



Kunnskap for en bedre verden

# Bacheloroppgave

**IB303312 Bacheloroppgave Bygg**

**Studenttorget**

10006 - 10013 - 10038

Totalt antall sider inkludert forsiden: 361

Ålesund, 20.05.2019



# Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

| Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6: |   |                                     |
|---|---|-------------------------------------|
| 1.  | Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2.  | Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"><li>• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.</li><li>• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.</li><li>• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.</li></ul> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3.  | Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. <a href="#">Universitets- og høgskoleloven</a> §§4-7 og 4-8 og <a href="#">Forskrift om eksamen</a> §§14 og 15.  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4.  | Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se <a href="#">Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver</a>  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5.  | Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det foreligger mistanke om fusk etter <a href="#">høgskolens studieforskrift §31</a>  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6.  | Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av <a href="#">kilder og referanser på biblioteket sine nettsider</a>   | <input checked="" type="checkbox"/> |

# Publiseringsavtale

**Studiepoeng: 20**

**Veileder:** Kristian Normann, universitetslektor NTNU i Ålesund.

## Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)). Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning. Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

Ja  Nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

Ja  Nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

Ja  Nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

Ja  Nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13](#)/[Fvl. §13](#))

Dato: 20.05.2019



## FORORD

Denne bacheloroppgaven er utført på NTNU i Ålesund av tre studenter som alle har spesialisert seg i konstruksjon. Vi har hatt stor lærdom av oppgaven og ønsker at alle som leser den også skal forstå litt mer.

Bacheloroppgaver har som hovedhensikt å være en eksamensform på 20 studiepoeng. Det vil si at det forventes en innsats fra oss som skriver den og at det forventes at vi klarer å tolke resultatene.

Vi valgte å utføre denne oppgaven som et prosjekt i massivtre og limtre og sammenligne kostnad og miljø mot et lignende bæresystem i hulldekke og stål. Massivtre går for å være et miljøvennlig produkt og er blitt en mer kjent byggemetode de siste årene. Flere bygg settes opp i massivtre og enkelte kjemper til dels om å være det høyeste. Vi hadde derfor et ønske om å lære om massivtre – vi tenkte vi fikk en fordel videre i arbeidslivet ved å ha fordypet oss i en byggemetode som blir stadig mer brukt.

Gjennom bekjente kom vi i kontakt med Norconsult AS. Opprinnelig kunne de ikke tilby oss dette prosjektet som vi endte opp med. Heldigvis tok veilederen vår ved Norconsult AS, Christoffer Nilsen, kontakt med Studentsamskipnaden i Trondheim som eide prosjektet. Slik fikk vi et prosjekt som var både spennende, utfordrende og tidsaktuelt.

Vi har hatt forholdsvis tre faste arbeidsplasser: hovedsakelig på Norconsult, dernest på Ålesund Kunnskapspark sine arealer på Norsk Maritimt Kompetansesenter og NTNU Ålesund. Planen var å rullere på arbeidsoppgavene, men mot slutten ble vi mer fastlåste og utførte de oppgavene vi kunne best.

Vi ønsker å takke Jostein Wengstad, prosjektleder i fylkeskommunen Møre og Romsdal, for befaringen på Romsdal videregående skole. Samme takk går til Aleksander Male, anleggsleder Veidekke ASA, og Mikkel Engvoll, monteringsleder Woodcon AS, for befaringen på Jendem skole.

En takk går selvsagt til Kristian Normann for veiledningen.

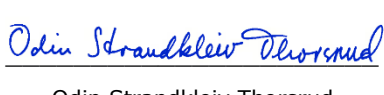
Takk til Christoffer, Terese, Magnus og resten på Norconsult for god hjelp.

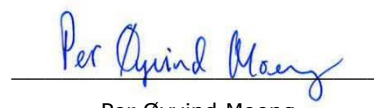
Ikke minst ønsker vi å takke hverandre for et semesters arbeid som har gått uten store indre problemer og som definerer slutten på tre års ingeniørutdanning.

Takk!

Ålesund 20.05.2019

  
Håvard Toreli Sylte

  
Odin Strandkleiv Thorsrud

  
Per Øyvind Moeng



## SAMMENDRAG

NTNU i Ålesund ønsker å gjøre campus til et attraktivt område. Et steg i denne retningen er å bygge Studenttorget. Studenttorget skal være et lokale hvor studentliv, organisasjonsarbeid og rekreasjon smelter sammen. Derfor er torget planlagt med hybler, kontorer og festlokaler – kloss inntil skolen.

Vår bacheloroppgave tar for seg dimensjoneringen av råbygget i massivtre og limtre. Entreprenørbransjen går for å være en konservativ bransje hvor nye metoder og byggematerialer skal forskes mye på før det blir tatt i bruk. Siden endringer ofte tas på bakgrunn av økonomi, velger vi å sammenligne kostnader av bygget opp mot et tilsvarende bygg i stål og hulldekke. Vi har også valgt å se på miljøaspektet.

Studenttorget er et stort og avansert bygg. Vi har sett det nødvendig å avgrense oppgaven til ikke å ta hensyn til akustikk og brann i dimensjoneringen. Vi har også gjort enkelte antakelser og forenklinger for beregningene. Planløsningene var enda på skissestadiet og vi bestemte oss for å bruke arkitektens tredje utkast.

