør og utgiver** Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner PostBoks 5250 Majorstuen, 0303 Oslo,Norge	Telefon: e-post: web:	+47 23 08 80 00 post@epd-norge.no www.epd-norge.no
CONTIGA HEIDELBERGCEMENT Group	**Eier av deklarasjon** Contiga AS Stål Postboks 70, 1501 Moss , 1501 Moss	Telefon: e-post: web:	+47 97 57 42 57 thor-egil.einarsrud@contiga.no www.contiga.no
LCA.no	**Forfatter av livsløpsrapporten** LCA.no AS Dokka 1C , 1671 Kråkerøy	Telefon: e-post: web:	+47 916 50 916 post@lca.no www.lca.no
LCA.no	**Utvikler av EPD-generator** LCA.no AS Dokka 1C,1671 Kråkerøy	Telefon: e-post: web:	+47 916 50 916 post@lca.no www.lca.no

Vedlegg
A5

Entity users	Project name	Design name	Indicator name						
Andi Hadri	treramme	2 - treramme	Level(s)						
Avsnitt	**Sektor**	**Klimagassutslipp kg CO2e**	**Biogent karbonlagring kg CO2e bio**	**Ozonreduksjonspotensial kg CFC11e**	**Forsuring kg SO2e**	**Eutrofiering kg PO4e**	**Formasjon av ozon i lavere atmosfære kg Ethenee**	**Abiotisk uttynningspotensial (ADP-elementer) for ikke-fossile ressurser kg Sbe**	**Abiotisk uttynningspotensial (ADP-fossile brensler) for fossile ressurser MJ**
A1-A3	Byggematerialer	4,55E+03	3,29E+04	7,50E-05	2,60E+01	3,23E+00	2,91E+00	1,06E-03	2,96E+04
A4	Transport til byggeplassen	7,13E+01		1,41E-05	3,29E-01	7,16E-02	4,02E-03	5,17E-01	2,03E+03
A4	Transport til byggeplassen	7,13E+01		1,41E-05	3,29E-01	7,16E-02	4,02E-03	5,17E-01	2,03E+03
A4-leg2	Transport til byggeplassen - leg 2								
A5	Byggeplass	4,23E+02		1,81E-05	3,63E+00	5,77E-01	3,72E-01	1,74E-01	2,00E+03
A5a	Byggeplass drift & byggeplass avfallshåndtering								
A5b	Byggeplass avfallstransport								
A5c	Byggeplass - kapp og svinn - materialer	3,62E+02		1,06E-05	3,20E+00	4,43E-01	3,59E-01	3,50E-05	9,75E+02
A5d	Byggeplass - kapp og svinn - transport	1,11E+01		2,20E-06	5,13E-02	1,12E-02	6,28E-04	8,07E-02	3,18E+02
A5e	Byggeplass - kapp og svinn - avfall	4,97E+01	0,00E+00	5,33E-06	3,83E-01	1,22E-01	1,22E-02	9,33E-02	7,08E+02
A5m-waste	Byggeplass - materialbruk på stedet - avfall								
B1	Bruksfase								
B1-a	Årlige lekkasjer av kjølemiddel								
B1-b	Tap av kuldemedium, utskifting av utstyr								
B1-c	Tap av kuldemedium, utstyr endt levetid								
B1-d	Karbonisering								
B1-e	Vegetasjonuttak av karbon								
B3	Reparasjon	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B3a	Reparasjon - materialer	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B3b	Reparasjon - transport	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B3c	Reparasjon - avfall	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B4-B5	Utskiftning og renovering								
B4-B5a	Utskiftning - materialer								
B4-B5b	Utskiftning - transport								
B4-B5b-leg2	Utskiftning - transport								
B4-B5c	Utskiftning - avfall								
B6	Energiforbruk	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B7	Vannbruk								
C1-C4	Endt levetid	3,47E+02		4,15E-05	2,52E+00	7,82E-01	7,64E-02	8,96E-01	5,60E+03
C1	Dekonstruksjon / riving								
C2	Avfallstransport	1,24E+02		2,44E-05	5,69E-01	1,24E-01	6,97E-03	8,95E-01	3,53E+03
C3	Avfallsbehandling	2,23E+02		1,70E-05	1,96E+00	6,58E-01	6,94E-02	7,84E-04	2,08E+03
C4	Avfallshåndtering								
D	Utover livsløp (ikke inkludert i totalen)	-5,69E+03		-3,30E-04	-4,19E+01	-8,98E+00	-2,99E+00	-2,04E-02	-5,85E+04
D	Installerte materialer - fordeler	-5,18E+03	0,00E+00	-2,99E-04	-3,71E+01	-7,88E+00	-2,74E+00	-1,90E-02	-5,42E+04
A5-benefit	Byggeplass - materialsvinn - fordel	-5,17E+02	0,00E+00	-3,09E-05	-4,74E+00	-1,10E+00	-2,51E-01	-1,41E-03	-4,28E+03
A5m-benefit	Byggeplass - materialbruk - fordel								
B3-benefit	Reparasjon - fordel	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Entity users	Project name	Design name	Indicator name						
Andi Hadri	kontr	2 - kontor	Level(s) Livssyklusanalyse (EN15804 +A1)						
Avsnitt	**Sektor**	**Klimagassutslipp kg CO2e**	**Biogent karbonlagring kg CO2e bio**	**Ozonreduksjonspotensial kg CFC11e**	**Forsuring kg SO2e**	**Eutrofiering kg PO4e**	**Formasjon av ozon i lavere atmosfære kg Ethenee**	**Abiotisk uttynningspotensial (ADP-elementer) for ikke-fossile ressurser kg Sbe**	**Abiotisk uttynningspotensial (ADP-fossile brensler) for fossile ressurser MJ**
A1-A3	Byggematerialer	1,50E+04	0,00E+00	1,45E-04	5,46E+01	5,39E+00	4,32E+00	9,71E-03	1,69E+05
A4	Transport til byggeplassen	6,46E+01		1,28E-05	2,97E-01	6,48E-02	3,64E-03	4,68E-01	1,84E+03
A4	Transport til byggeplassen	6,46E+01		1,28E-05	2,97E-01	6,48E-02	3,64E-03	4,68E-01	1,84E+03
A4-leg2	Transport til byggeplassen - leg 2								
A5	Byggeplass	1,58E+02		2,90E-06	5,81E-01	6,13E-02	4,37E-02	5,16E-02	1,89E+03
A5a	Byggeplass drift & byggeplass								
A5b	Byggeplass avfallstransport								
A5c	Byggeplass - kapp og svinn - materialer	1,50E+02		1,45E-06	5,46E-01	5,39E-02	4,32E-02	9,71E-05	1,69E+03
A5d	Byggeplass - kapp og svinn - transport	6,46E-01		1,28E-07	2,97E-03	6,48E-04	3,64E-05	4,68E-03	1,84E+01
A5e	Byggeplass - kapp og svinn - avfall	6,82E+00	0,00E+00	1,32E-06	3,23E-02	6,84E-03	4,89E-04	4,68E-02	1,89E+02
A5m-waste	Byggeplass - materialbruk på stedet - avfall								
B1	Bruksfase								
B1-a	Årlige lekkasjer av kjølemiddel								
B1-b	Tap av kuldemedium, utskifting av utstyr								
B1-c	Tap av kuldemedium, utstyr endt levetid								
B1-d	Karbonisering								
B1-e	Vegetasjonuttak av karbon								
B3	Reparasjon	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B3a	Reparasjon - materialer	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B3b	Reparasjon - transport	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B3c	Reparasjon - avfall	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B4-B5	Utskiftning og renovering								
B4-B5a	Utskiftning - materialer								
B4-B5b	Utskiftning - transport								
B4-B5b-leg2	Utskiftning - transport								
B4-B5c	Utskiftning - avfall								
B6	Energiforbruk	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B7	Vannbruk								
C1-C4	Endt levetid	6,82E+02		1,32E-04	3,23E+00	6,84E-01	4,89E-02	4,68E+00	1,89E+04
C1	Dekonstruksjon / riving								
C2	Avfallstransport	6,46E+02		1,28E-04	2,97E+00	6,48E-01	3,64E-02	4,68E+00	1,84E+04
C3	Avfallsbehandling	3,67E+01		4,94E-06	2,57E-01	3,65E-02	1,25E-02	1,74E-03	4,91E+02
C4	Avfallshåndtering								
D	Utover livsløp (ikke inkludert i totalen)	-1,77E+04		-9,71E-04	-7,39E+01	-1,11E+01	-1,05E+01	-8,92E-02	-2,43E+05
D	Installerte materialer - fordeler	-1,75E+04	0,00E+00	-9,61E-04	-7,31E+01	-1,10E+01	-1,04E+01	-8,83E-02	-2,41E+05
A5-benefit	Byggeplass - materialsvinn - fordel	-1,75E+02	0,00E+00	-9,61E-06	-7,31E-01	-1,10E-01	-1,04E-01	-8,83E-04	-2,41E+03
A5m-benefit	Byggeplass - materialbruk - fordel								
B3-benefit	Reparasjon - fordel	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Datakilder

Kilder

Ressursnavn	Teknisk spesifikasjon	Produkt	Produsent	EPD-programmet	EPD nummer	Miljødatakilde	Standard	Bekreftelse	År	Land	Oppstrømsdatabaser	Tetthet	Produktkategoriregler (PCR)	Merknader om PCR	Ytelsesrangering	Last ned EPD
Electricity, consumption mix w/o renewables, Norway, 2022			One Click LCA	One Click LCA		LCA study for country specific consumption mixes, OneClickLCA 2025		Verifisert internt	2022	norway	One Click LCA				Utilities: 1273 / 1667 CO_2 Se komplett rangering:	
HSQ bjelker			Contiga AS Stål	EPD Norge	NEPD-2266-1036-NO	EPD Kaldformede hulprofiler Contiga AS Stål	EN15804+A1	Verifisert internt	2021	norway	ecoinvent	7850.0	NPCR 013:2019 Part B for Steel and aluminium construc tion products	Only with EN15804	CO2 CML: 227 / 737 CO_2 Se komplett rangering:	Last ned EPD
Stålbjelker HEA, HEB, UPE, UNP og IPE	7850 kg/m3, HEA, HEB, UPE, UNP, IPE profiles		Tibnor	EPD Norge	NEPD-2364-1104-NO	EPD Stålbjelker HEA, HEB, UPE, UNP og IPE Tibnor	EN15804+A1	Verifisert av tredjepart (iht ISO 14025)	2020	norway	ecoinvent	7850.0	NPCR 013:2019 Part B for Steel and aluminium construction products	Only with EN15804	CO2 CML: 52 / 737 CO_2 Se komplett rangering:	Last ned EPD

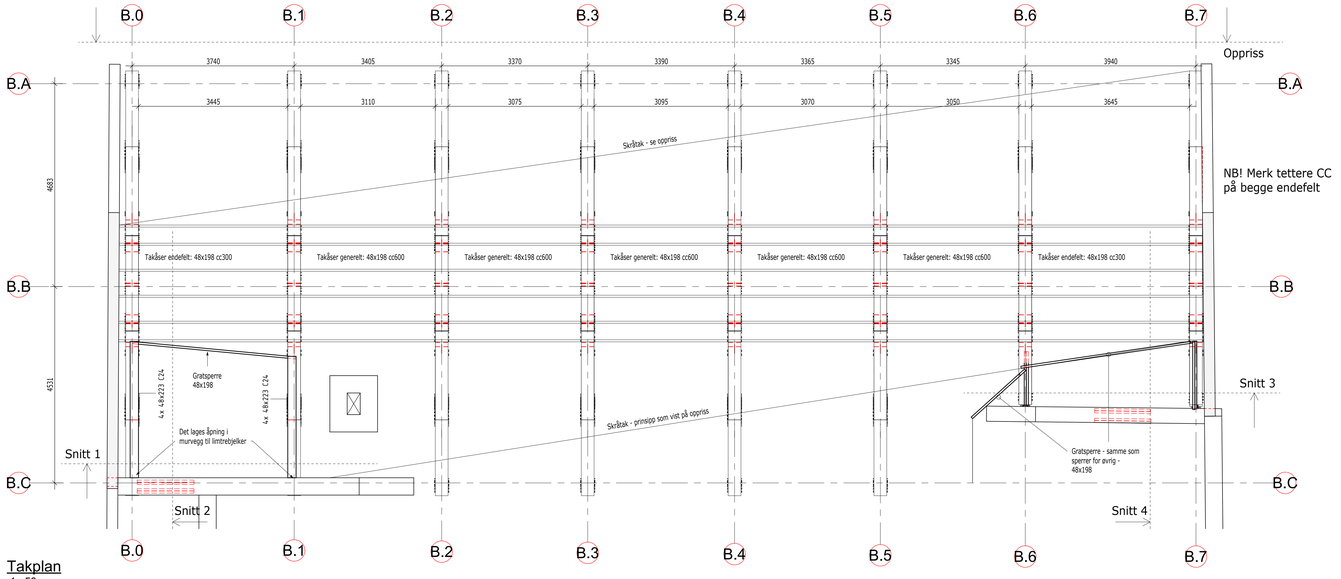
Datakilder

Kilder

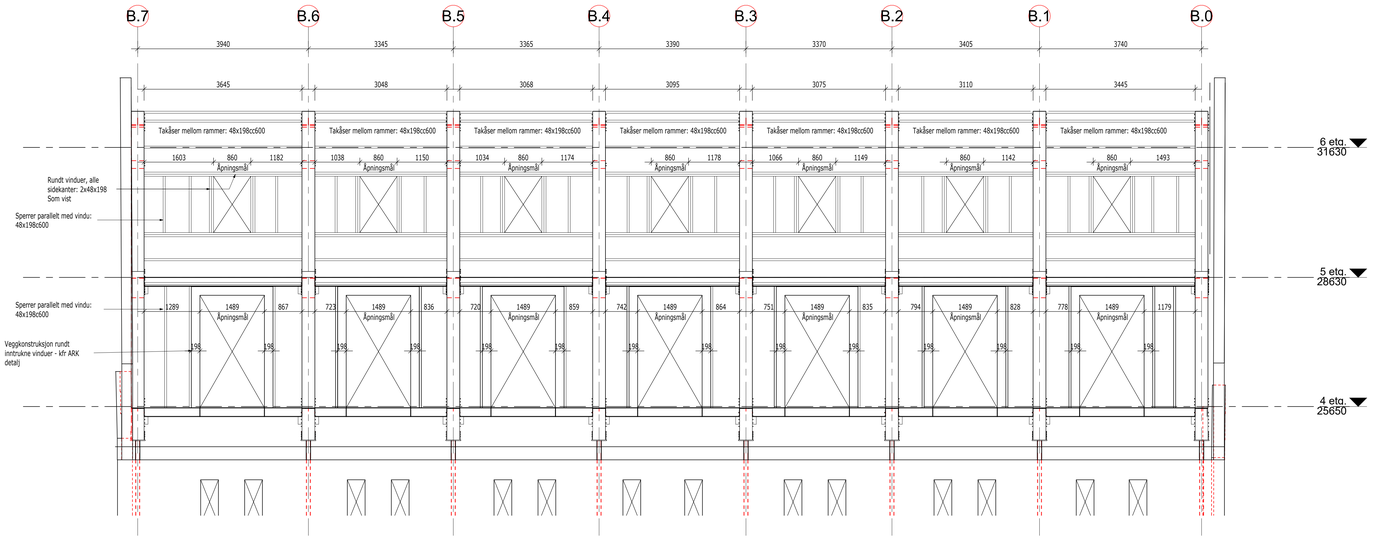
Ressursnavn	Teknisk spesifikasjon	Produkt	Produsent	EPD-programmet	EPD nummer	Miljødatakilde	Standard	Bekreftelse	År	Land	Oppstrømsdatabaser	Tetthet	Produktkategoriregler (PCR)	Merknader om PCR	Ytelsesrangering	Last ned EPD
Electricity, consumption mix w/o renewables, Norway, 2022			One Click LCA	One Click LCA		LCA study for country specific consumption mixes, OneClickLCA 2025		Verifisert internt	2022	norway	One Click LCA				Utilities: 1273 / 1667 CO_2 Se komplett rangering:	
Kald- og varmformede hulprofiler	Square profile 25x2 - 300x12,5, rectangular profile 50x25x2 - 400x200x12,5, round tubes 21,3x2 - 711x60		Contiga AS Stål	EPD Norge	NEPD-2623-1333-NO	EPD Kald- og varmformede hulprofiler Contiga AS Stål	EN15804+A1	Verifisert internt	2021	norway	ecoinvent	7850.0	NPCR 013:2019 Part B for Steel and aluminium construc tion products	Only with EN15804	CO2 CML: 466 / 737 CO_2 Se komplett rangering:	Last ned EPD
Limtre	470 kg/m3, 12% moisture content		Moelven Modus	EPD Norge	NEPD115E	Standard gluelam beam, Moelven Limtre 2009	ISO14040	Verifisert av tredjepart (iht ISO 14025)	2015	norway	ecoinvent	470.0	NPCR 015 Wood and wood-based products for use in construction	Only with EN15804	CO2 CML: 6 / 178 CO_2 Se komplett rangering:	Last ned EPD
Stålbjelker HEA, HEB, UPE, UNP og IPE	7850 kg/m3, HEA, HEB, UPE, UNP, IPE profiles		Tibnor	EPD Norge	NEPD-2364-1104-NO	EPD Stålbjelker HEA, HEB, UPE, UNP og IPE Tibnor	EN15804+A1	Verifisert av tredjepart (iht ISO 14025)	2020	norway	ecoinvent	7850.0	NPCR 013:2019 Part B for Steel and aluminium construction products	Only with EN15804	CO2 CML: 52 / 737 CO_2 Se komplett rangering:	Last ned EPD