I tillegg til håndberegninger har vi brukt Calculatis fra Stora Enso til å dimensjonere massiv- og limtreelementene. Betongelementene har vi hentet fra tabeller og vi har beregnet utvalgte stålelementer. Det er av tidsmessige årsaker benyttet like fundamenteringer og sjakter på begge byggene og disse er derfor heller ikke tatt med i kostnadsberegningene.

Dessverre kunne ikke vi sammenligne beregningene våre med konstruksjonsprogrammer som FEM-Design og Focus Konstruksjon. Konstruksjonen viste seg å være tidskrevende å modellere opp, samt at vi fikk to uventede krasj ved bruk av Focus, så vi bestemte oss for å ikke utføre statistisk analyse av hele bygget.

Trekonstruksjoner har lang tradisjon i Norge – fra moderne boliger i lett bindingsverk til praktfulle stavkirker. Massivtrebygninger kan føre tradisjonen videre, og bokstavelig talt til nye høyder. Ved å binde sammen lameller blir massivtreelementer sterkere og mer durabelt materiale enn vanlig konstruksjonsvirke, og elementene gir raskere byggetid siden de kommer som moduler.

Vi har samlet inn kunnskap om massivtre gjennom befaringer til et prosjekt som allerede var ferdig og tatt i bruk, i tillegg til et under byggefasen. Henholdsvis Romsdal videregående skole og Jendem skole. Utenom dette er litteratur hentet fra NTNUs bibliotek og nettsøk.

Våre kostnadsberegninger har kun tatt hensyn til de bærende konstruksjonselementene: dekker, søyler, bjelker og vegger. Vi har ikke tatt plaststøpt betong med i beregningen. Vi har inkludert et påslag på 11 % og montering – prisene er ekskludert merverdiavgift.

Vi kan konkludere med at Studenttorget oppført i massivtre og limtre vil være 30 % dyrere, men 50 % mer miljøvennlig enn et tilsvarende i hulldekke og stål.