Vedlegg

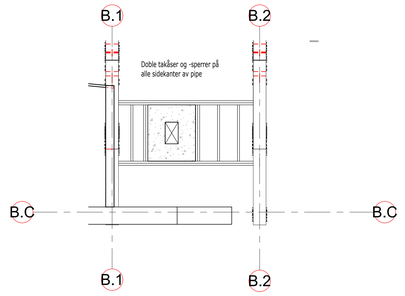
B1



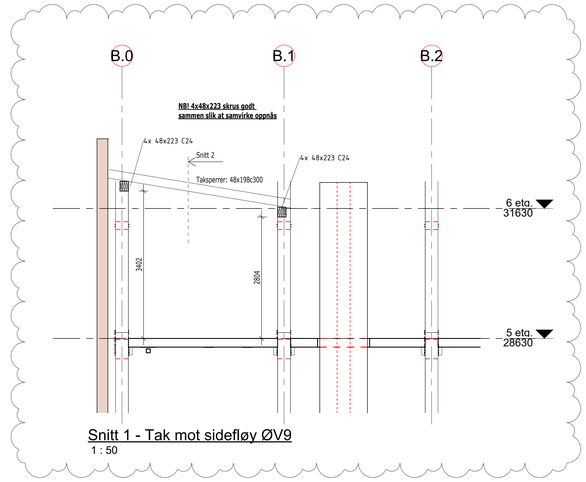
Takplan
1 : 50



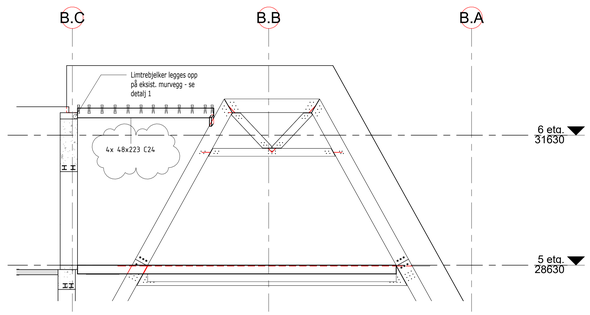
Oppriss takflate - trebjelkelag
1 : 50



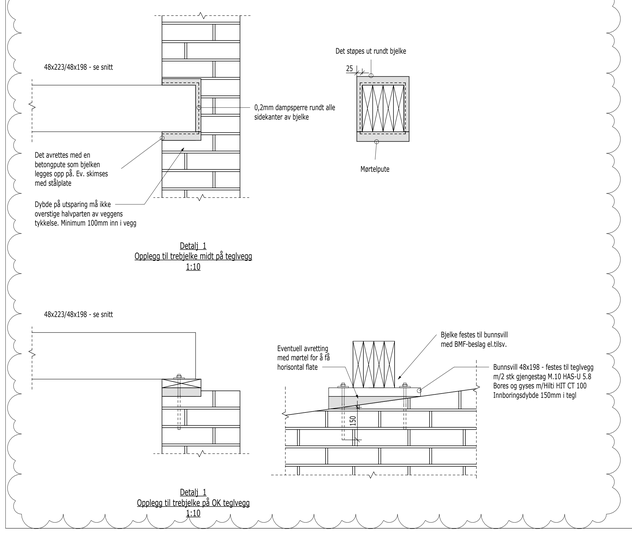
Detalj rundt pipe - Plan
1 : 50

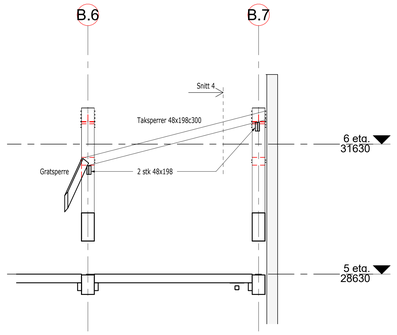


Snitt 1 - Tak mot sidefløy ØV9
1 : 50

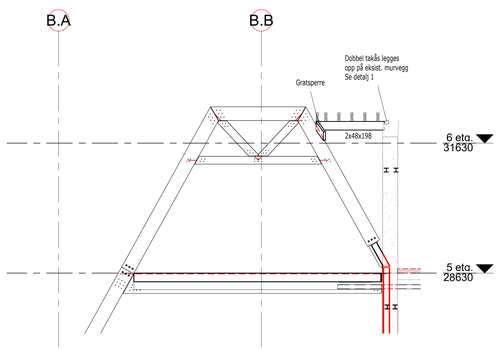


Snitt 2 - Sørgavl mot ØV9
1 : 50

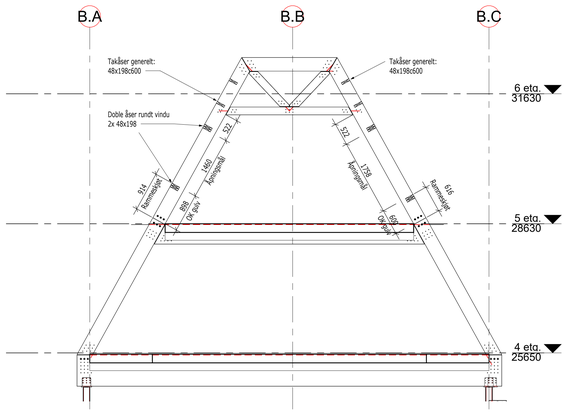




Snitt 3 - Tak mot sidefløy ØV13
1 : 50



Snitt 4 - Tak mot ØV13
1 : 50



Vert. snitt - typisk vindu
1 : 50

ANMERKNINGER

Generelt:
Kontrollklasse: Normal
Trevirke: C24

Alle mål er teoretiske og må kontrollmåles på stedet. Eksisterende konstruksjoner må verifiseres og kontrollmåles.

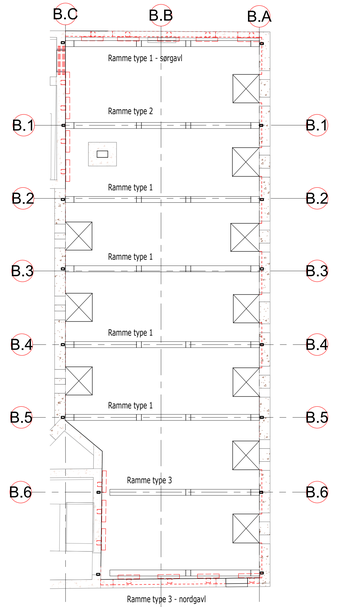
HENVISNINGER:
BR-xxx - Riveplan
B-xxx - Formtegning

x = 101, 102, 103, etc. avhengig av etasje

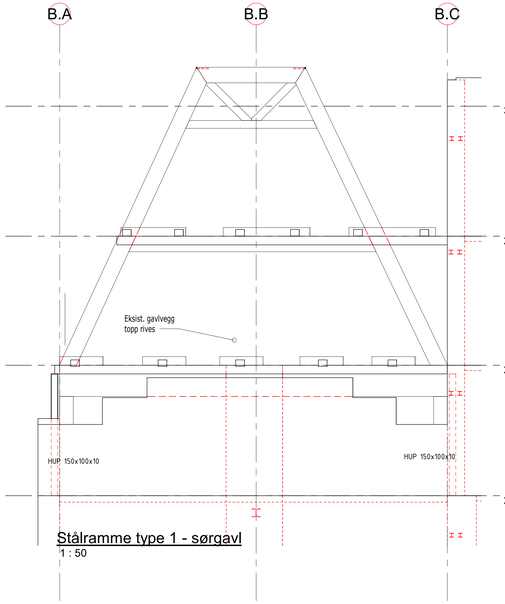
[redacted]

Vedlegg

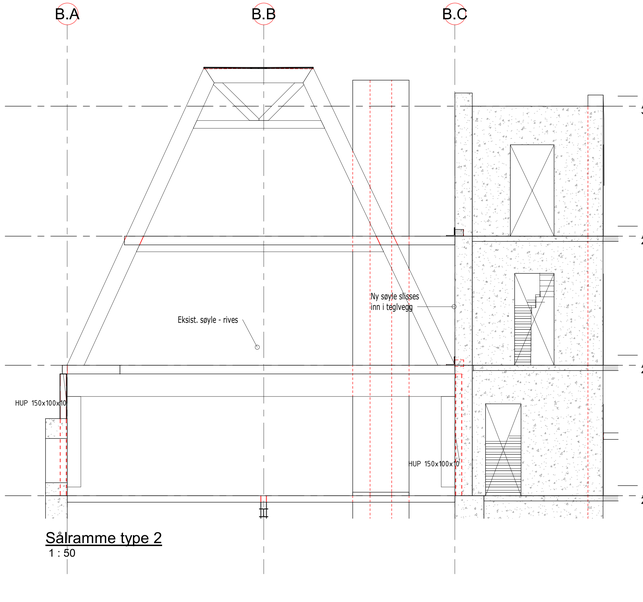
B2



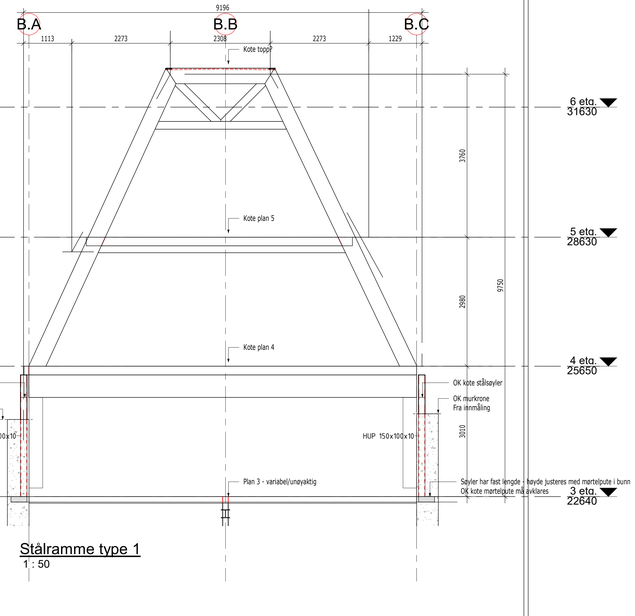
Plan - rammer
1 : 100



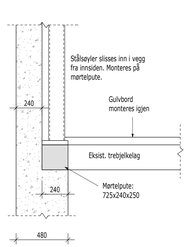
Stålramme type 1 - sørgavl
1 : 50

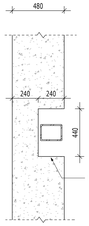


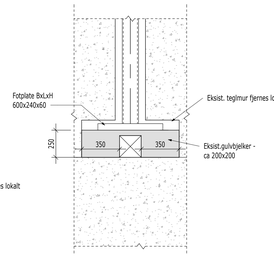
Sålramme type 2
1 : 50

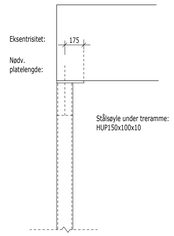


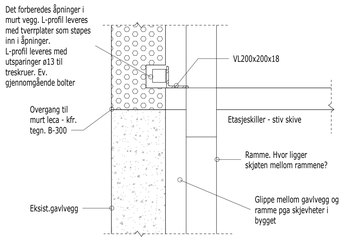
Stålramme type 1
1 : 50



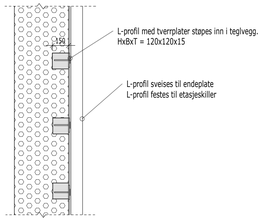




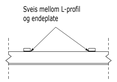




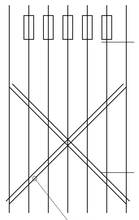
Vert. snitt
1:20



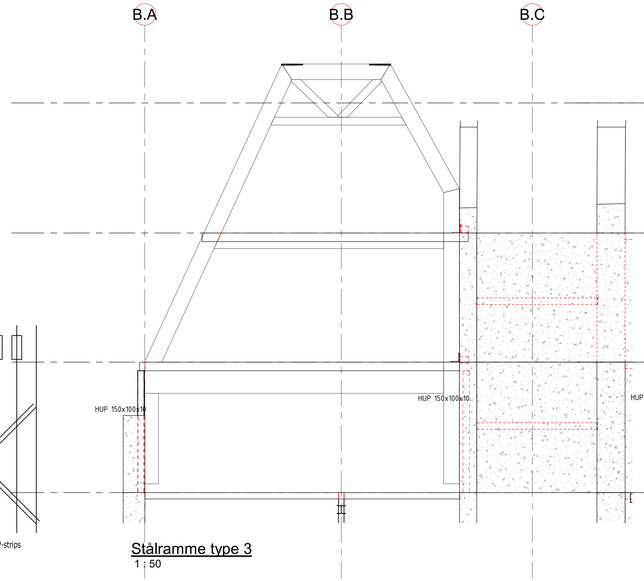
Hor. snitt
1:20



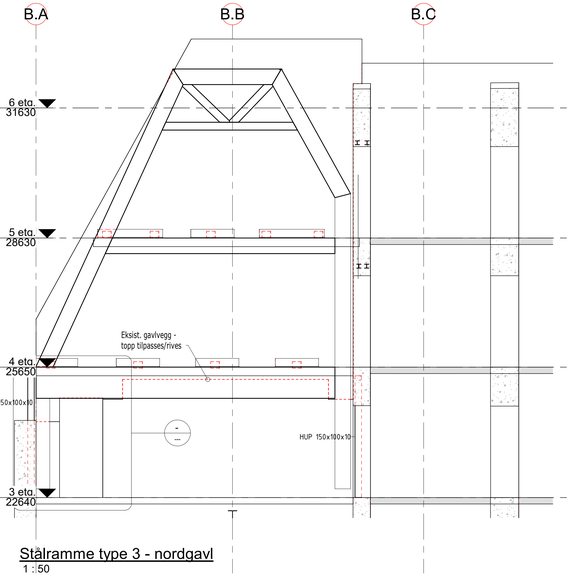
Oppriss
1:20



Etasjeskiller gjøres til
stivplate ved bruk av enten
spikerslag eller karbonbånd.



Stålramme type 3
1 : 50



Stålramme type 3 - nordgavl
1 : 50

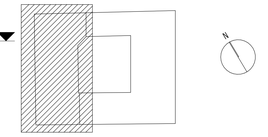
[redacted]

TEGNINGSNAVN/TITTEL:

Rammer

Rev.	Beskr.	Dato	Tegn.	Kontr.
3	Foreløpig	20.06.24	DS	-
2	Foreløpig	30.05.24	DS	-
1	Forprosjekt	-	DS	HS

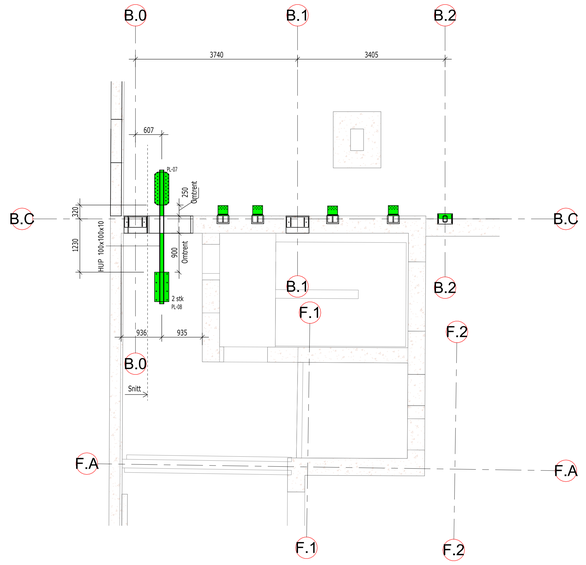
LOKALISERINGSFIGUR:



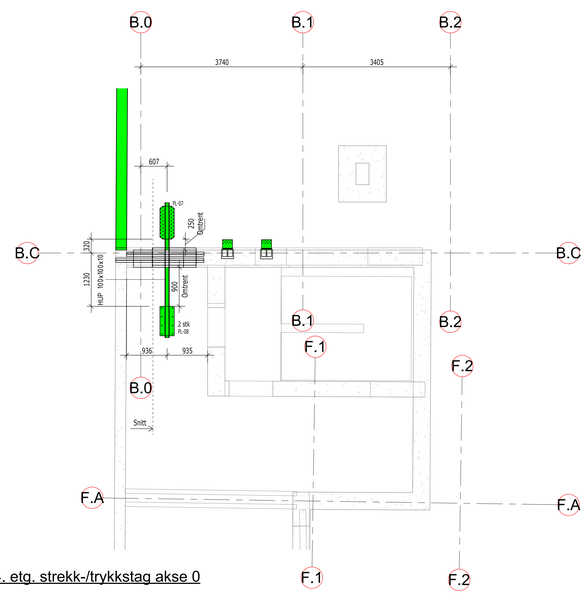
[redacted]

Vedlegg

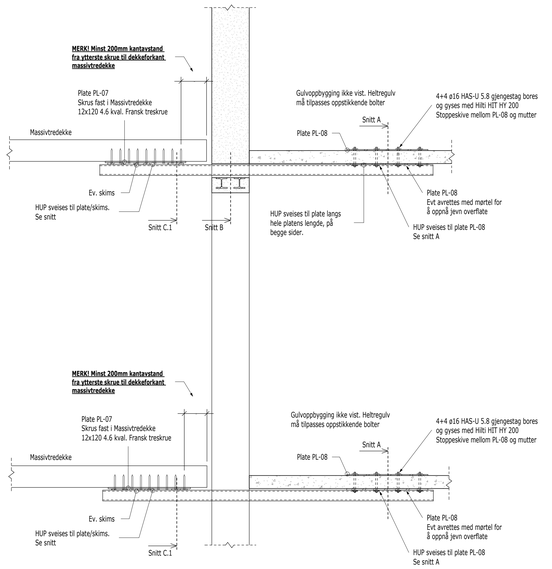
B3



D.o.3. etg. strekk-/trykkstag akse 0
1 : 50



D.o.4. etg. strekk-/trykkstag akse 0
1 : 50



Snitt - Strekk-/trykkstag akse 0
1:20

ANMERKNINGER

Generelt:
Kontrollklasse: Normal
Brannklasse: R90

Alle mål er teoretiske og må kontrollmåles på stedet. Eksisterende konstruksjoner må verifiseres og kontrollmåles.

Plasstøpt Betong:
Utførelsesklasse betong: 2
Toleranseklasse betong: 1 (normal)
Betongkvalitet: B35
Armeringskvalitet: B500NC
Bestandighetsklasse: M60
Kloridklasse: cl0,1
Herdeklasse: 3
Overdekning: 25mm (± 10mm)

Alle synlige hjørner avfases med trekantlekt

Snitt gjennom ny plasstøpt betong

Snitt gjennom eksisterende betong

Utsparinger:
Kjerneboring av utsparinger skal ikke utføres uten skriftlig godkjenning av RIB

Stålkonstruksjoner:
Utførelsesklasse stål: EXC2
Stålkvalitet generelt: S355 (Spesifisert på ståldetalj/ spesifikasjon)
Skruekvalitet: 8.8
Korrosivitetsklasse: C1, hvis annet ikke er angitt
Stålkonstruksjoner brannisoleres iht. brannklasse, eksponert stål brannmales
Alle sveises kilsveises med a=5mm rundt, om ikke annet er spesifisert

Det forutsettes full kontakt mellom nytt stål og eksisterende konstruksjoner. Dersom det er store ujevnheter på plass må det kimses eller støpes med egnet ekspansjonsmørtel for å sikre kontakt.

HENVISNINGER:
BR-xxx - Riveplan
B-xxx - Formtegning

x = 101, 102, 103, etc. avhengig av etasje

BR-200 - Prinsipper og detaljer rivearbeider
BR-300 - Riving av gavlvegger
BR-302 - Riving portrom/dekke
B-200 - Fundamentdetaljer
B-201 - Prinsipper og detaljer nye konstruksjoner
B-300 - Detaljer gavlvegger
B-301-0 - Rammekonstruksjoner - plan
B-301-1 - Rammekonstruksjoner detaljer
B-301-2 - Rammekonstr. akse B.7
B-301-3 - Riverekkefølge akse 0

S-SK-04 - Stålvinkel som skrus fast i MT-dekke
S-SK-05 - Stålkonsoll som støpes inn i vegglåning
S-PL-07 - Plate
S-PL-08 - Plate

Strekk/trykkstag - NB! MÅ KONTROLLMÅLES PÅ STEDET

Profil	Lokasjon	Antall	Lengde	Etasje
HUP 100x100x10	Strekkstag 4. etg.	1	3090	4 etg.
HUP 100x100x10	Strekkstag 4. etg.	1	6000	4 etg.
Strekkstag 4. etg.: 2		2		
HUP 100x100x10	Strekkstag 5. etg	1	3113	5 etg.
HUP 100x100x10	Strekkstag 5. etg	1	6001	5 etg.
Strekkstag 5. etg: 2		2		
Grand total: 4		4		

D.o.3. etg. strekk-/trykkstag akse 7
1 : 50

D.o.4. etg. strekk-/trykkstag akse 7
1 : 50

Snitt - Strekk-/trykkstag akse 7
1:20

Snitt A
1:10

Snitt A.2
1:10

Snitt B - Stag gjennom murvegg
1:10

Snitt C.1
1:10

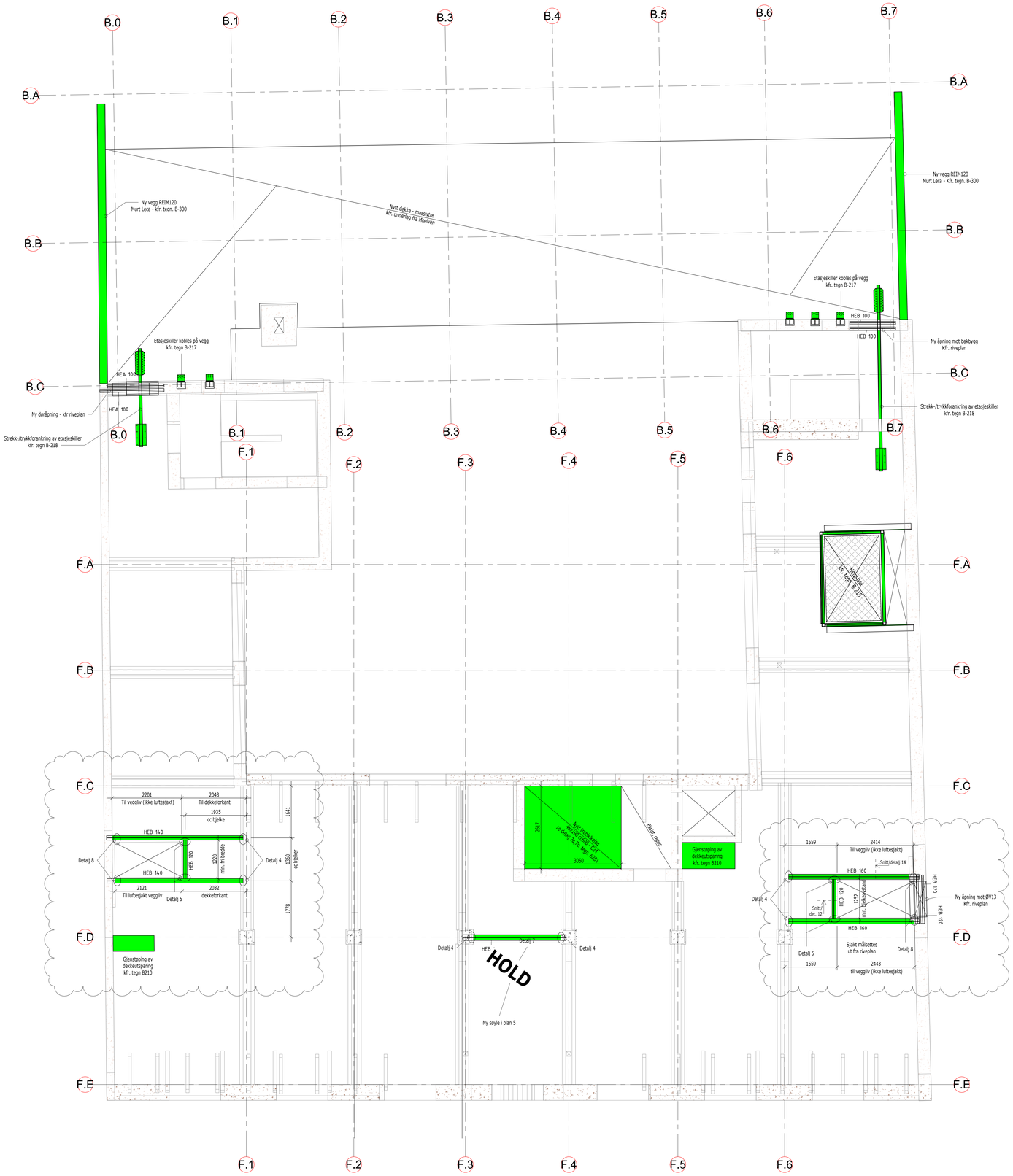
Snitt C.2
1:10

Snitt D
1:10

[redacted]

Vedlegg

B4



Stålbjelker do4 - NB! MÅ KONTROLLMÅLES PÅ STEDET

Profil	Lokasjon	Antall	Lengde	Etasje
HEB 100	Forsterkning over ny døråpning	2	1449	5 etg.
HEB 120	Forsterkning over ny døråpning	2	1530	5 etg.
HEA 100	Forsterkning over ny døråpning	1	1684	5 etg.
HEA 100	Forsterkning over ny døråpning	1	1884	5 etg.
Forsterkning over ny døråpning: 6		6		
HEB 120	Sjakt mot ØV9	1	1360	5 etg.
HEB 140	Sjakt mot ØV9	1	4232	5 etg.
HEB 140	Sjakt mot ØV9	1	4245	5 etg.
Sjakt mot ØV9: 3		3		
HUP 100x100x10	Strekkstag 5. etg	1	3113	5 etg.
HUP 100x100x10	Strekkstag 5. etg	1	5887	5 etg.
Strekkstag 5. etg: 2		2		
HEB 120	Trappesjakt mot ØV13	1	1252	5 etg.
HEB 160	Trappesjakt mot ØV13	2	4125	5 etg.
Trappesjakt mot ØV13: 3		3		
HEB 180	Utvekslingsbjelke trapp 5.etg.	1	3200	5 etg.
Utvekslingsbjelke trapp 5.etg.: 1		1		
Grand total: 15		15		

ANMERKNINGER

Generelt:

Kontrollklasse:	Normal
Brannklasse:	R90

Alle mål er teoretiske og må kontrollmåles på stedet. Eksisterende konstruksjoner må verifiseres og kontrollmåles.

Plasstøpt Betong:

Utførelsesklasse betong:		2
Toleranseklasse betong:		1 (normal)
Betongkvalitet -	Vegger, søyler:	B35
	Dekke:	B30
	Dekke over prosjektrom:	B35
Armeringskvalitet:		B500NC
Bestandighetsklasse:		M60
Kloridklasse:		cl0,1
Herdeklasse:		3
Overdekning:		35mm (± 10mm)

Alle synlige hjørner avfases med trekantlekt

Snitt gjennom ny plasstøpt betong

Snitt gjennom eksisterende betong

Snitt gjennom ny konstruksjon

Betongtak skal ha synlig overflate

Utsparinger:
Kjerneboring av utsparinger skal ikke utføres uten skriftlig godkjenning av RIB

Stålkonstruksjoner:

Utførelsesklasse stål:	EXC2
Stålkvalitet generelt:	S355 (Spesifisert på ståldetalj/ spesifikasjon)
Skruekvalitet:	8.8
Korrosivitetsklasse:	C1, hvis annet ikke er angitt

Stålkonstruksjoner brannisoleres iht. brannklasse, eksponert stål brannmales
Alle sveises kilsveises med a=5mm rundt, om ikke annet er spesifisert

Det forutsettes full kontakt mellom nye stålbjelker og overliggende dekker. Dersom det er store ujevnheter på plass må det kimses eller støpes med egnet ekspansjonsmørtel for å sikre kontakt.

Alle nye stålbjelker som festes i eksisterende betongbjelker skal stå rett i mot betongbjelken (altså 90 grader mellom stålbjelke og betongbjelke)

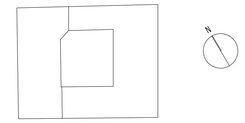
Borrede og gyste jern
Der det oppgis forankringsdybde forutsettes det at det er i betong. Stålplater skal ligge inntil betong. Puss må fjernes lokalt på forhånd.

HENVISNINGER:

BR-xxx	-	Riveplan
B-xxx	-	Formtegning

x = 101, 102, 103, etc. avhengig av etasje

BR-200	-	Prinsipper og detaljer rivearbeider
BR-300	-	Riving av gavlvegger
BR-302	-	Portromsdekke - riving og nye konstr.
B-200	-	Fundamentdetaljer
B-201	-	Prinsipper og detaljer nye konstruksjoner
B-215	-	Heissjakt
B-217	-	Stålvinkler til massivtredekke bakbygg
B-218	-	Strekk-/trykkforankring mellom bakbygg og frontbygg
B-300	-	Detaljer gavlvegger
B-301-1	-	Rammekonstruksjoner - detaljer
B-301-2	-	Rammeknstr. akse B.7
B-301-3	-	Riverekkefølge akse 0
SS-DX	-	Stålsøyler gårdsromsdekke
S-PL-04	-	Fotplate
S-PL-09	-	Fotplate gårdsromsdekke
S-SK-02	-	Knivplate
S-SK-03	-	Bjelkesko
S-SK-04	-	Vinkel bakbygg
S-SK-05	-	Innstøpt vinkel bakbygg
S-SB-01-04	-	Opplegsvinkel limtrebjelke
S-SB-05	-	Innstøpt vinkel
S-SB-06	-	Innstøpt vinkel



[redacted]