# INNHold

|   |             |
|---|-------------|
| <b>FORORD</b>   | <b>V</b>    |
| <b>SAMMENDRAG</b>                                       | <b>VII</b>  |
| <b>FIGURLISTE</b>                                       | <b>XI</b>   |
| <b>TABELLISTE</b>                                       | <b>XII</b>  |
| <b>TERMINOLOGI</b>                                      | <b>XIII</b> |
| BEGREPER  | XIII        |
| SYMBOLER  | XIV         |
| FORKORTELSER  | XVI         |
| <b>1 INNLEDNING</b>                                     | <b>1</b>    |
| 1.1 BAKGRUNN  | 1           |
| 1.2 FORMÅL OG PROBLEMSTILLING                           | 2           |
| 1.3 AVGRENSNINGER                                       | 2           |
| 1.4 RAPPORTENS OPPBYGGING                               | 2           |
| <b>2 TEORETISK GRUNNLAG</b>                             | <b>4</b>    |
| 2.1 TREVIRKE SOM KONSTRUKSJONSMATERIALE                 | 4           |
| 2.1.1 <i>Massivtreelementer</i>                         | 5           |
| 2.1.2 <i>Fordeler og ulemper med massivtre</i>          | 8           |
| 2.1.3 <i>Bæresystem og avstiving</i>                    | 10          |
| 2.1.4 <i>Produksjon av massivtre</i>                    | 12          |
| 2.1.5 <i>Limtre</i>                                     | 13          |
| 2.3 BETONG SOM KONSTRUKSJONSMATERIALE                   | 15          |
| 2.3.1 <i>Anvendelse</i>                                 | 15          |
| 2.3.2 <i>Oppbygging og kvalitet</i>                     | 15          |
| 2.3.3 <i>Egenskaper</i>                                 | 16          |
| 2.3.4 <i>Prosjektering av betongkonstruksjoner</i>      | 17          |
| 2.3.5 <i>Hulldekke</i>                                  | 17          |
| 2.4 STÅL SOM KONSTRUKSJONSMATERIALE                     | 21          |
| 2.5 TILGJENGELIGHET                                     | 22          |
| 2.6 LYD   | 23          |
| 2.6.1 <i>Luftlydisolasjon</i>                           | 23          |
| 2.6.2 <i>Trinnlydisolasjon</i>                          | 24          |
| 2.6.3 <i>Lydegenskaper massivtre</i>                    | 24          |
| 2.7 BRANN   | 27          |
| 2.7.1 <i>Myndighetskrav</i>                             | 28          |
| 2.7.2 <i>Brannteknisk prosjektering</i>                 | 28          |
| 2.7.3 <i>Branncelle og -seksjoner</i>                   | 29          |
| 2.7.4 <i>Brannteknisk dimensjonering</i>                | 30          |
| 2.7.5 <i>Brannsikkerhet massivtre</i>                   | 30          |
| 2.8 MILJØ   | 33          |
| 2.8.1 <i>«Gode bygg for eit betre samfunn»</i>          | 33          |
| 2.8.2 <i>Byggenæringen og global oppvarming</i>         | 33          |
| 2.8.3 <i>Grønne tak</i>                                 | 34          |
| 2.8.4 <i>Fjernvarme</i>                                 | 37          |
| 2.8.5 <i>Mulige miljøtiltak</i>                         | 38          |
| 2.9 KOSTNAD   | 40          |
| 2.9.1 <i>Massivtre vs hulldekke og stål</i>             | 40          |
| 2.10 PROSJEKTERING                                      | 42          |
| 2.10.1 <i>Prosjekteringsstandarder</i>                  | 42          |
| 2.10.2 <i>Pålitelighetsdifferensiering</i>              | 42          |
| 2.10.3 <i>Differensiering av prosjekteringskontroll</i> | 44          |
| 2.10.4 <i>Dimensjonering massivtreelementer</i>         | 44          |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.10.5   | <i>Fukt</i>                                   | 45        |
| 2.10.6   | <i>Byggetekniske detaljer massivtre</i>       | 46        |
| 2.11     | LASTBEREGNING                                 | 50        |
| 2.11.1   | <i>Laster</i>                                 | 50        |
| 2.11.2   | <i>Faktorer</i>                               | 53        |
| 2.11.3   | <i>Partialfaktormetoden</i>                   | 54        |
| 2.11.4   | <i>Bruddgrensetilstand</i>                    | 54        |
| 2.11.5   | <i>Bruksgrensetilstand ved dimensjonering</i> | 54        |
| <b>3</b> | <b>MATERIALER OG METODE</b>                   | <b>55</b> |
| 3.1      | LITTERATURINNSAMLING                          | 55        |
| 3.2      | VALG AV PROGRAMVARER                          | 56        |
| 3.3      | PROGRAMVARER                                  | 57        |
| 3.3.1    | <i>Autodesk Revit</i>                         | 57        |
| 3.3.2    | <i>FEM-Design</i>                             | 59        |
| 3.3.3    | <i>Synchro Pro</i>                            | 60        |
| 3.3.4    | <i>Focus Konstruksjon</i>                     | 60        |
| 3.3.5    | <i>Calculatis</i>                             | 61        |
| 3.3.6    | <i>AutoCAD</i>                                | 61        |
| 3.3.7    | <i>Mathcad</i>                                | 62        |
| 3.3.8    | <i>Zotero</i>                                 | 62        |
| 3.3.9    | <i>Excel</i>                                  | 62        |
| 3.4      | METODE  | 63        |
| 3.4.1    | <i>Fremgangsmåte</i>                          | 63        |
| 3.4.2    | <i>Reliabilitet og validitet</i>              | 64        |
| <b>4</b> | <b>RESULTATER</b>                             | <b>65</b> |
| 4.1      | BEFARINGER                                    | 65        |
| 4.1.1    | <i>Romsdal videregående skole</i>             | 65        |
| 4.1.2    | <i>Jendem skole</i>                           | 65        |
| 4.2      | DIMENSJONERING                                | 67        |
| 4.2.1    | <i>Vindlast</i>                               | 67        |
| 4.2.2    | <i>Jordskjelv</i>                             | 67        |
| 4.2.3    | <i>Avstivende skive i massivtre</i>           | 67        |
| 4.2.4    | <i>Lastberegning</i>                          | 68        |
| 4.2.5    | <i>Fagverk i limtre</i>                       | 68        |
| 4.2.6    | <i>Kjellervegg</i>                            | 68        |
| 4.2.7    | <i>Fundament</i>                              | 69        |
| 4.2.8    | <i>Stålbjelke og stålsøyle</i>                | 69        |
| 4.2.9    | <i>Kontroll av Calculatis-beregning.</i>      | 70        |
| 4.3      | KOSTNAD                                       | 71        |
| 4.4      | MILJØ   | 72        |
| <b>5</b> | <b>DRØFTING</b>                               | <b>73</b> |
| 5.1      | VALG AV BÆRESYSTEM                            | 73        |
| 5.2      | DIMENSJONERING                                | 73        |
| 5.3      | KOSTNAD                                       | 73        |
| 5.4      | MILJØ   | 75        |
| 5.5      | MISLYKKEDE PROGRAMVARER                       | 76        |
| 5.5.1    | <i>FEM-Design</i>                             | 76        |
| 5.5.2    | <i>Focus konstruksjon</i>                     | 76        |
| <b>6</b> | <b>KONKLUSJON</b>                             | <b>77</b> |
| <b>7</b> | <b>REFERANSER</b>                             | <b>78</b> |
|          | <b>VEDLEGG</b>                                | <b>83</b> |