Vedlegg

C1

Segment	Snitt	u [mm]	Lk.	v [mm]	Lk.	w [mm]	Lk.	θx [°]	Lk.	θy [°]	Lk.	θz [°]	Lk.	N [kN]	Lk.	Vy [kN]	Lk.	Vz [kN]	Lk.	Mx [kN·m]	Lk.	My [kN·m]	Lk.	Mz [kN·m]	Lk.	
1	0	-0,3	1	0	1	-0,5	1	0	1	0,3	2	0	1	141,61	2	0	1	99,55	2	0	1	149,23	2	0	1	Max
		-0,3	2	0	1	-0,6	2	0	1	0,2	1	0	1	124,39	1	0	1	77,95	1	0	1	116,88	1	0	1	Min
	0,05	-0,2	1	0	1	-3,6	1	0	1	0,6	2	0	1	141,61	2	0	1	94,31	2	0	1	102,29	2	0	1	Max
		-0,2	2	0	1	-4,5	2	0	1	0,4	1	0	1	124,39	1	0	1	73,85	1	0	1	80,13	1	0	1	Min
	0,1	-0,1	2	0	1	-8	1	0	1	0,7	2	0	1	141,61	2	0	1	83,83	2	0	1	60,3	2	0	1	Max
		-0,1	1	0	1	-10,1	2	0	1	0,6	1	0	1	124,39	1	0	1	65,65	1	0	1	47,25	1	0	1	Min
	0,15	0	2	0	1	-13,2	1	0	1	0,8	2	0	1	141,61	2	0	1	73,36	2	0	1	23,25	2	0	1	Max
		0	1	0	1	-16,7	2	0	1	0,6	1	0	1	124,39	1	0	1	57,44	1	0	1	18,23	1	0	1	Min
	0,2	0	2	0	1	-18,7	1	0	1	0,8	2	0	1	141,61	2	0	1	62,88	2	0	1	-6,92	1	0	1	Max
		0	1	0	1	-23,8	2	0	1	0,7	1	0	1	124,39	1	0	1	49,24	1	0	1	-8,87	2	0	1	Min
	0,25	0	2	0	1	-24,1	1	0	1	0,8	2	0	1	141,61	2	0	1	52,4	2	0	1	-28,2	1	0	1	Max
		0	1	0	1	-30,7	2	0	1	0,6	1	0	1	124,39	1	0	1	41,04	1	0	1	-36,04	2	0	1	Min
	0,3	0	2	0	1	-29	1	0	1	0,7	2	0	1	141,61	2	0	1	41,92	2	0	1	-45,61	1	0	1	Max
		0	1	0	1	-36,9	2	0	1	0,5	1	0	1	124,39	1	0	1	32,83	1	0	1	-58,28	2	0	1	Min
	0,35	0	2	0	1	-33,1	1	0	1	0,6	2	0	1	141,61	2	0	1	31,45	2	0	1	-59,15	1	0	1	Max
		0	1	0	1	-42,2	2	0	1	0,4	1	0	1	124,39	1	0	1	24,63	1	0	1	-75,57	2	0	1	Min
	0,4	0	2	0	1	-36,2	1	0	1	0,4	2	0	1	141,61	2	0	1	20,97	2	0	1	-68,83	1	0	1	Max
		0	1	0	1	-46,2	2	0	1	0,3	1	0	1	124,39	1	0	1	16,43	1	0	1	-87,93	2	0	1	Min
	0,45	0	2	0	1	-38,2	1	0	1	0,2	2	0	1	141,61	2	0	1	10,49	2	0	1	-74,64	1	0	1	Max
		0	1	0	1	-48,6	2	0	1	0,2	1	0	1	124,39	1	0	1	8,22	1	0	1	-95,35	2	0	1	Min
	0,5	0	1	0	1	-38,8	1	0	1	0	1	0	1	136,75	2	0	1	0,02	1	0	1	-76,7	1	0	1	Max
		0	1	0	1	-49,5	2	0	1	0	2	0	1	117,45	1	0	1	0,01	2	0	1	-97,9	2	0	1	Min
	0,55	0	1	0	1	-38,2	1	0	1	-0,2	1	0	1	131,89	2	0	1	-8,18	1	0	1	-74,88	1	0	1	Max
		0	2	0	1	-48,6	2	0	1	-0,2	2	0	1	110,5	1	0	1	-10,46	2	0	1	-95,52	2	0	1	Min
	0,6	0	1	0	1	-36,3	1	0	1	-0,3	1	0	1	131,89	2	0	1	-16,39	1	0	1	-69,09	1	0	1	Max
		0	2	0	1	-46,2	2	0	1	-0,4	2	0	1	110,5	1	0	1	-20,94	2	0	1	-88,11	2	0	1	Min
	0,65	0	1	0	1	-33,2	1	0	1	-0,4	1	0	1	131,89	2	0	1	-24,59	1	0	1	-59,43	1	0	1	Max
		-0,1	2	0	1	-42,2	2	0	1	-0,6	2	0	1	110,5	1	0	1	-31,42	2	0	1	-75,77	2	0	1	Min
	0,7	0	1	0	1	-29	1	0	1	-0,5	1	0	1	131,89	2	0	1	-32,79	1	0	1	-45,31	1	0	1	Max
		-0,1	2	0	1	-37	2	0	1	-0,7	2	0	1	110,5	1	0	1	-41,9	2	0	1	-58,49	2	0	1	Min
	0,75	0	1	0	1	-24,1	1	0	1	-0,6	1	0	1	131,89	2	0	1	-41	1	0	1	-28,51	1	0	1	Max
		-0,1	2	0	1	-30,7	2	0	1	-0,8	2	0	1	110,5	1	0	1	-52,37	2	0	1	-36,27	2	0	1	Min
	0,8	0	1	0	1	-18,7	1	0	1	-0,7	1	0	1	131,89	2	0	1	-49,2	1	0	1	-7,25	1	0	1	Max
		0	2	0	1	-23,8	2	0	1	-0,8	2	0	1	110,5	1	0	1	-62,85	2	0	1	-9,11	2	0	1	Min
	0,85	0	1	0	1	-13,2	1	0	1	-0,6	1	0	1	131,89	2	0	1	-57,4	1	0	1	22,99	2	0	1	Max
		0	2	0	1	-16,8	2	0	1	-0,8	2	0	1	110,5	1	0	1	-73,33	2	0	1	17,88	1	0	1	Min
	0,9	0,1	2	0	1	-8	1	0	1	-0,6	1	0	1	131,89	2	0	1	-65,61	1	0	1	60,04	2	0	1	Max
		0,1	1	0	1	-10,1	2	0	1	-0,7	2	0	1	110,5	1	0	1	-83,81	2	0	1	46,87	1	0	1	Min
	0,95	0,2	2	0	1	-3,5	1	0	1	-0,5	1	0	1	131,89	2	0	1	-73,81	1	0	1	102,02	2	0	1	Max
		0,1	1	0	1	-4,5	2	0	1	-0,6	2	0	1	110,5	1	0	1	-94,28	2	0	1	79,74	1	0	1	Min
	1	0,3	2	0	1	-0,5	1	0	1	-0,2	1	0	1	131,89	2	0	1	-77,91	1	0	1	148,93	2	0	1	Max
		0,2	1	0	1	-0,5	2	0	1	-0,3	2	0	1	110,5	1	0	1	-99,52	2	0	1	116,47	1	0	1	Min

Vedlegg

D1

Beregning av vindlast:

$$\boldsymbol{h_{4.etg} = 2,98\ m} \quad ; \quad \boldsymbol{h_{3.etg} = 3,01\ m} \quad ; \quad \boldsymbol{\frac{h}{d}} = \frac{33,237}{10} = \boldsymbol{3,32}$$

$$\boldsymbol{c_{pe,trykk}^{\theta=0^\circ}} = 0,7 + (0,8 - 0,7) * \frac{62^\circ - 60^\circ}{75^\circ - 60^\circ} = \boldsymbol{0,72} \quad ; \quad \boldsymbol{c_{pe,sug}^{\theta=180^\circ} = 0,5}$$

$$\boldsymbol{c_{pe}^{D} = 0,8} \quad ; \quad \boldsymbol{c_{pe}^{E}} = 0,5 + (0,7 - 0,5) * \frac{3,32 - 1}{5 - 1} = \boldsymbol{0,62}$$

$$v_{dekke,4.etg} = 1,5 * 0,64\frac{kN}{m^2} = 0,96\frac{kN}{m^2} * \left(\frac{2,98}{2}(0,72 + 0,5) + \frac{3,01}{2} * (0,8 + 0,62)\right)m$$
$$= 3,8\ kN/m$$

$$v_{dekke,5.etg} = 1,5 * 0,64\frac{kN}{m^2} * (0,72 + 0,5) = 1,17\frac{kN}{m^2} * \left(\frac{2,98}{2} + 3,837\right)m = 6,24\ kN/m$$

Beregning av snølast:

$$b_{last} = 3,5425\ m$$

$$s_k = s_{k,0} = 3,5\frac{kN}{m^2} * \mu_2 = 3,5\frac{kN}{m^2} * 0,8 = 2,8\frac{kN}{m^2} * b_{last} = 10\frac{kN}{m} * 1,5 = 15kN/m$$

Vedlegg

D2

Rammedimensjonering:

Diagonal:

IPE330:

Tversnittsklasse:

h =	330	mm	s =	7,5	mm		
b =	160	mm	t =	11,5	mm		
r =	18	mm	A =	6260	mm^2 =	6,26E-03	m^2

Øvre flens:

EC3, tabell 5.2

$c_f = \frac{b-(2*r+s)}{2} =$ 58,25 mm

Trykk:

$\lambda_f = \frac{c_f}{t_f} =$ 5,07 $\lambda_f \leq 9\varepsilon =$ 8,32 **Trykk: Tversnittsklasse 1**

$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} =$ 0,92

Steg: **Bøyning:**

$c_w = h - 2*t - 2*r =$ 271 mm $\lambda_w \leq 72\varepsilon =$ 66,6 **Bøyning: Tversnittsklasse 1**

$\lambda_w = \frac{c_w}{t_w} = \frac{152}{9,5} =$ 36,13 **Trykk:**

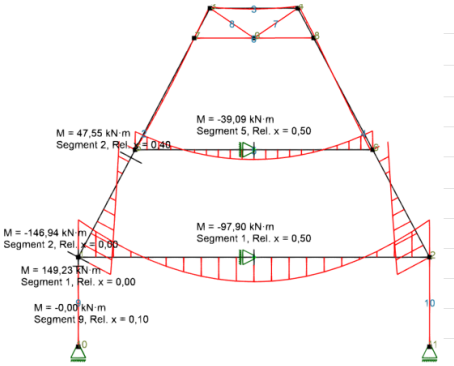
$\lambda_w \leq 42\varepsilon =$ 38,8 **Trykk: Tversnittsklasse 3**

Dimensjonering diagonal for bøyningsmoment ihht. NS-EN 1993-1-1, 6.3.2:

$M_{c,Rd} = W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1 * 713 * 10^3 * \frac{275}{1,05} =$ 186,74 $kNm > M_{Ed}$, OK

$W_{el,y}^{IPE330} =$ 713E+03 mm^3 M_Ed = 146,94 kNm

Brukskap: 0,79



Dimensjonering diagonal for skjær ihht 6.2.6 (5):

$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/(\sqrt{3}\gamma_{M0})} =$ 0,20 , OK

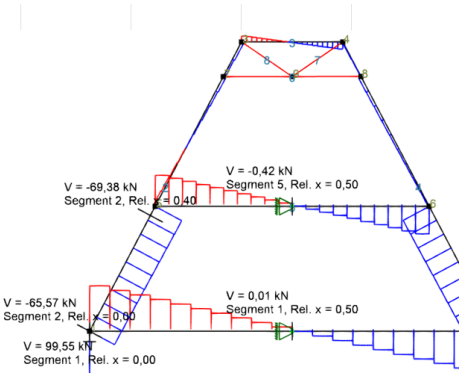
V_Ed = 69,38 kN

V_Ed,k.p = 65,57 kN

$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} =$ 30,13 N/mm^2

$A_w = h_w * t_w = (330 - 2 * 11{,}5) * 7{,}5$

$=$ 2303 mm^2 (Skjærareal)

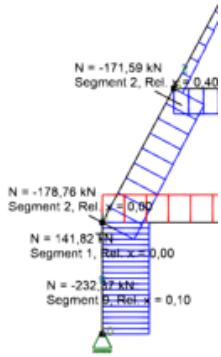


Dimensjonering Bøyeknekking 6.3.1.1 $L_{cr,i} = 0{,}5 * 3250 =$ 1625 mm

$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 2{,}1 * 10^5 * 7{,}88 * 10^6}{1650^2} =$ 6185 kN

I_z = 7,88E+06 *knekkurve b*: α = 0,34

$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{6260 * 275}{6185 * 10\text{^}3}} =$ 0,53



$\Phi_z = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$= 0{,}5[1 + 0{,}32(0{,}53 - 0{,}2) + 0{,}53$

$=$ 0,69

N_Ed = 178,76 kN

$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}69 + \sqrt{0{,}69^2 - 0{,}53^2}} =$ 0,87

$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}87 * 6260 * 275}{1{,}05} =$ 1429,33 kN

$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{178{,}76}{1429{,}33} =$ 0,13

Kontroll Von Mises: **Brukskap:**

$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w} =$ 30,13 N/mm^2 0,81

$\sigma_j = \sqrt{\left(\frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}}\right)^2 + 3 * \tau_{Ed}^2} =$ 212,59 < $\frac{275}{1{,}05} =$ 261,9 OK

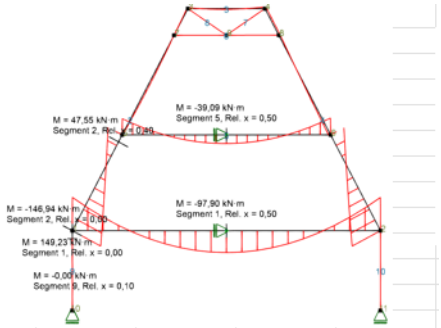
Dimensjonering for vipping 6.3.2: Brukskap = 0,89

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0{,}90 * 713 * 10^3 * \frac{275}{1{,}05} = 168{,}38 \text{ kNm} > M_{ed}$$

$W_{el,y}^{IPE330} =$ 713E+03 mm^3

M_Ed,1 = 47,55 kNm

M_Ed,2 = -149,63 kNm



$$\frac{h}{b} = 2{,}1 > 2{,}0 \Rightarrow knekkurve: b \Rightarrow \alpha_{LT} = 0{,}34$$

$$\Psi = -\frac{47{,}55}{146{,}94} = -0{,}32 \Rightarrow C_{0,1} = 2{,}004 + (2{,}230 - 2{,}004) * \frac{-0{,}32 + \frac{1}{4}}{-\frac{1}{2} + \frac{1}{4}} = 2{,}09$$

$$C_{1,1} = 2{,}341 + (2{,}579 - 2{,}341) * \frac{-0{,}32 + \frac{1}{4}}{-\frac{1}{2} + \frac{1}{4}} = 2{,}408$$

M_z ψ = -1/4	1,0	2,047	2,207	1,65	1,000	0,850	
	0,7L	2,827	3,322	2,40	1,550	0,850	-0,30
	0,7R	1,582	1,748	1,38	0,850	0,700	0,20
	0,5	2,004	2,341	1,75	1,000	0,650	-0,25
M_z ψ = -1/2	1,0	2,331	2,591	1,85	1,000	$1{,}3-1{,}2\psi_i$	-0,70
	0,7L	3,078	3,399	2,70	1,450	$1-1{,}2\psi_i$	-1,15
	0,7R	1,711	1,897	1,45	0,780	$0{,}9-0{,}75\psi_i$	-0,53
	0,5	2,230	2,579	2,00	0,950	$0{,}75-\psi_i$	-0,85

$k_y = 0{,}5$ (*Innspent begge sider i lastplan*)

$k_w = 0{,}7$ (En ende fastholdt mot rotasjon om x – aksen og forhindret i å hvelve, andre ende fastholdt mot rotasjon men fri til å hvelve)

$k_z = 0{,}5$ (*Begge ender fastholdt mot sideveis forskyvning og forhindret rotasjon*)

Last angriper skjærsenter og tversnitt er dobbeltsymmetrisk:

$z_j = 0 \Rightarrow \zeta_j = 0$, $z_g = 0 \Rightarrow \zeta_g = 0$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{EI_w}{GI_T}} = \frac{\pi}{0{,}7 * 2130} * \sqrt{\frac{2{,}1 * 10^5 * 283 * 10^9}{80{,}769 * 10^3 * 199{,}1 * 10^3}} = 0{,}81$$

$I_T =$ 283E+03

$I_w =$ 199,1E+09

L = 7534

I_z = 7,88E+06

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) * k_{wt} = 2{,}35 < \text{C\_1,1}$$

$$\mu_{cr} = \frac{c_1}{k_z} * \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{2{,}51}{0{,}5} * \sqrt{1 + 0{,}81^2} = 6{,}02$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \left(\frac{\pi}{L}\right) * \sqrt{EI_z GI_T} = 488{,}44 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = 0{,}63$$

$$\Phi_{LT} = 0{,}5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}^2_{LT} = 0{,}69$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}^2_{LT}}} = 0{,}90$$

Trykk 6.2.3

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \quad 0{,}11 \text{ Ok}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6260 * 275}{1{,}05} = \quad 1640 \text{ kN}$$

Bjelke-søyle: 6.3.3 (Staver med konstant tversnitt påkjent av bøyning og trykk)

$N_{Rk} = f_y * A = 275 * 6260 =$ 1721,5 kN

$M_{y,Rk} = W_{el,y} * f_y = 713 * 10^3 * 275 =$ 196,075 kNm

$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 2{,}1 * 10^5 * 117{,}7 * 10^6}{1625^2} =$ 92382 kN

$L_{cr,i} = 0{,}5 * 3250 =$ 1625 mm

I_y = 117,7E+06 mm^4

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{6260 * 275}{92382 * 10\text{^}3}} =$ 0,14

$\Phi_y = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$
$= 0{,}5[1 + 0{,}34(0{,}14 - 0{,}2) + 0{,}14^2]$
$=$ 0,50

$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0{,}5 + \sqrt{0{,}5^2 - 0{,}14^2}} =$ 1,02 $\Rightarrow \chi_y =$ 1

$k_{yy} = C_{my}\left(1 + 0{,}6\bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) = 0{,}4\left(1 + 0{,}6 * 0{,}14 * \frac{N_{Ed}}{1 * \frac{1721{,}5}{1{,}05}}\right) =$ 0,48

$\Psi = -0{,}32 \Rightarrow C_{my} = 0{,}6 + 0{,}4 * (-0{,}32) =$ 0,47

$k_{zy} = 0{,}8 * k_{yy} =$ 0,38

6.61): $\frac{N_{Ed}}{1 * \frac{1721{,}5}{1{,}05}} + 0{,}48 * \frac{M_{y,Ed}}{0{,}91 * \frac{196{,}08}{1{,}05}} =$ 0,52

6.62): $\frac{N_{Ed}}{0{,}87 * \frac{1721{,}5}{1{,}05}} + 0{,}38 * \frac{M_{y,Ed}}{0{,}91 * \frac{196{,}08}{1{,}05}} =$ 0,46

Siste sjekk: Plan spenning:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_{el,y}} = \frac{N_{Ed} * 10^3}{6260} + \frac{M_{Ed} * 10^6}{713 * 10^3} =$$ 234,64 N/mm^2

$$\tau_{Ed} = \frac{V * S^{topp}}{I * t} = 65{,}57 * (160 * 11{,}5 * \frac{\left(\frac{330}{2} - \frac{11{,}5}{2}\right)}{I_y * 7{,}5} =$$ 21,77 N/mm^2

$$\tau^{topp} * 11{,}5 = 21{,}77 * 7{,}5$$

$$\Rightarrow \tau^{topp} = 21{,}77 * \frac{7{,}5}{11{,}5} =$$ 14,19 N/mm^2

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 * \tau^2} =$$ 235,93 N/mm^2 < f_y,d OK