## FIGURLISTE

|   |    |
|---|----|
| FIGUR 1.1: OMRÅDET MERKET MED RØDT ER OMRÅDET HVOR STUDENTTORGET SKAL PLASSERES. FOTO: ALEKSANDER HESSEN OG ANDERS OKSAVIK. | 1  |
| FIGUR 2.1: SPIKRET KANTSTILT ELEMENT (BYGGFORSK.NO)   | 5  |
| FIGUR 2.2: DYBLET KANTSTILT ELEMENT (BYGGFORSK.NO)  | 5  |
| FIGUR 2.3: LIMT KANTSTILT ELEMENT (BYGGFORSK.NO)  | 6  |
| FIGUR 2.4: TVERRSPENT KANTSTILT ELEMENT (BYGGFORSK.NO)  | 6  |
| FIGUR 2.5: KRYSSLAGT ELEMENT (BYGGFORSK.NO)   | 6  |
| FIGUR 2.6: EKSEMPEL PÅ HULROMSELEMENTER (BYGGFORSK.NO): A) PARALLELE LAMELLER B) KRYSSSENDE LAMELLER                        | 7  |
| FIGUR 2.7: EKSEMPEL PÅ ULIKE OVERFLATER (NORSKMASSIVTRE.NO)   | 8  |
| FIGUR 2.8: ELEMENTET KAN TA OPP STORE PUNKTLASTER. REDIGERT (SINTEF.NO)   | 9  |
| FIGUR 2.9: FUKTSIKRING MED TELTBASERT SYSTEM (TU.NO)  | 10 |
| FIGUR 2.10: LAMELLER LIMES OG PRESSES (LEDINEK.COM)   | 12 |
| FIGUR 2.11: ELEMENTER KUTTET OG FRESES (VENSTRE: NOVATOP-SYSTEM.CZ, HØYRE: CLT.INFO)  | 12 |
| FIGUR 2.12: ENKEL FREMSTILLING AV TYPISK BLANDEFORHOLD FOR BETONG (WIKIPEDIA.ORG)   | 15 |
| FIGUR 2.13 TVERRSNITT AV HULLDEKKE 265 MM (DEKKESYSTEMER.NO)  | 17 |
| FIGUR 2.14: EKSEMPEL PÅ FORANKRING LANGS HULLDEKKE FOR OVERFØRING AV KREFTER (DEKKESYSTEMER.NO)                             | 18 |
| FIGUR 2.15: EKSEMPEL PÅ FORANKRING PÅ ENDEN AV HULLDEKKE FOR OVERFØRING AV KREFTER (DEKKESYSTEMER.NO)                       | 18 |
| FIGUR 2.16: HD-DIAGRAM (NORELEMENT, 2017)   | 20 |
| FIGUR 2.17: EKSEMPEL PÅ STÅLPROFILER (BYGGFORSK.NO)   | 21 |
| FIGUR 2.18: ETASJESKILLEROPPBYGNINGER MED GITT LYDVERDI (WOODCON.NO)  | 25 |
| FIGUR 2.19: SKILLEVEGGOPPBYGNINGER MED GITT LYDVERDI (WOODCON.NO)   | 26 |
| FIGUR 2.20: EKSEMPEL PÅ EKSTENSIVT GRØNT TAK. FOTO: UMB (HENTET FRA GRØNNE TAK, SINTEF BYGGFORSK 2012)                      | 35 |
| FIGUR 2.21: EKSEMPEL PÅ SEMI-INTENSIVT TAK. FOTO: ILP/UMB (HENTET FRA GRØNNE TAK, SINTEF BYGGFORSK 2012)                    | 36 |
| FIGUR 2.22: EKSEMPEL PÅ INTENSIVT GRØNT TAK. FOTO: SINTEF BYGGFORSK (HENTET FRA GRØNNE TAK, SINTEF BYGGFORSK 2012)          | 36 |
| FIGUR 2.23: OPPBYGGING AV BGREEN-IT TAKHAGE (BYGGROS.NO, HENTET 27.03.2019)   | 37 |
| FIGUR 2.24: THE WIND TREE (NEW WORLD WIND, 2018)  | 38 |
| FIGUR 2.25: W + W BY ROCA   | 39 |
| FIGUR 2.26: SAMMENFØYNING ELEMENTSKJØT MED KRYSSFINERLASK (TREFOKUS.NO)   | 47 |
| FIGUR 2.27: ELEMENTSKJØT MED SKJULT KRYSSFINERLASK (TREFOKUS.NO)  | 47 |
| FIGUR 2.28: SAMMENFØYNING MASSIVTREELEMENTER (TREFOKUS.NO)  | 47 |
| FIGUR 2.29: SAMMENFØYNING MASSIVTREEDEKKE MOT MASSIVTREEVEGG (TREFOKUS.NO)  | 47 |
| FIGUR 2.30: MASSIVTREEVEGG MOT MASSIVTREEVEGG (TREFOKUS.NO)   | 48 |
| FIGUR 2.31: MASSIVTREEVEGG MOT MASSIVTREEVEGG, SKRÅ SKRUER (TREFOKUS.NO)  | 48 |
| FIGUR 2.32: INNFESTING MASSIVTREEDEKKE MOT BETONG, 1 (TREFOKUS.NO)  | 49 |
| FIGUR 2.33: INNFESTING MASSIVTREEDEKKE MOT BETONG, 2 (TREFOKUS.NO)  | 49 |
| FIGUR 3.1: SKJERMDUMP FRA AUTODESK REVIT. VISER HVILKE EGENSKAPATTRIBUTTER  | 57 |
| FIGUR 3.2: BÆREAKSER I REVIT  | 58 |
| FIGUR 3.3: 3D-MODELL AV BÆRESYSTEM I REVIT  | 58 |
| FIGUR 3.4: INNGANGSMENYEN TIL FEM-DESIGN  | 59 |
| FIGUR 3.5: FØRSTE MØTE MED FEM-DESIGN.  | 59 |
| FIGUR 3.6: ILLUSTRASJON AV SYNCHRO PRO. WWW.SYNCHRO.LTD.COM   | 60 |
| FIGUR 3.7: KALKULERING AV EN BJELKE.  | 61 |
| FIGUR 3.8: RØD STREK INDIKERER EKSENTRISITET.   | 64 |