Brukskap: 0,90

Søyle:

Dimensjonering for sentrisk trykk, bøyeknekking 6.3.1:

Søyle IPE330:

$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{232,37}{1211,90} =$ 0,19 < 1,0 , kreves ikke påvisning mot knekking for andre elementer siden søyle er kritisk

$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,74 * 6260 * 275}{1,05} =$ 1211,90 kN

h/b = 2,0625

t_f < 40 mm

Knekkurve: z-z: b ⇒ α = 0,34

$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{6260 * 275}{2860 * 10^3}} =$ 0,78

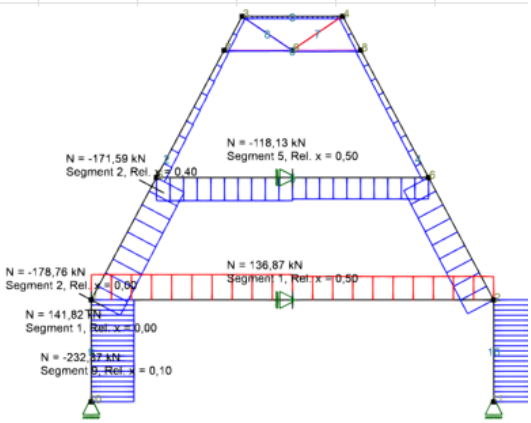
Knekklast:

$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^5 * 7,88 * 10^6 * 10^6}{2390^2} =$ 2859,23 kN

$\Phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$
$= 0,5[1 + 0,34(0,72 - 0,2) + 0,72^2]$
= 0,90

$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,9 + \sqrt{0,9^2 - 0,78^2}} =$ 0,74

A = 6260 mm^2
I_z = 7,880E+06 mm^4



$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$ der $\chi \leq 1,0$

der

$\Phi = 0,5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0,2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$

$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}}$ for tverrsnittsklasse 1, 2 eller 3

$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}$ for tverrsnittsklasse 4

α imperfeksjonsfaktor for gjeldende knekkurve;

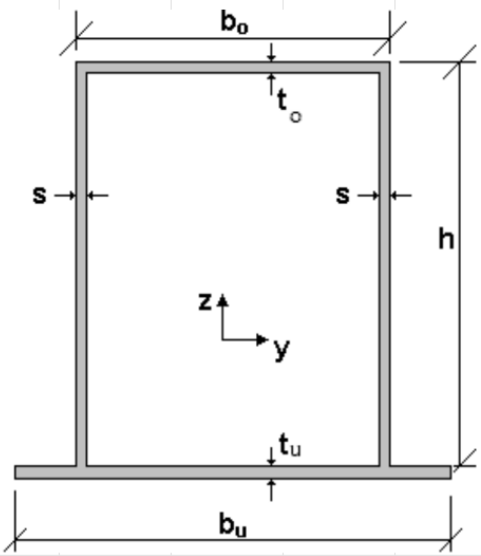
N_{cr} ideell kraft for den tilhørende knekkformen basert på bruttotverrsnittet.

(2) Imperfeksjonsfaktoren α for de ulike knekkurvene er gitt i tabell 6.1 og tabell 6.2.

Tabell 6.1 – Imperfeksjonsfaktor for ulike knekkurver

Knekkurve	a_0	a	b	c	d
Imperfeksjonsfaktor α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

HSQ-Bjelke:



Lastertilfelle			
M_y1	149,24	kNm	
M_y2	**0,109**	**kNm**	**NEGLISJERBAR**
m_y,tot	149,24	kNm	
V_z1	22,31	kN	
V_z2	99,55	kN	
Vz_total	121,86	kN	
N_ed	141,82	kN	
linjelast brudd	22,73	kN/m	
linjelast bruks	16,21	kN/m	

HSQ-bjelke		**Høyde i akse:**	
h_tot	220	bunn	5
B_u	350	steg	115
B_o	135	topp	212,5
h	210		
t_u	10		
t_0	15		
s	7,5		
flenslengde	100		

Klassifisering av tverrsnittdeler påkjent av trykk:				ε =	0,81
C	135				
t	10				
c/t	13,5	$< 72 * \varepsilon =$	58,32		
-> TKL 1					
Klassifisering av flense påkjent av trykk:					
C	100				
t	10				
c/t	10	$< 14 * \varepsilon =$	11,34		
-> TKL 3					

Dimensjonerende tverrsnittskpasitet for trykk:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{141,82}{2933} = 0,05 \text{ OK}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8675 * 355}{1,05} = 2933 \text{ kN}$$

Dimensjonerende moment:

$W_{el}^{min} =$	7,33E+05	mm^3
$M_{el,Rd} =$	247,84	kNm

$$\frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} = \frac{149,24}{247,84} = 0,60 \text{ OK}$$

(5) For I- eller H-profiler kan skjærspenningen i steget settes til:

$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w}$ hvis $A_f / A_w \geq 0{,}6$

der

A_f er arealet av én flens;

A_w er arealet av steget: $A_w = h_w\, t_w$.

Skjærspenning i steget

$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{121{,}86 * 10^3 N}{185 * 7{,}5} =$ 83,32 N/mm^2 (Aw er beregnet etter ett steg)

$\frac{355}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} =$ 195,20 N/mm^2 **Brukskap:** 0,43

(4) For påvisning av tilstrekkelig dimensjonerende elastisk skjærkapasitet $V_{c,Rd}$ kan følgende kriterium bruker for et kritisk punkt i tverrsnittet hvis ikke påvisning mot lokal knekking etter kapittel 5 i NS-EN 1993-1-5 blir avgjørende:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \left(\sqrt{3}\gamma_{M0}\right)} \leq 1{,}0 \qquad (6.19)$$

Dimensjonerende knekkapasitet for stav med sentrisk trykk - Bøyeknekking				
Lengdte midtbjelker		6377	mm	5. etg
Lengde endebjelker		6092	mm	5. etg
Lengde midtbjelker		9089	mm	4. etg
Lengde endebjelker		7378	mm	4. etg
L_cr,z=0,5L	4544,5	mm		
E-modul	2,10E+05			
N_cr,z =	5500,6	kN		
$\overline{\lambda_y}$ = 0,75				
		Brukskap:	0,07	
α = 0,49				
Φ_z = 0,91				
χ_z = 0,69				
N_b,rd,z =	2037,349544	kN	OK!	
N_cr,y =	6,87E+03	kN		
$\overline{\lambda_z}$ = 0,67				
		Brukskap:	0,07	
Φ_y = 0,84				
χ_y = 0,74				
N_b,rd,y =	2180,50	kN	OK!	

Bøyning om hovedaksen:		
Ψ_f =	-0,84	
h_s =	207,5	
I_w =	1,72E+11	
I_T =	4,42E+07	ST.Venants torsjon, lukket boks
k_wt =	6,96E-02	
C_1 =	1,511529313	mindre/lik C_1,1 OK!
μ_{cr} =	3,03	
M_cr =	6716	kNm
W_el,y	7,33E+05	mm^3
$\overline{\lambda_{LT}}$ =	0,20	
Kassetversnitt -> kurve C		
α_LT	0,49	
Φ_LT	0,46	
X_LT	1,11	> 1,0 -> X_LT = 1
-> M_b,rd	247,84	kNm OK!
Modifisert momentkapasitet		
k_c	0,9	
f	0,91	(f skal være mindre eller lik 1,0 OK!)
X_LT,mod	1,23	< 1,0
M_b,rd,mod = M_b,rd		

TORSIONAL SECTION PROPERTIES OF STEEL SHAPES

Canadian Institute of Steel Construction, 2002

Warping Torsional Constant

The warping torsional constant, C_w, measures the resistance of a structural member to *nonuniform* or *warping* torsion. It is used in calculating the buckling moment resistance of laterally unsupported beams and torsional-flexural buckling of compression members in accordance with CSA Standard S16.1-94 (CSA 1994).

For open sections, a general calculation method is given by Galambos (1968). For sections in which all component plates meet at a single point, such as angles and T-sections, a calculation method is given by Bleich (1952). For hollow structural sections (HSS), warping deformations are small, and the warping torsional constant is generally taken as zero.

NS-EN 1993-1-1:2005+A1:2014+NA:2015

(3) Dimensjonerende momentkapasitet mot vipping i en bjelke uten sideveis fastholdelse bør antas til:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \qquad (6.$$

der

W_y er tilhørende tverrsnittsmodul, bestemt som følger:

- $W_y = W_{el,y}$ for tverrsnittsklasse 1 eller 2;
- $W_y = W_{el,y}$ for tverrsnittsklasse 3;
- $W_y = W_{eff,y}$ for tverrsnittsklasse 4.

6.3.2.3 Knekkurver for vipping for valsede profiler eller tilsvarende sveiste profiler

(1) For valsede og tilsvarende sveiste profiler under bøyning kan χ_{LT} bestemmes for tilhørende relativ slankhet $\overline{\lambda}_{LT}$ med følgende formler:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \overline{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{der} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \le 1{,}0 \\ \chi_{LT} \le \dfrac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \qquad (6.57)$$

Kombinert bøyning og trykk				
Interaksjonsfaktorer:				
k_yy =	0,64	Klasse 3	mindre/lik->	1,0551155
k_zy =	0,51	Klasse 3		
μ_y =	0,995			
μ_z =	0,992			
Forholdet mellom endemomenter, 1/1 -> C_my = 0,6 + 0,4*1 = 1 < 0,4 OK!				
C_my	1	0,616		
N_Rk	3079,625	kN		
M_y,Rk	2,60E+02	kNm		
Likning (6.61):		0,50	OK	
Likning (6.62):		0,43	OK	

Interaksjonsfaktorer	Beregningsforutsetninger: elastiske tverrsnittsegenskaper for klasse 3 og klasse 4	plastiske tverrsnittsegenskaper for klasse 1 og klasse 2
k_{yy}	$C_{my}C_{mLT}\frac{\mu_y}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my}C_{mLT}\frac{\mu_y}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}\frac{1}{C_{yy}}$
k_{yz}	$C_{mz}\frac{\mu_y}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz}\frac{\mu_y}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}\frac{1}{C_{yz}}0{,}6\sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$
k_{zy}	$C_{my}C_{mLT}\frac{\mu_z}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my}C_{mLT}\frac{\mu_z}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}\frac{1}{C_{zy}}0{,}6\sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$
k_{zz}	$C_{mz}\frac{\mu_z}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz}\frac{\mu_z}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}\frac{1}{C_{zz}}$

Tilleggsstørrelser:

$\mu_y = \frac{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1-\chi_y\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$

$C_{yy} = 1+(w_y-1)\left[\left(2-\frac{1{,}6}{w_y}C_{my}^2\overline{\lambda}_{max}-\frac{1{,}6}{w_y}C_{my}^2\overline{\lambda}_{max}\right)n_{pl}-b_{LT}\right] \ge \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$

med $b_{LT} = 0{,}5\,a_{LT}\overline{\lambda}_0^2\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT}M_{pl,y,Rd}}\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$

$\mu_z = \frac{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1-\chi_z\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$

$C_{yz} = 1+(w_z-1)\left[\left(2-14\frac{C_{my}^2\overline{\lambda}_{max}}{w_z^5}\right)n_{pl}-c_{LT}\right] \ge 0{,}6\sqrt{\frac{w_z}{w_y}}\frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$

$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \le 1{,}5$

med $c_{LT} = 10\,a_{LT}\frac{\overline{\lambda}_0^2}{5+\overline{\lambda}_z^4}\frac{M_{y,Ed}}{C_{my}\chi_{LT}M_{pl,y,Rd}}$

$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \le 1{,}5$

$C_{zy} = 1+(w_y-1)\left[\left(2-14\frac{C_{my}^2\overline{\lambda}_{max}}{w_y^5}\right)n_{pl}-d_{LT}\right] \ge 0{,}6\sqrt{\frac{w_y}{w_z}}\frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$

$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M0}}$

C_{my} se tabell A.2

med $d_{LT} = 2\,a_{LT}\frac{\overline{\lambda}_0}{0{,}1+\overline{\lambda}_z^4}\frac{M_{y,Ed}}{C_{my}\chi_{LT}M_{pl,y,Rd}}\frac{M_{z,Ed}}{C_{mz}M_{pl,z,Rd}}$

(fortsettes

d to 4846745/2 / 5105561 / 2025-03-31, 15:41 / NS-EN 1993-1-1:2005+A1:2014+NA:2015

Areal midt	8675	mm^2					
Areal ende	7675	mm^2					
fy	355	N/mm2					
Z_NA	93,38	mm					
Y_NA	175	mm					
2. Arealmoment			$\sigma_b = \frac{M}{I_y} * z$		**2. Arealmoment (z-akse)**		
I_1y =	2,74E+07	mm^4			I_1z =	3,57E+07	mm^4
I_2y =	1,23E+07	mm^4	$z_c = \frac{\sum(A_i y_i)}{A} = \frac{S_z}{A}$		I_2z =	8,00E+06	mm^4
I_3y =	2,88E+07	mm^4			I_3z = I_2z =	8,00E+06	mm^4
I_y =	6,85E+07	mm^4	$\overline{I_y} = I_y + d^2 A$		I_4z =	3,08E+06	mm^4
					I_z,tot =	5,48E+07	mm^4
					W_z =	3,13E+05	mm^4
Bidrag fra bøyespenning				**Bidrag fra normalspenning**			
z_topp	126,62	mm		F_x	141,82	kN	
z_bunn	93,38	mm		σ_x	16,35	N/mm^2	
σ_topp	276,06	N/mm^2					
σ_bunn	203,59	N/mm^2					
Bidrag fra skjærspenning:				**Skjærspenning i punkt B (Topp):**			
1. Arealmoment				15*τ_B = τ_topp*7,5			
S_topp	268022	mm^3		-> τ_B =	15,90	N/mm^2	
S_bunn	309326	mm^3		**Skjærspenning i punkt A (Bunn):**			
τ_topp	31,81	N/mm^2					
τ_bunn	55,07	N/mm^2		10*2*τ_A = τ_bunn*7,5			
				-> τ_A =	20,65	N/mm^2	

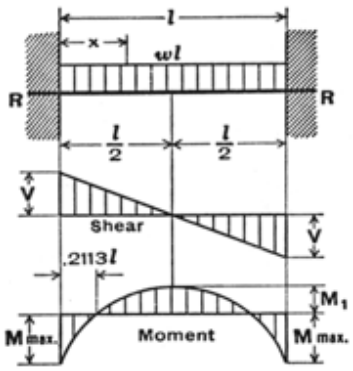
Kontroll-Von Mises kriterium : Generell tverrsnittskapasitet

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 \leq 1$$

		Metodikk fra FOCUS
Kapasitetsutnyttelse i punkt B:	0,75	0,87
Kapasitetsutnyttelse i punkt A:	0,76	0,87

Nedbøyning:			Egenvekt	5,12	kN/m
			Nyttelast	10,72	kN/m
w_g,k	6,33	mm			
w_n,k	13,25	mm			
w_ins	19,58	mm			
virkning av kryp			k_def	0,85	
			trident_2,1	0,3	
w_fin,g	11,71	mm			
w_fin,n	16,63	mm			
w_fin,tot	28,34	mm			
krav	45,45	mm	OK!		