## TABELLISTE

|  |    |
|--|----|
| TABELL 2.1: TYKKELSE, EGENVEKT, EKSPONERINGSKLASSE OG BRANNKLASSE HULLDEKKE (NORELEMENT, 2017)   | 19 |
| TABELL 2.2: RISIKOKLASSER OG TYPISKE EKSEMPLER   | 29 |
| TABELL 2.3: BRANNKLASSER GITT AV RISIKOKLASSER OG ANTALL ETASJER.  | 29 |
| TABELL 2.4: INNBRENNINGSFASTHET PÅ TVERS AV FIBERRETNING FOR ULIKE TREPRODUKTER (MOELVEN.NO)   | 31 |
| TABELL 2.5: TEKNISK DATA FOR BGREEN-IT TAKHAGER (BYGGROS.NO, HENTET 27.03.2019)  | 37 |
| TABELL 2.6: SAMMENLIKNING AV KOSTNADER FOR BÆRESYSTEMER I TRE MED BÆRESYSTEMER I PLASSTØPT OG PREFABRIKERT BETONG. KOSTNADER INKLUDERER KUN KOSTNADER I KONTO 2 JF. STANDARD KONTOPLAN. (SKULLESTAD, 2016) | 40 |
| TABELL 2.7: KONSEKVENSKLASSER (NS-EN 1990, 2016)   | 43 |
| TABELL 2.8: KONSTRUKSJONER MED TILHØRENDE PÅLITELIGHETSKLASSER (NS-EN 1990, 2016)  | 43 |
| TABELL 2.9: KRAV TIL KONTROLLFORMER (NS-EN 1990, 2016)   | 44 |
| TABELL 2.10: BRUKSKATEGORIER (STANDARD NORGE, 2008A)   | 51 |
| TABELL 2.11: NYTTELAST PÅ GULV, TRAPPER OG BALKONGER I BYGNINGER (STANDARD NORGE, 2008A)   | 51 |
| TABELL 2.12: KARAKTERISTISK SNØLAST $S_{k0}$ FOR NORDRE SUNNMØRE (NS-EN 1991-1-3)  | 52 |
| TABELL 2.13: REFERANSEVINDHASTIGHET $V_{B0}$ FOR ÅLESUND OG NOEN ANDRE KOMMUNER (NS-EN 1991-1-4)   | 52 |
| TABELL 3.1: LITTERATURTYPEN  | 55 |
| TABELL 3.2: PROGRAMVARER   | 56 |



## TERMINOLOGI

### Begreper

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Aksiallast            | Belastning som virker i elementets retning.                                   |
| Anisotrop             | Fysiske egenskaper i flere retninger.   |
| Automatisering        | Prosess for endring av manuelle oppgaver til maskinstyrt.                     |
| Branncelle            | Bygningsdel hvor brann kan utvikles uten å spres en viss tid.                 |
| Brannklasse           | Konsekvensen for skade på liv, helse og miljø av en brann.                    |
| Brannseksjon          | Bygningsdel som hindrer spredning av brann utenfor seksjonen.                 |
| Dampbrems             | Material som hindrer gjennomtrengningen av damp fra innsiden.                 |
| Diffusjonsåpen        | Et element slipper igjennom fukt.   |
| Digitalisering        | Visjoner, strategier og valg for endring tilknyttet digitaliseringsprosesser. |
| Direktetransmisjon    | Lyden transplanteres direkte gjennom skillekonstruksjonen.                    |
| Dybel                 | Bindeelement som overfører skjærkrefter.                                      |
| Egenlast              | Belastning fra vekten til konstruksjonen.                                     |
| Eksponeeringsklasse   | Klassifisering av miljøpåvirkninger på en betongkonstruksjon.                 |
| Elastitetsmodul       | Forhold som angir evnen til å motstå elastisk deformasjon.                    |
| Eskeprinsipp          | Konstruksjon satt sammen av ferdigbygde esker.                                |
| Fasthet               | Evnen til å motstå spenninger uten å deformeres.                              |
| Flanketransmisjon     | Lyden transplanteres gjennom tilliggende bygningsdeler.                       |
| Forspent              | Armering spent opp før betongen legges.                                       |
| Funksjonskrav         | Spesifisering av krav til elementer, bygninger og lignende.                   |
| Grå energi            | Energien tilknyttet et produkt gjennom hele livstiden.                        |
| Gyse                  | Sammenføye ved hjelp av mørtel  |
| Hermetisk lukket      | Lufttett.   |
| Hygroskopisk          | Evnen til å ta opp fukt fra luft.   |
| Impregnering          | Tilsetning av stoff for endring av materialets egenskaper.                    |
| Integritetsegenskaper | Helhetlige egenskaper.  |
| Just-in-time          | Levering av elementer akkurat i tide til montering.                           |
| Klimaavtrykk          | Andelen utslipp av CO <sub>2</sub> .  |
| Konsulenter           | Rådgivere som er faglige eksperter.   |
| Kunstig intelligens   | Datasystemer i stand til å utføre oppgaver og lære av erfaring.               |
| Lamell                | Tynn og avlang skive.   |
| Luftlyd               | Overføring av lyd gjennom luft.   |
| Lydtransmisjon        | Overføring av lyd.  |
| Maskinlæring          | Datamaskin «selvopplæres» ved å finne mønstre.                                |
| Metningspunkt         | Hvor mye fukt luft i en viss temperatur kan inneholde.                        |
| Multipler             | Tall som er en del av et produkt.   |
| Nyttelast             | Belastning fra bruken av en konstruksjon.                                     |
| Oksydhinne            | Belegg av forbindelser mellom oksygen og andre grunnstoff.                    |
| Planløsning           | Plan for hvordan et areal skal disponeres.                                    |
| Plasstøpt betong      | Betong som støpes på arbeidsplassen.  |
| Preakseptert          | Ferdigtillatte løsninger.   |
| Prefabrikkert         | Elementer ferdiglagd på fabrikk.  |
| Risikoklasse          | Trusselen for skade på liv og helse av en brann.                              |
| Samvirkekonstruksjon  | Konstruksjon satt sammen av ulike materialer.                                 |
| Saneringsplan         | Plan for gjennomføring av tiltaksstrategien.                                  |
| Skjærmodul            | Forhold som angir evnen til å motstå skjærdeformasjon.                        |
| Slakkarmering         | Armering som ikke manuelt spennes opp.  |
| Superposisjonere      | Legge sammen summen av ulike momenter.  |
| Termisk nedbrytning   | Forhøyet temperatur gjør et elements egenskaper dårligere.                    |
| Trinnlyd              | Lyd som overføres gjennom etasjeskillere og trapper.                          |