15. BEAM FIXED AT BOTH ENDS—UNIFORMLY DISTRIBUTED LOADS



Total Equiv. Uniform Load . . . . $= \frac{2wl}{3}$

R = V . . . . . $= \frac{wl}{2}$

V_x . . . . . $= w\left(\frac{l}{2} - x\right)$

M max. (at ends) . . . . . $= \frac{wl^2}{12}$

M_1 (at center) . . . . . $= \frac{wl^2}{24}$

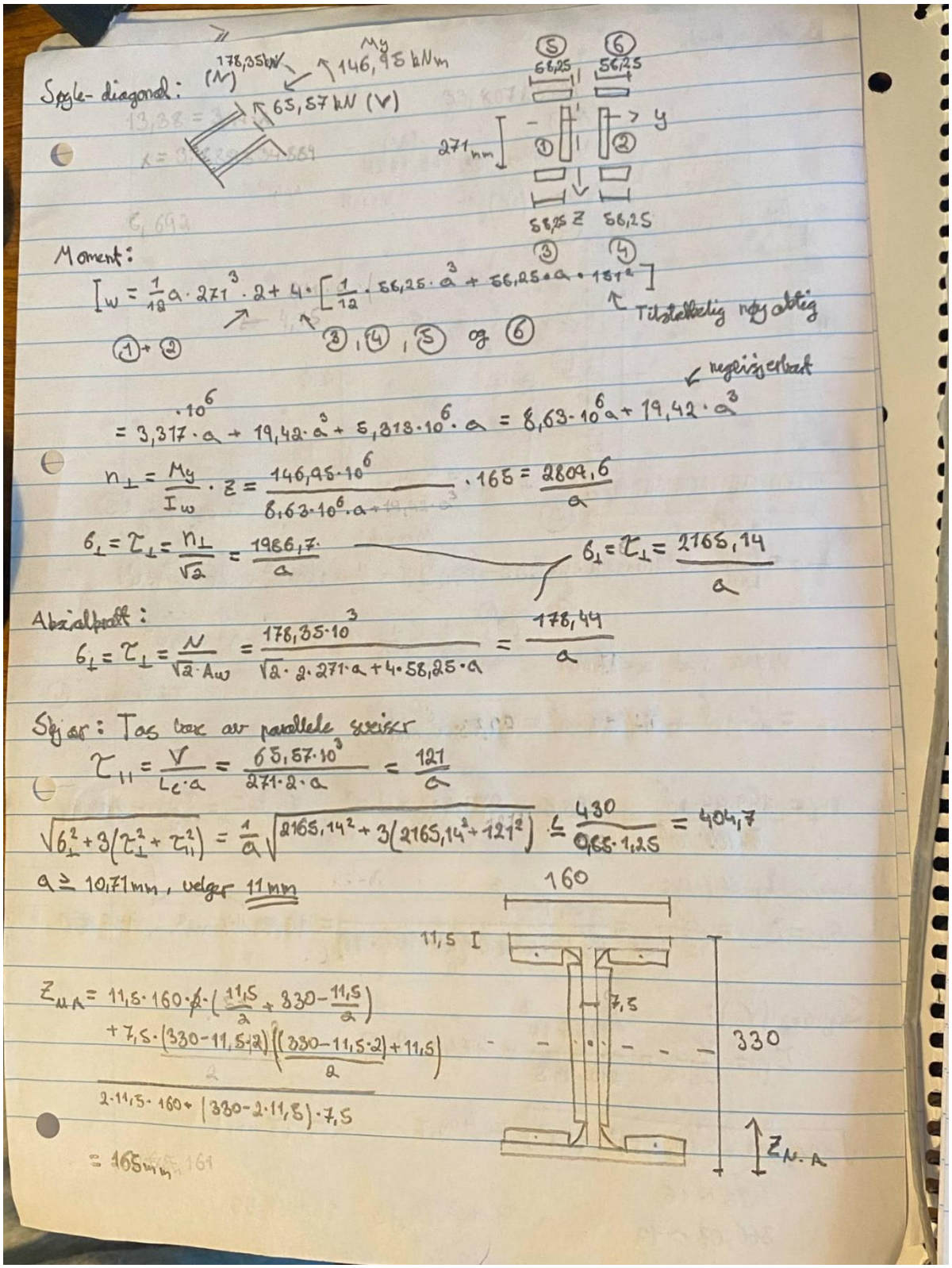
M_x . . . . . $= \frac{w}{12}(6lx - l^2 - 6x^2)$

Δmax. (at center) . . . . . $= \frac{wl^4}{384EI}$

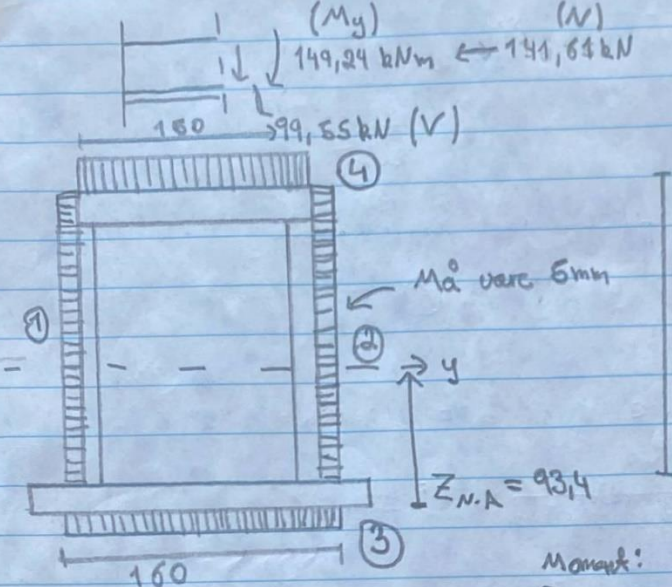
Δ_x . . . . . $= \frac{wx^2}{24EI}(l - x)^2$

Vedlegg
D3

Sveiser:


Skjær-diagonal:
178,35 kN (N)
65,57 kN (V)
146,95 kNm
My
271 mm
56,25
56,25
56,25
56,25
z
y
Moment:
Tilstrekkelig nøyaktig
①+②
③, ④, ⑤ og ⑥
negligerbart
Aksialkraft:
Skjær: Tas bare av parallelle sveiser
160
11,5
330
7,5
$z_{N.A}$

Bjelke - snitt



Tilstrekkelig ③

Moment:

$$I_w = \left[\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 210^3 + 210 \cdot 5 \cdot (105 - 93,4)^2\right] 2 + \frac{1}{12} \cdot 160 \cdot a^3 + 160 \cdot a \cdot 93,4^2$$

① og ②

$$+ \frac{1}{12} \cdot 160 \cdot a^3 + 160 \cdot a \cdot 126,6^2$$

Tilstrekkelig ④

Prøver med a = 17 mm

$$= 8 \cdot 10^6 + 64,73 \cdot 10^6 = 72,83 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$n_\perp = \frac{149,24 \cdot 10^6}{72,83 \cdot 10^6} \cdot 126,6 = 259,42 \text{ N/mm}^2 \qquad \sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{n_\perp}{\sqrt{2}} = 183,44 \text{ N/mm}^2$$

Aksialkraft (N):

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{N}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{141,61 \cdot 10^3}{\sqrt{2}(2 \cdot 5 \cdot 210 + (160 + 150) \cdot 17)} = 12,58 \text{ N/mm}^2$$

197,03

Skjær (V):

$$\tau_{\parallel} = \frac{V}{L_c \cdot a} = \frac{99,55 \cdot 10^3}{210 \cdot 2 \cdot 5} = 47,40 \text{ N/mm}^2$$

$$\sqrt{197,03^2 + 3(197,03^2 + 47,7^2)} \leq 404,7$$

$402,63 \leq 404,7$ Ok!

Bruksgrad: 0,99

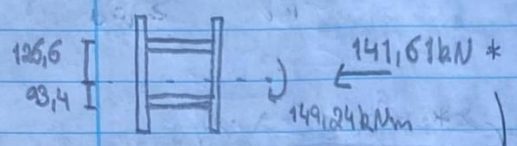
a ved steg er 5mm, mens under og over flenser er 17mm. Kan økes med 1-2mm for ikke side.

Stivere:

NS-EN 1993-1-5

Forenkling:

$F_T = F_C = \frac{Md}{h} = \frac{149{,}24\,kNm}{0{,}220\,m} = 678{,}36\,kN$



Nedre plate: 852,11kN

/ spenning fordelt over nedre flens:

$203\,N/mm^2 \cdot 350 \cdot 10 = 710{,}5\,kN$ *

↑ flens

Tverrstivere ved opplagere (5.3 (3) a)):

Slankhet: $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86{,}4\,t\,\varepsilon}$ (ved opplager)

$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37{,}4\,t\,\varepsilon\sqrt{k_\tau}}$ (ved opplager og mellomliggende tverstivere) *

$h_w = 271\,mm$ (høyde flens)

Bør påvises for skjærknekking hvis:

uavstivet steg: $\frac{h_w}{t} > \frac{72}{\eta}\varepsilon$

→ avstivet steg: $\frac{h_w}{t} > \frac{31}{\eta}\varepsilon\sqrt{k_\tau}$ *2

Skjærkapasitet: 5.1

antar bare nedre plate

*1 $\frac{h_w}{a} = \frac{271}{220} = 1{,}23$ | $\frac{a}{h_w} = 0{,}81$ *1

$a \approx 5 + 220 - 5 = 220$

↑ fra bant pga. stive plate (diag.) ↑ HSQ ↑ midt på nedre plate

hvor: i) $\frac{a}{h_w} > 1{,}0$, $k_\tau = 5{,}34 + 4\left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl}$

*1 ii) $\frac{a}{h_w} < 1{,}0$, $k_\tau = 4 + 5{,}34\left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + k_{\tau sl}$

*2

$\eta = 1{,}2$

$\frac{h_w}{t_w} = \frac{271}{7{,}5} = 36{,}13 < \frac{31}{1{,}2} \cdot 0{,}85 \cdot \sqrt{12{,}08} = 76{,}32$

Ser bort fra $k_{\tau sl}$.

$\varepsilon = \frac{235}{f_y} = 0{,}85$

Trengs ikke påvisning for skjærknekking!

$k_\tau = 4 + 5{,}34 \cdot 1{,}23^2 = 12{,}08$

Stivex

minimum stigtykkelse for å unngå at kompresjonsflensen bøyer seg inn i steget, (EC3 1-5, 8(1)):

$$t_w \geq \left(\frac{h_w}{k}\right)\left(\frac{f_{yf}}{E}\right)\sqrt{\frac{A_{fc}}{A_w}}$$

k	Seksjonsutnyttelse i bøyn.
0,3	Plastisk rotasjon
0,4	Plastisk motstandsm.
0,55	Elastisk motstandsm.

A_{fc} – tverrsnittsareal av trykkflens

A_w – stegets tverrsnittsareal

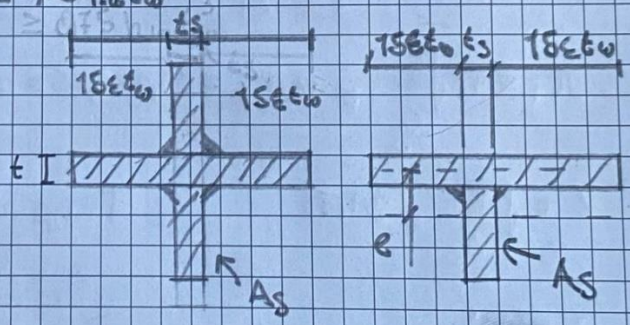
$$7,5 \geq \left(\frac{271}{0,55}\right)\left(\frac{275}{2,1\cdot 10^5}\right)\sqrt{\frac{11,5\cdot 160}{271\cdot 7,5}} = 0,61 \text{, ok}$$

9.3.3 (3) Skjær ved mellomliggende tverrstivex

hvis: $\frac{a}{h_w} < \sqrt{2}$, $I_{st} \geq \frac{1,5\, h_w^3 t_w^3}{a^2}$

$\frac{a}{h_w} \geq \sqrt{2}$ $I_{st} \geq 0,75\, h_w t_w^3$

$$\frac{a}{h_w} = \frac{207,5}{271} = 0,77 < 1,41$$



Effektiv tverrsnitt av stivex

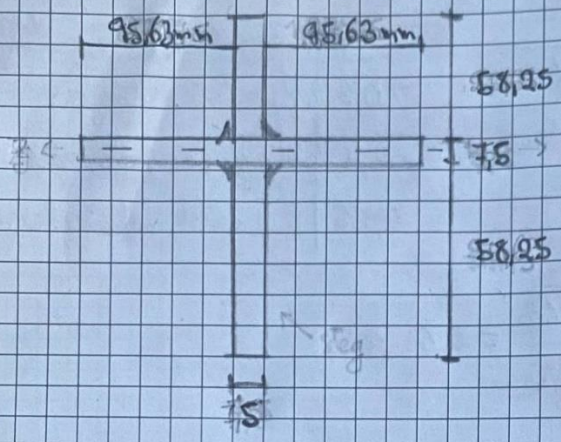
Bøyeknekking påvises etter NS-EN 1993-1-1 (sentrisk trykk)

$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$ L_{cr} kan bli satt til $0,75\, h_w$.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{fy}}{N_{cr}}}$$

Test: 2 plater, $t_s = 5\,mm$, $f_y = 275\,N/mm^3$, $h_s = 58{,}25\,mm$

$15\,\varepsilon\, t_w = 15 \cdot 0{,}85 \cdot 7{,}5 = 95{,}63\,mm$



$$I_{st}^{min} = \frac{1{,}5 \cdot 271^3 \cdot 7{,}5^3}{207{,}5^2} = 0{,}3 \cdot 10^6\,mm^4$$

$$A_s = 2 \cdot 58{,}25 \cdot 5 + (2 \cdot 95{,}63 + 5) \cdot 7{,}5$$

$$= 2054{,}45\,mm^2$$

$$I_{st} = \frac{(2 \cdot 58{,}25)^3 \cdot 5}{12} + \frac{(95{,}63 \cdot 2 + 5) \cdot 7{,}5^3}{12}$$

$$= 0{,}66 \cdot 10^6\,mm^4, \text{ Ok.}$$

Bøyeknekking:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{0{,}75 \cdot 271}{39{,}71} \cdot \frac{1}{79{,}82} = 0{,}00024 < 2.$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93{,}9 \cdot \varepsilon = 93{,}9 \cdot 0{,}85 = 79{,}82$$

$$i = \sqrt{\frac{I_{st}}{A_s}} = 39{,}71$$

Trengs ikke påvisning av bøyeknekking.

Trykk:

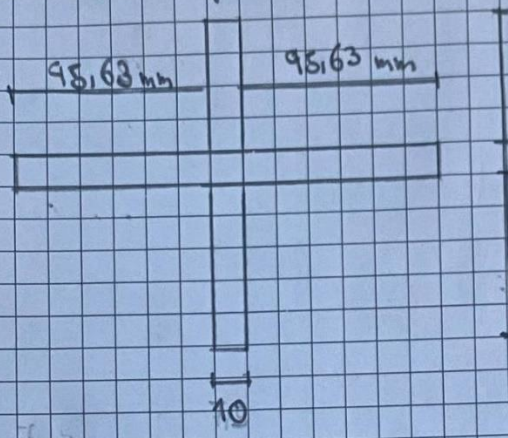
$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2054{,}45 \cdot 275}{1{,}05} = 538\,kN < 852{,}11\,kN.$$

Må øke tykkelse!

Torsjonsknekking:

Ingen torsjon lokalt i stylen.

Test 2: 2 plåter, $t_s = 10$ mm, $f_y = 275 N/mm^2$



$A_s = 2 \cdot 58,25 \cdot 10 + (2 \cdot 95,63 + 10) \cdot 7,5 = 2674,45\ mm^2$

$N_{c,Rd} = \frac{2674,45 \cdot 275}{1,05} = 700,45 < 852,11 kN$

Test 3: $t_s = 15$ mm

$A_s = 2 \cdot 58,25 \cdot 15 + (2 \cdot 95,63 + 15) \cdot 7,5 = 3294,45 kN$

$N_{c,Rd} = \frac{3294,45 \cdot 275}{1,05} = 862,83 > 852,11 kN$ Ok!

Plåtar / fixare 58,25 × 15

Vedlegg
D4

Dimensjonering av skive:

Vertikale planet:

Dekke 5 etg. Massivtre:

Egenlaster:

200mm Massivtre:	$(3*470+2*430)\frac{kg}{m^3}*9{,}81\frac{m}{s^2}*0{,}04m*1m*10^{-3}=$	0,9	kN/m
Tillegg topp:	$20\frac{kg}{m^2}*9{,}81\,m/s^2*1m=$	0,20	kN/m
Tillegg under:	$2*8{,}7\frac{kg}{m^2}*9{,}81\frac{m}{s^2}*1m=$	0,171	kN/m
	Tot:	1,3	kN/m

Nyttelast kontor: $3{,}0\frac{kN}{m^2}*1m=$ 3 kN/m

Variabler:

$l=$	3,630	m	(Lengde mellom dybler med d=12mm)
$f_{m,k}=$	30,5	N/mm^2	
$k_{mod}=$	0,8		
$\gamma_m=$	1,15		
$k_{sys}=$	1,0		ser på en del av dekket / sikker side.
$k_h=$	1,0		
$f_{v,k}=$	4	N/mm^2	

Massivtreelementer med ulike tilleggskonstruksjoner på oversiden. Laboratoriemålte v

Oppbygging av tilleggskonstruksjonen på oversiden av massivtreelementene	Flatevekt tilleggskonstruksjon kg/m²
Tilfaregolv Belegg eller parkett på parkettunderlag Sponplate, 22 mm Mineralull, 75 mm Tilfarer, 48 mm × 73 mm Massivtre, 160 mm	> 20
Golv på tykke flytesjikt av mineralull Parkett på parkettunderlag Golvplate Mineralull, topplag, 20 mm med densitet 190 kg/m³ Mineralull, bunnlag, 130 mm med densitet 90 kg/m³ Massivtre, 160 mm	> 37
Golv på spesielle fjærende sjikt Fjærende sjikt av 80 mm steinull støpeplate eller tilsvarende[1] Sementplate, 20 mm + belegg Mineralull Tilfarer, 48 mm × 98 mm c/c 600 mm Steinull støpeplate eller tilsvarende, 80 mm Massivtre, 160 mm	> 26

Stivheten hver sjikt:

Sjikt	Retning	Tykkelse	Fasthetsklasse	E-modul [N/mm^2]	G-modul [N/mm^2]
1	L	40	T22	13000	810
2	T	40	T15	380	72
3	L	40	T22	13000	810
4	T	40	T15	380	72
5	L	40	T22	13000	810

Beregning av total effektiv bøyestivhet:

Sjikt	E-modul	Tykkelse (h_i) mm	z_i (mm)	$(EI)_A=E_i*b_i*\frac{h_i^3}{12}$	$(EI)_B=b*(E_i*h_i*z_i^2)$	
1	13000	40	80	69333333333	3328000000	
2	380	40	40	2026666667	24320000	
3	13000	40	0	69333333333	0	N.A
4	380	30	40	855000000	18240000	
5	13000	40	80	69333333333	3328000000	
			SUM:	210881666667	6698560000	

Bredde = 1000 mm

Tot. tykkelse = 200 mm

$EI_{eff}=(EI)_A+b*(EI)_b=$ 6,90944E+12 N*mm^2

Effektiv E-modul til element:

$$E_{element}=\frac{(EI)_{eff}}{I}=\frac{(EI)_{eff}}{\frac{1}{12}*b*h^3}=$$ 10364,1625 N/mm^2

Effektiv treghetsmoment:

$$I_{eff}=\frac{(EI)_{eff}}{E_i}\Rightarrow I_{eff,1}=\frac{(EI)_{eff}}{E1}=$$ 531495512,8 mm^4

Effektiv motstandsmoment:

$$W_{eff}=\frac{I_{eff}}{z_{max}}=\frac{I_{eff}}{\frac{h}{2}}=$$ 5314955,128 mm^3

Beregning effektiv skjærstivhet:

Sjikt	G-modul	Tykkelse (h_i)	h/(G*b)
1	810	40	4,93827E-05
2	72	40	0,000555556
3	810	40	4,93827E-05
4	72	40	0,000555556
5	810	40	4,93827E-05

$$S_A = (G\,A)_A \cong \infty$$

$$S_B = (GA)_B = \left[\frac{a^2}{\frac{h_1}{2 \cdot G_1 \cdot b_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i \cdot b_i} + \frac{h_n}{2 \cdot G_n \cdot b_n}}\right]$$

$(a=h_{total}-h_1/2-h_n/2)$	=	160	mm
$S_B = (GA)_B = (GA)_{eff} =$		21159183,67	N

Effektiv skjærmodul til element:

$$G_{element} = \frac{(GA)_{eff}}{a * b} =$$ 132,244898 N/mm^2

Dimensjonerende last:

$$q_d = 1{,}2 * 1{,}3 + 1{,}5 * 3 =$$ 6,01 kN/m

Bøyefasthet:

$$M_d = \frac{q_d * l^2}{8} =$$ 9,9 kNm

Brukskap: **0,09**

$$f_{m,d} = f_{m,g,k} * \frac{k_{mod}}{\gamma_m} * k_{sys} * k_h =$$ 21,22 N/mm^2

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_{eff}} =$$ 1,86 N/mm^2 < f_m,g,d OK

Skjærfasthet:

$$V_z = \frac{ql}{2} = \quad 10{,}91 \text{ kN}$$

$$f_{v,d} = f_{m,g,k} * \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = \quad 2{,}78 \text{ N/mm^2}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} * \frac{11{,}94 * 10^3 N}{1000 * 200} = \quad 0{,}1 \text{ N/mm^2 < fv,g,d OK}$$

Brukskap: **0,03**

Kontroll nedbøyning:

Ved bruk av Skjæranalogi metoden, den maksimale deformasjonen, Δ_{max} på midten av KLT dekke:

- under **jevnt fordelt last w**, kan beregnes som summen av bidrag pga bøyning og skjær:

$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{wL^4}{(EI)_{ef}} + \frac{1}{8} \cdot \frac{wL^2 k}{(GA)_{ef}}$$

Hvor k er skjærkoeffisient formfaktor (for rektangulært tverrsnitt settes k=6/5=1,2)

Deformasjon pga. egenlast, g: L= 3630 mm

$$w_{g,k} = \frac{5}{384} * \frac{1{,}4 * 3940^4}{6{,}9 * 10^{12}} + \frac{1}{8} * \frac{1{,}4 * 3940^2 * 1{,}2}{2{,}11 * 10^7} = \quad 0{,}53 \text{ mm}$$

Deformasjon pga. nyttelast, n:

$$w_{n,k} = \frac{5}{384} * \frac{3{,}0 * 3940^4}{6{,}9 * 10^{12}} + \frac{1}{8} * \frac{3{,}0 * 3940^2 * 1{,}2}{2{,}11 * 10^7} = \quad 1{,}26 \text{ mm}$$

Korttidsdeformasjon karakteristisk last:

w_ins = w_g,k + w_n,k = 1,79 mm < l/200 = 18,15 OK

Langtidsdeformasjon pga. kryp: k_def = 0,85 (Klimaklasse 1)

Ψ_2,1 = 0,3 (B: kontorarealer)

$w_{fin,g} = w_{g,k} * (1 + k_{def}) =$ 0,98 mm

$w_{fin,n} = w_{n,k} * (1 + \Psi_{2,1} * k_{def}) =$ 1,58 mm

w_fin,tot = 2,56 mm < l/200 OK

Vibrasjon ihht. CLT Handbook Canada:

The vibration-controlled span for a CLT floor, with both ends rigidly supported and meeting at least the simple support requirement (e.g. on loadbearing walls, on rigid supporting beams, etc.), can be calculated using the following Equation [1]:

$$L \leq 0.11 \frac{\left(\frac{(EI)_{eff}}{10^6}\right)^{0.29}}{m^{0.12}} \qquad [1]$$

where:

L = vibration-controlled span limit (m). It should be the clear span measured from face to face, of the two end supports;

m = linear mass of CLT for a 1-m wide panel (kg/m). See producer's specifications;

$(EI)_{eff}$ = effective bending stiffness in the major strength direction for a 1-m wide panel (N-mm^2). See producer specifications, product standard (ANSI/APA, 2018) or calculated in accordance with accepted mechanics method such as specified in CSA Standard O86-14 Updates 1 & 2 with CLT design guidance (CSA, 2016; CWC, 2017), or in Chapter 3 of this Handbook.

$$L \leq 0{,}11 * \frac{\left(\frac{6{,}909 * 10^{12}}{10^6}\right)^{0{,}29}}{(128{,}2)^{0{,}12}} = \quad 5{,}91404438 \text{ m} > L = 3{,}63 \text{ m OK}$$

m = 128,2 kg/m

f = fundamental natural frequency of a 1-m CLT panel simply supported (Hz);

L = CLT floor vibration-controlled span (m);

$(EI)_{app}$ = apparent stiffness in the major strength direction for a 1-m wide panel (N-m^2);

ρ = mass density of the CLT panel (kg/m^3);

A = area of cross-section of a 1-m wide CLT panel = thickness x 1.0 m width (m^2).

$$f = \frac{3.142}{2L^2}\sqrt{\frac{(EI)_{app}}{\rho A}}$$

Further simplification led to an approximation for $(EI)_{app}$ by assuming:

$(EI)_{app} = 0.9(EI)_{eff}$

$$f = \frac{3{,}142}{2 * 3{,}63^2} * \sqrt{\frac{0{,}9 * 6{,}909 * 10^{12} * 10^{-6}(N * m^2)}{128{,}2}} = \quad 26{,}26 \text{ Hz} > 8 \text{ Hz, OK}$$

$$d = \frac{1000\, pL^3}{48\,(EI)_{app}} \qquad [B.3]$$

where:

d = static deflection at mid-span of the 1-m wide simply supported CLT panel under a 1-kN load (mm);

P = 1000 (N).

(Står feil i håndbok, 1000 skal ikke være der)

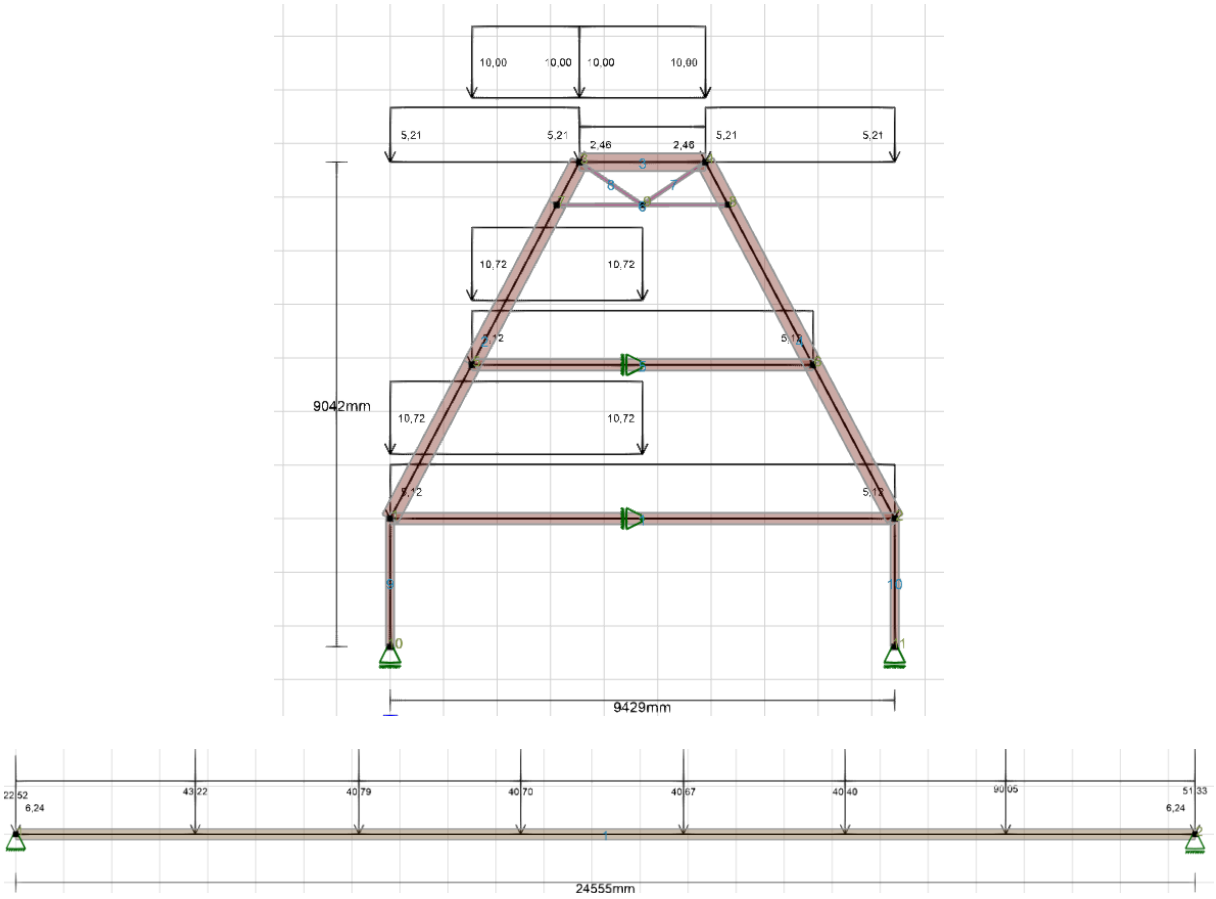
$$d = \frac{PL^3}{48(EI)_{app}} = \frac{1000N * (3630\,mm)^3}{48 * 0{,}9 * 6{,}909 * 10^{12} Nmm^2} = \quad 0{,}16 \text{ mm} < 2{,}74 \text{ mm, OK}$$

vibrasjonskriterium (human acceptancy criterion)

$$\frac{f}{d^{0.7}} \geq 13.0 \text{ or } d \leq \frac{f^{1.43}}{39.0}$$

$$d \leq \frac{26{,}26^{1{,}43}}{39} = \quad 2{,}74 \text{ mm}$$

Horisontale planet:



Krefter innad i planet								
						M_max =	1457,39	kNm
lengde bygg	24,555	m	bredde =	5,886	m	V_max =	239,54	kN
Skjevstillingslast som punktlast ved hver bjelke:						$N_c = N_T = \frac{M_{maks}}{b} =$	247,60	kN

Snitt	B.0	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5	B.6	B.7
F_i [kN]	22,52	43,22	40,79	40,70	40,67	40,40	90,05	51,33
q_vind [kN/m]	6,24							
cc,lvl	3,74	3,405	3,37	3,39	3,365	3,345	3,94	

Az =	232,04	kN	Bz =	290,87	kN

	V_Ed [kN]	v skjærstrøm (kN/m)	v_f (hver skrue)
B.0	209,52	35,60	5,34
B.1	186,18	31,63	4,74
B.2	121,72	20,68	3,10
B.3	59,90	10,18	1,53
B.4	-42,63	-7,24	-1,09
B.5	-104,03	-17,67	-2,65
B.6	-214,96	-36,52	-5,48
B.7	-239,54	-40,70	-6,10

Bøyning: (Antar halvårslast)

T22: $f_{m,d} = f_{m,k} * \frac{k_{mod}}{\gamma_m} * k_{sys} = 30,5 * \frac{0,8}{1,15} * 1,0 =$ 21,22 N/mm^2

$W_{min} = \frac{M_d}{f_{m,d}} = \frac{1457,39 * 10^6}{21,22} =$ 68688463 mm^3

$W_{xy,net} = \frac{(2 * 40) * 5886^2}{6} =$ 461933280 mm^3

Brukskap: 0,15

Dekke 5. etg.

b = 0,2 m

h = 5,886 m

$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_d}{W_{dekke}} =$ 3,15 N/mm^2

Skjær etter svensk KL-trehåndbok:

$\tau_{v,xy,d} = \frac{3}{2} * \frac{V_{xy,d}}{A_{x,net}} \leq f_{v,090,xlay,d} = k_{mod} * \frac{f_{v,090,xlay,k}}{\gamma_m}, x\ (elementretning), y\ (kraftretning)$

For T22: $f_{v,d} = f_{v,k} * \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 4 * \frac{0,8}{1,15} =$ 2,78 N/mm^2

$\tau_{v,xy,d} = \frac{3}{2} * \frac{239,54 * 10^3}{5886 * (40 * 3) * 0,67 - (38 * 10 * 120)} =$ 0,84 N/mm^2 < $f_{v,d}$

(Sprekkfaktor **0,67** etter EK5, forminsket areal pga. skruer)

Brukskap: 0,30

Med nyttelast og egenlast som virker på toppen av dekke, vil vi få spenninger
I 2 forskjellige akser.