|                    |   |
|--------------------|---|
| Tverrspent         | Todimensjonal spenning.                       |
| Varmekonduktivitet | Evnen til å lede varme.                       |
| Velgradert         | God blanding av tilslag.                      |
| Ulykkeslast        | Belastning fra brann, jordskjelv og lignende. |

## Symboler

### Store latinske bokstaver

|              |  |
|--------------|--|
| A            | Areal  |
| $A_s$        | Armeringsmengde  |
| $A_{smin}$   | Minste armeringsmengde   |
| $A_{stang}$  | Tverrsnitt for armeringsstang                                    |
| $A_v$        | Skjærareal   |
| B            | Elementbredde  |
| $C_{my}$     | Ekvivalent momentfaktor  |
| $C_t$        | Verdi for konstruksjoners momentstivhet og material              |
| $C_1$        | Momentfaktor   |
| E            | Elastitetsmodul  |
| $E_{0,05}$   | Fem prosent av elastitetsmodulen                                 |
| G            | Skjærmodul   |
| H            | Elementhøyde   |
| $I_t$        | Andre arealmoment for torsjon                                    |
| $I_w$        | Hvelvingsmotstand  |
| $I_x$        | Andre arealmoment om sterk akse                                  |
| $I_y$        | Andre arealmoment om svak akse                                   |
| L            | Elementlengde  |
| $L_k$        | Knekk lengde   |
| $L_{ksym}$   | Symmetrisk knekk lengde  |
| M            | Beregnet moment  |
| $M_{cr}$     | Kritisk vippemoment  |
| $M_{Ed}$     | Dimensjonerende moment   |
| $M_h$        | Veltende moment  |
| $M_{hj}$     | Hjørnemoment   |
| $M_{midt}$   | Moment på midten   |
| $M_{tot}$    | Totalt beregnet moment   |
| $M_v$        | Stabiliserende moment  |
| $M_{0cr}$    | Vippemoment  |
| $N_{aksial}$ | Beregna aksialkraft  |
| $N_{Ed}$     | Dimensjonerende aksialkraft                                      |
| $N_{Rd}$     | Aksialkraftskapasitet  |
| S            | Forsterkningsfaktor for grunnforhold                             |
| $S_d(T)$     | Dimensjonerende spekter for seismisk påvirkning                  |
| $T_B$        | Nedre grenseverdi av området med konstant spektralakselerasjon   |
| $T_C$        | Øvre grenseverdi av området med konstant spektralakselerasjon    |
| $T_D$        | Verdi for starten på spektrets område for konstant forskyvning   |
| $T_1$        | Bygningens første egensvingeperiode                              |
| $V_{Ed}$     | Dimensjonerende skjærkraft                                       |
| $W_{px}$     | Plastisk motstandsmoment om sterk akse (for stålsøyleberegning)  |
| $W_x$        | Elastisk motstandsmoment om sterk akse (for stålsøyleberegning)  |
| $W_{yel}$    | Elastisk motstandsmoment om sterk akse (for stålbjelkeberegning) |
| $Q_k$        | Karakteristisk punktnyttelast                                    |

### Små latinske bokstaver

|             |  |
|-------------|--|
| a           | Arm  |
| $a_g$       | Dimensjonerende grunnakselerasjon          |
| $a_{g40Hz}$ | Spissverdier for berggrunnens akselerasjon |

|               |   |
|---------------|---|
| $b$           | Tverrsnittsbredde   |
| $C_p$         | Formfaktor for vindlast   |
| $C_{pe10}$    | Formfaktor for vindlast   |
| $CC$          | Senter-til-senter avstand   |
| $d_{ag40Hz}$  | Tilleggsverdi for maksimumsområder                                |
| $d_2$         | Overdekning pluss halv armeringsdimensjon                         |
| $e_0$         | Minsteeksentrisitet   |
| $f_{cd}$      | Dimensjonerende materialfasthet for trykk                         |
| $f_{ck}$      | Karakteristisk materialfasthet for trykk                          |
| $f_{md}$      | Dimensjonerende materialfasthet for bøyning                       |
| $f_{mk}$      | Karakteristisk materialfasthet for bøyning                        |
| $f_{vd}$      | Dimensjonerende materialfasthet for skjær                         |
| $f_{vk}$      | Karakteristisk materialfasthet for skjær                          |
| $f_y$         | Karakteristisk flytespenning                                      |
| $f_{yd}$      | Dimensjonerende flytespenning                                     |
| $g$           | Egenvekt  |
| $h$           | Tverrsnittshøyde  |
| $i_z$         | Treghetsradius  |
| $i_x$         | Treghetsradius om sterk akse                                      |
| $i_y$         | Treghetsradius om svak akse                                       |
| $k_{c,z}$     | Knekkfaktor   |
| $k_h$         | Høydefaktor   |
| $k_{mod}$     | Fasthetsfaktor  |
| $k_{sys}$     | Samvirkefaktor  |
| $k_w$         | Vindlastfaktor  |
| $k_{wt}$      | Torsjonsparameter   |
| $k_y k_z k_w$ | Parametere for randbetingelser ved endene                         |
| $k_{yy}$      | Interaksjonsfaktor mellom moment og aksialkraft om sterk akse     |
| $k_z$         | Knekkfaktor   |
| $k_{zy}$      | Interaksjonsfaktor mellom moment og aksialkraft om svak akse      |
| $m_d$         | Dimensjonsuavhengig momentverdi for M-N-diagram                   |
| $n$           | Antall  |
| $n_d$         | Dimensjonsuavhengig aksialkraftverdi for M-N-diagram              |
| $v_{b0}$      | Referansevindhastighet  |
| $q$           | Beregnet nyttelast  |
| $q$           | Faktor for konstruksjoners evne til energiabsorpsjon (jordskjelv) |
| $q_k$         | Karakteristisk jevnt fordelt nyttelast                            |
| $q_p$         | Vindkasthastighetstrykket   |
| $r$           | Valserad  |
| $s, t_w$      | Stegtykkelse  |
| $s_v$         | Resultant mellom stabiliserende og veltende moment                |
| $t, t_f$      | Flenstykkelse   |
| $v$           | Vekt  |
| $w$           | Dimensjonsuavhengig verdi for mekanisk armeringsforhold           |
| $w$           | Vindlast  |
| $z_e$         | Høydesoner for vindlast   |

*Store greske bokstaver*

|          |          |
|----------|----------|
| $\Sigma$ | Sum      |
| $\Phi$   | Diameter |

*Små greske bokstaver*

|            |                          |
|------------|--------------------------|
| $\alpha_A$ | Arealreduksjonsfaktor    |
| $\alpha_N$ | Etasjereduksjonsfaktor   |
| $\gamma_G$ | Lastfaktor for egenvekt  |
| $\gamma_j$ | Lastfaktor for jordtrykk |
| $\gamma_M$ | Materialkoeffisient      |

|                   |   |
|-------------------|---|
| $\gamma_Q$        | Lastfaktor for nyttelast                                |
| $\gamma_1$        | Seismisk faktor   |
| $\zeta_g$         | Lastangrepspunktets koordinat relativ til skjærsenteret |
| $\zeta_j$         | Relativ mono-symmetrisk parameter                       |
| $\lambda_{LT}$    | Reduksjonsfaktor for vipping                            |
| $\lambda_{rel,z}$ | Relativ slankhet  |
| $\lambda_x$       | Relativ slankhet om sterk akse                          |
| $\lambda_y$       | Relativ slankhet om svak akse                           |
| $\lambda_z$       | Slankhet  |
| $\mu$             | Jordtrykkskoeffisient                                   |
| $\mu$             | Snøkoeffisient  |
| $\mu_{cr}$        | Parameter for kritisk moment                            |
| $\rho$            | Tyngdetetthet   |
| $\sigma$          | Normalspenning  |
| $\sigma_{cd}$     | Dimensjonerende trykkspenning                           |
| $\sigma_{gr}$     | Utregna grunntrykk                                      |
| $\sigma_{grmaks}$ | Maks grunntrykk   |
| $\sigma_{md}$     | Dimensjonerende bøyespenning                            |
| T                 | Skjærspenning   |
| $T_{vd}$          | Dimensjonerende skjærspenning                           |
| $\chi_{LT}$       | Reduksjonsfaktor for vipping                            |
| $\chi_x$          | Reduksjonsfaktor for bøyingsknekking om sterk akse      |
| $\chi_z$          | Reduksjonsfaktor for bøyingsknekking om svak akse       |
| $\psi$            | Momentfordelingsfaktor                                  |
| $\psi$            | Ulykkesfaktor   |

## Forkortelser

|                 |   |
|-----------------|---|
| BIM             | Bygningsinformasjonsmodellering   |
| CAD             | Computer-aided design (Dataassistert konstruksjon)                          |
| CEN             | Den europeiske standardiseringsorganisasjonen                               |
| CLT             | Cross laminated timber (Krysslaminert trevirke)                             |
| CNC             | Computer numerical control (Datamaskinbasert numerisk styring)              |
| CO <sub>2</sub> | Karbondioksid   |
| E-modul         | Elastitetsmodul   |
| G-modul         | Skjærmodul  |
| mva             | Merverdiavgift  |
| NA              | Nasjonalt tillegg   |
| NIBIO           | Norsk institutt for bioøkonomi  |
| NS              | Norsk standard  |
| NS-EN           | Europeisk standard fastsatt som norsk standard                              |
| NTNU            | Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet                              |
| Pbl             | Plan- og bygningsloven  |
| SINTEF          | Selskapet for industriell og teknisk forskning ved Norges tekniske høgskole |
| Sit             | Studentsamskipnaden i Trondheim   |
| TEK17           | Byggeteknisk forskrift  |
| vgs             | Videregående skole  |
| VVS             | Varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk                                     |
| WPS             | Weather protection system (Værbeskyttelsessystem)                           |