Kombinerte laster i horisontal og vertikal plan:

2 kritiske punkt: x=24,555m og x=13,59m. l,dekke = 3,94 m

x=24,555m:

Vertikal lastpåkjenning:			Fastheter:		
Vz =	11,84	kN			
$\tau_{v,yz,d}$ =	0,13	N/mm^2	$f_{v,d}$ =	2,78	N/mm^2
My =	11,66	kNm			
$\sigma_{m,y,d}$ =	2,2	N/mm^2/m	$f_{m,d}$ =	21,22	N/mm^2
Horisontal lastpåkjenning:					
Vy =	239,54	kN			
$\tau_{v,xy,d}$ =	0,85	N/mm^2	$f_{v,d}$ =	2,78	N/mm^2
Mz =	0	kNm			
$\sigma_{m,z,d}$ =	0,00	N/mm^2	$f_{m,d}$ =	21,22	N/mm^2

(6.23): $\frac{0}{19,52} + 0,7 * \frac{2,64}{21,22} =$ 0,10 < 1,0

(6.24): $0,7 * \frac{0}{17,08} + \frac{2,64}{21,22} =$ 0,07 < 1,0

(3) I alle andre tilfeller må spenningene, som vil øke på grunn av utbøyning, oppfylle følgende betingelser:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \quad (6.24)$$

– rektangulære tverrsnitt: $k_m = 0,7$;
– andre tverrsnitt: $k_m = 1,0$.

l = 3,39 m

x=13,59m:

Vertikal lastpåkjenning:			Fastheter:		
Vz =	10,19	kN			
$\tau_{v,yz,d}$ =	0,11	N/mm^2	$f_{v,d}$ =	2,78	N/mm^2
My =	8,63	kNm			
$\sigma_{m,y,d}$ =	1,6	N/mm^2/m	$f_{m,d}$ =	21,22	N/mm^2
Horisontal lastpåkjenning:					
Vy =	0	kN			
$\tau_{v,xy,d}$ =	0,00	N/mm^2	$f_{v,d}$ =	2,78	N/mm^2
Mz =	1457,39	kNm			
$\sigma_{m,z,d}$ =	3,15	N/mm^2	$f_{m,d}$ =	21,22	N/mm^2

(6.23): $\frac{1,6}{19,52} + 0,7 * \frac{3,15}{21,22} =$ 0,18 < 1,0

(6.24): $0,7 * \frac{1,6}{19,52} + \frac{3,15}{21,22} =$ 0,20 < 1,0

Generell spenningstilstand:

Generell spenningstilstand: $\sigma_M = \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2) - (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$

x=24,555: $\sqrt{\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}}\right)^2 - (0)^2 + 3 * \left(\left(\frac{\tau_{v,xy,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{v,yz,d}}{f_{v,d}}\right)^2\right)} =$ 0,54 OK

x=13,59: $\sqrt{\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{md}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{md}} * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{md}}\right) + 3 * \left(\frac{\tau_{v,yz,d}}{f_{v,d}}\right)^2} =$ 0,15 OK

Vedlegg

D5

Forbindelser i skive:

CLT og HSQ-flens:

Prøver d= 10 mm

$(Belastet\ ende)\ a_{3,t}(90°) = \max(7d; 80mm) =$	80	mm
$(Ubelastet\ ende)\ a_{3,c} = (1 + 6 * \sin(90)) * \mathrm{d} =$	70	mm
$a_2 = 4d =$	40	mm
$(Belastet\ kant)\ a_{4,t} = \mathrm{maks}(2 + 2 * \sin(90)) * \mathrm{d}; 3\mathrm{d} =$	40	mm
$(Ubelastet\ kant)\ a_{4c} = 5d =$	50	mm

Velger: L = 5886 mm

$a_{3,t}$ = 80 mm

5886-2*150=5586, 5586/37=151, prøver 150

a_2 = 150 mm

150*37=5550, 5586-5550=36, 36/2=18

$a_{4,t}$ = 168 mm

Vi får 2*168+37*150=5886, OK

$a_{4,c}$ = 168 mm

Hullkantfasthet 1.0:

$f_{h,1,k} = 0{,}082 * (1 - 0{,}01d) * 390 =$ 28,78 N/mm^2

$f_{h,\alpha,1,k} = \frac{28{,}78}{1{,}5 * \sin^2(90°) + \cos^2(90°)} =$ 19,19 N/mm^2

$k_{90} = 1{,}35 + 0{,}015 * 10 =$ 1,5

$M_{y,Rk} = 0{,}3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0{,}3 * 490 * 12^{2,6} =$ 95546 Nmm

$f_{u,k} =$ 800 N/mm^3

$F_{ax,Rk,1} = \frac{n_{ef} * f_{ax,k} * d * l_{ef} * k_d}{1{,}2 * \cos^2(\alpha) + \sin^2(\alpha)} =$ 249869 N

$f_{ax,k} = 0{,}52 * 10^{-0{,}5} * 50^{-0{,}1} * 390^{0{,}8} =$ 13,15 N/mm^2

$\frac{d_1}{d} = \frac{6{,}2}{10} =$ 0,62

$k_d = \min\left(\frac{d}{8}; 1{,}0\right) =$ 1

$N_{u,Rd}\ (Stålplate) = \frac{0{,}9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} =$ 373800 N

$F_{ax,Rk} = \min(F_{ax,Rk,1}; N_{u,Rd}) = F_{ax,Rk,1} * \frac{1}{4 * n_{ef}} =$ 1644 N (EN SKRUE)

Hullkantfasthet 1.1 (Bruddformer):

$t_1 =$ 50 mm (Inntrengningsdybde)

$c: F_{v,Rk} = 19{,}19 * 120 * 8 =$ 14391 N

$$d: F_{v,Rk} = 19{,}19 * 120 * 8 \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 53487}{19{,}19 * 120^2 * 8}}\right] + \frac{1644}{4} =$$ 10207 N

$$e: F_{v,Rk} = 2{,}3 * \sqrt{53487 * 19{,}19 * 8} + \frac{1644}{4} =$$ 13705 N

TYKK PLATE: Ser bare på c, d og e.

(Knekkform "d" kritisk).

$n_{ef} = n_{90} =$ 38 stk

$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} * F_{v,Rk} =$ 387,88 kN

$$F_{v,Rd} = F_{v,ef,Rk} * \frac{k_{mod}}{\gamma_m} =$$ 248,24 kN

$$F_{ax,Rd} = F_{ax,Rk} * \frac{k_{mod}}{\gamma_m} =$$ 159,92 kN

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 = 0 + \left(\frac{239{,}54}{280{,}91}\right)^2 =$$ 0,93 < 1,0

Sideplate:

Design av stålplate			
E_stål	210	GPa	
G_stål	81	GPa	
E_tre	11	GPa	
t_clt	200	mm	
n_clt	5	(antall lag)	
n_aktiv	3	(aktive lag)	
t_aktiv	120	mm	
areal av aktive deler i CLT			
antar bredde av aktivt areal =		200	mm
A_clt	24000	mm^2	
$E_{clt} * A_{clt} \geq E_{plate} * A_{plate}$			
A_plate ≥	1257,14286	mm^2	
høyde_plate	198	mm	
tykkelse_plate	10	mm	
A_plate	1980	mm^2	

Forbindelse, sideplate

Skrueparametere - SW-W

L	lg	tfix	d_h	d_i	dh
140	80	60	10	6,2	25

Vinkel mellom kraft og fiberretning	0	
vinkel mellom skrueakse og fiberretning	90	
Bidrag til kapasiteten fra taueffekten av johansens flyteleddteori:		0,25

k_{90}	1,35+0,015*d	1,5	(karakteristisk)	
f_h,0,k	26,568			
f_h,k	17,712	MPa		
f_ax,k	12,2	N/mm^2	(Info fra produsent)	20,393903
f_tens,k	33,8	kN		
M_y,rk	43700	Nmm		
toleranse for hulldiameter		1	mm	

karakteristisk avtrekkskapasitet

l_ef=l_g	80
t1	

[-4]

1. 6mm<10<12 OK
2. 0,6 <6,2/10 < 0,75 OK

k_d	1
n_ef	1
F_ax,0,RK1	8,1333333 kN

SWW – Characteristic Parameters

Reference	Characteristic Parameters				
	$M_{y,k}$ [Nmm]	$f_{ax,k}$ [N/mm²]	$f_{tens,k}$ [kN]	$f_{tor,k}$ [Nm]	$f_{head,k}$ [N/mm²]
SWW6.0	10500	13,0	12,3	11,0	16,1
SWW8.0	25900	12,6	23,7	27,4	10,5
SWW10.0	43700	12,2	33,8	48,9	10,2

$f_{ax,k}$ is the characteristic withdrawal parameter for timber with a characteristic density of 350 kg/m³

$f_{head,k}$ is the characteristic head pull through parameter for timber with a characteristic density of 350 kg/m³ at max. 15 mm embedment.

Ratio of the characteristic torsional strength to the mean insertion moment: $f_{tor,k} / R_{tor,mean} \geq 1,5$

Aksiallastkapasitet			
F_t,Rk	33,8	kN	
Fax,rk/4	2,0333333	kN	
Bruddformer	[N]		
Modul a	5667,84		
Modul b	4526,708	**Dimensjonerende**	
Modul c	14169,6		
Modul d			
rotledd	0,4677205		
hele	8660,7452		
Modul e	9870,2998		
klassifisering av plate			
TYKK -> større enn eller lik d + tolaranse 1mm			
F_plate	247,60	kN	
n_hull			
F_v,Rk,plate	4,526708	kN	
F_v,Rd,plate	2,8970931	kN	
->F_plate/(n_hull*F_v,RD,plate)=1			
->n_hull	85,46594		

minimumsavstander for skruer		
a_1	50	mm
a_2	40	mm
a_3,t	80	mm
a_3,c	ikke aktuell	
a_4,t	30	
a_4,c	ikke aktuell	
cc_plate	50	mm

Kontinuitet langs forbindelse LVL og CLT

Kontinuitet langs gulv			
f_c,0,d	**16,64**	**N/mm^2**	
f_t,0,d	14,08	N/mm^2	
f_c,0,d,lvl	22,4	N/mm^2	
f_t,0,d,lvl	**22,4**	**n/mm^2**	
bredde_clt	3,94	m	
tykkelse_lvl	0,04	m	
bredde_lvl	0,175	m	(halve LVL-platen)
q_d	6,01		
M_snitt	9,3296836	kNm	
F_lvl	46,648418		
F_lvl må være mindre eller lik F_t,0,d * A_lvl =		156,8	kN OK

$$F_{lvl} \leq f_{t,0,d} * b_{lvl} * t_{lvl} \tag{4.13}$$

$$M_{lvl} = \frac{q_d \, b_{mt}^2}{10} \tag{4.14}$$

$$\begin{cases} F_{lvl} - F_1 = 0 \\ M_{lvl} = F_1 * \left(t_{tot} - \frac{t_1}{2} - \frac{t_{lvl}}{2} \right) \end{cases} \tag{4.15}$$

$$F_1 = f_{c,0,d} * b_{lvl} * t_1 \tag{4.16}$$

Parametere fra produsent (Strongtie):

ESCRFTC – Range Overview

Reference	Dimensions [mm]				
	d	l	l_g	d_h	d_i
ESCRFTC8.0X120	8.0	120	110	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X140	8.0	140	130	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X160	8.0	160	150	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X180	8.0	180	170	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X200	8.0	200	190	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X220	8.0	220	210	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X240	8.0	240	230	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X260	8.0	260	250	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X280	8.0	280	270	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X300	8.0	300	290	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X350	8.0	350	340	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X400	8.0	400	390	15.0	5,2
ESCRFTC8.0X450	8.0	450	427	15.0	5,2
ESCRFTC10.0X120	10.0	120	108	18.5	6,1
ESCRFTC10,0X160	10.0	160	148	18.5	6,1
ESCRFTC10.0X180	10.0	180	168	18.5	6,1
ESCRFTC10.0X200	10.0	200	188	18.5	6,1
ESCRFTC10.0X220	10.0	220	208	18.5	6,1
ESCRFTC10.0X240	10.0	240	228	18.5	6,1
ESCRFTC10.0X260	10.0	260	248	18.5	6,1
ESCRFTC10.0X280	10.0	280	268	18.5	6,1
ESCRFTC10.0X300	10.0	300	288	18.5	6,1
ESCRFTC10.0X350	10.0	350	338	18.5	6,1
ESCRFTC10.0X400	10.0	400	388	18.5	6,1
ESCRFTC10.0X450	10.0	450	426	18.5	6,1
ESCRFTC12.0X200	12.0	200	180	20.0	6,8
ESCRFTC12.0X220	12.0	220	200	20.0	6,8
ESCRFTC12.0X240	12.0	240	220	20.0	6,8
ESCRFTC12.0X260	12.0	260	240	20.0	6,8
ESCRFTC12.0X280	12.0	280	260	20.0	6,8
ESCRFTC12.0X300	12.0	300	280	20.0	6,8
ESCRFTC12.0X350	12.0	350	330	20.0	6,8
ESCRFTC12.0X400	12.0	400	380	20.0	6,8
ESCRFTC12.0X450	12.0	450	430	20.0	6,8
ESCRFTC12.0X500	12.0	500	480	20.0	6,8
ESCRFTC12.0X600	12.0	600	580	20.0	6,8

ESCRFTC – Characteristic Parameters

Reference	Characteristic Parameters					
	$M_{y,k}$ [Nmm]	$f_{ax,k}$ [N/mm²]	$f_{tens,k}$ [kN]	$f_{tor,k}$ [Nm]	$f_{head,k}$ [N/mm²]	$f_{y,k}$ [N/mm²]
ESCRFTC8.0	20300	13,1	24,1	25,8	12,4	950
ESCRFTC10.0	36700	12,5	40,0	55,0	12,2	950
ESCRFTC12.0	48500	11,2	46,7	73,0	10,3	950

$f_{ax,k}$ is the characteristic withdrawal parameter for timber with a characteristic density of 350 kg/m³

$f_{head,k}$ is the characteristic head pull through parameter for timber with a characteristic density of 350 kg/m³ at max. 15 mm embedment.

Ratio of the characteristic torsional strength to the mean insertion moment: $f_{tor,k} / R_{tor,mean} \geq 1,5$

SW Solid Wood

Use Solid Wood to make your calculations.

Go to solidwood.strongtie.eu

Design av skruer - kobling mellom LVL plate og CLT elementer					
Skrueparametere - ESCRFTC					
L	lg		d_h	d_i	dh
200	188		12	6,8	20
Vinkel mellom kraft og fiberretning				0	
vinkel mellom skrueakse og fiberretning				90	
Bidrag til kapasiteten fra taueffekten av johansens flyteleddteori:					0,25
k90_clt	1,35+0,015*d		1,53	(karakteristisk)	
k90_lvl	1,30+0,015*d		1,48		
f_h,0,k	31,0288				
f_h,1,k	20,280261	MPa	t1	70	mm
			t2	40	mm
f_h,2,k	20,965405	MPa			
beta	0,9673203				
f_ax,k	11,2	N/mm^2			
f_tens,k	46,7	kN			
M_y,rk	48500	Nmm			
f_t,0,k,lvl	35	MPa			

karakteristisk avtrekkskapasitet								
l_ef=l_g	188							
t1								
[-4]								
1. 6mm<8<12 OK								
2. 0,6 <5,2/8 < 0,75 OK								
kd	1							
			k_mod	0,8				
n_ef	1		gamma_frb	1,25				
F_ax,0,RK1	21,056	kN	karakteristisk aksial uttrekskapasitet					
			F_ax,Rd=F_ax,rk*k_mod/gamma_forbindelse				13,47584	kN
Aksiallastkapasitet			lengde fra forbindelse til forbindelse i lengste clt-spenn					3,78
F_t,Rk	46,7		Aksiallast på hver bjelke		11,3589			
Fax,rk/4	5,264	kN	Skruer fordelt på bjelkespenn			0,109		
			dimensjonerende aksialkraft på hver skrue				1,2381201	kN
Bruddformer tre mot tre [N]								
Modul a	17035,42							
Modul b	10063,395							
Modul c	5837,8441							
Modul d	6629,7175							
Modul e	4493,4238							
Modul f	5540,8158							

klassifisering av plate					
TYKK -> større enn eller lik d + tolaranse 1mm					
F_lvl	46,648418	kN	f_t,0,d*b_lvl*t_lvl		
n_hull					
F_v,Rk,lvl	4,4934238	kN	-> F_v,Rd	2,8757913	kN
->F_lvl/(n_hull*F_v,RD,lvl)=1					
->n_hull	10,381486				
minimumsavstander for skruer					
a_1	60	mm			
a_2	48	mm			
a_3,t	84	mm			
a_3,c	ikke aktuell				
a_4,t	36				
a_4,c	ikke aktuell				
cc_lvl	60	mm			

Vedlegg
D6

Branndimensjonering:

Påvisning av brannmotstand - IPE330			
M_Ed	6,8	kNm	
V_Ed	3,9	kN	
N_Ed	13	kN	
R90 A2-s1,d0 [A90]			
Q_k,1	10,93	kN/m	(nyttelast i brannsituasjon)
G_k	5,21	kN/m	(Egenlast i brannsituasjon)
n_fi	0,65	(anbefalt verdi)	
densitet	7850	kg/m^3	
A	6260	mm^2	
γ_M,fi	1	(anbefalt verdi)	
μ_0 =	0,004909		
Kritisk temperatur			
Θ_a,cr	1281,961	*C	
k_{sh} = 0,9*[A_m/V]$_b$/[A_m/V] =	0,686803		
[a_m/V]$_b$ = (2*h+2*b)/V	152,8419		
→ $k_{sh} * \frac{A_M}{V}$	137,5577		
Θ_a	1004	*C	

$$\theta_{a,cr} = 39{,}29 \ln\left[\frac{1}{0{,}9674\,\mu_0^{3.833}} - 1\right] + 482 \qquad (4.21)$$

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}};\ \mu_0 \geq 0{,}013 \qquad (4.22)$$

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} * E_d \wedge R_{fi,d,0} = \frac{Af_y}{\gamma_{M,fi}} \qquad (4.23)$$

Påvisning av brannmotstand - HSQ (antatt ubeskyttet)					
M_Ed	149,23	kN			
V_Ed	99,55	kN			
N_Ed	141,82	kN			
Q_k,1	10,93	kN/m			
G_k	5,21	kN/m			
η_fi	0,65	(anbefalt verdi)			
densitet	7850	kg/m^3			
A	8675	mm^2			
γ_M,fi		1	(anbefalt verdi)		
μ_0	0,02993				
k_{sh}	1	(konservativt for lukkede profiler iht. EC3-1-2)			
A_m/V	131,412				
$k_{sh} * \frac{A_M}{V}$	131,412				
Kritisk temperatur					
Θ_a,cr		1010,37	°C	OK	
Θ_a		1004	°C	OK	