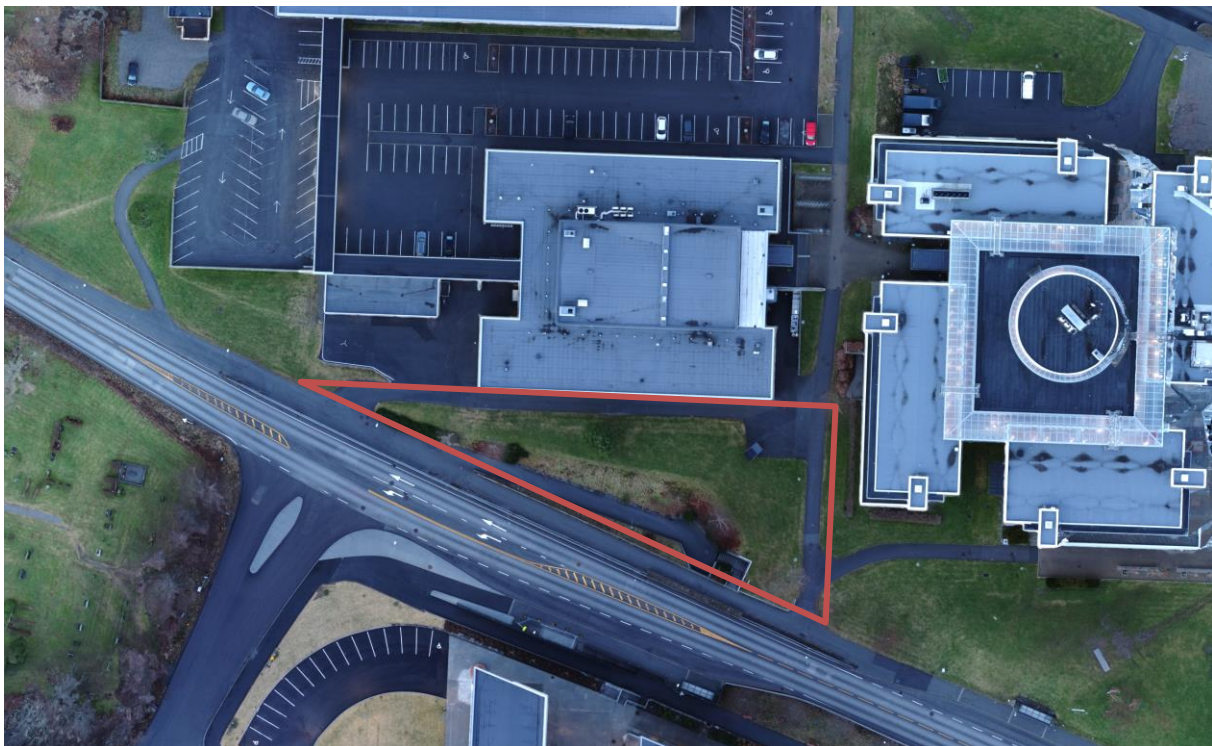
# 1 INNLEDNING

## 1.1 Bakgrunn

Campus Ålesund er et av fire knutepunkt som utgjør byen Ålesund. Campusen ligger fem km øst for Jugendstilssentrumet og syv km vest for handelssentrumet Moa. Campusen knytter sammen utdanningsinstitusjonene NTNU, Fagskolen i Ålesund, Ålesund kulturskole og Fagerlia videregående skole med næringslivsklyngen Norsk Maritimt Kompetansesenter.

Det er lagt et overordnet mål om å utvikle Campus Ålesund til et urbant, utadrettet og miljøvennlig knutepunkt. Studenttorget er en del av denne planen og skal inneholde blant annet studenthybler, treningsareal, kontor til studentorganisasjoner, kulturscene, studenthus og kafé. Slik vil bygningen frigjøre plass på skolen og bli en kjerne for studentliv.

I denne oppgaven tar vi for oss selve bæresystemet. Bygget er studenthybler på fem etasjer over to etasjer med fellesarealer, samt kjeller. Bygget er tegnet av Lusparken Arkitekter i Trondheim på vegne av Studentsamskipnaden i Trondheim (Sit), og skal bygges sør for lab-bygget ved NTNU i Ålesund, se foto av området:



Figur 1.1: Området merket med rødt er området hvor Studenttorget skal plasseres. Foto: Aleksander Hessen og Anders Oksavik.

## 1.2 Formål og problemstilling

Skisseforslaget fra arkitektene var modellert i massivtre. På grunnlag av dette, valgte vi å prosjektere bygget i dette byggematerialet. Byggekostnaden ved bruk av massivtre i forhold til mer tradisjonelle byggematerialer som stål og hulldekker er noe som vi ønsker mer kunnskap om. Massivtre er et produkt vi kjenner lite til og vi ser for oss å få større kjennskap til byggemetoden ved å basere bacheloroppgaven vår på det.

For næringen, uavhengig av oppgaven vår, vil kostnadene ved massivtre sammenlignet med hulldekke og stål være interessant. Vi ønsker å sette søkelys på byggemetoder, dimensjonering, kostnad og miljøaspektet ved massivtre.

Vi har konkludert med følgende problemstilling:

*Hvor stor vil kostnadsforskjellen være på bæresystemet ved bruk av massivtre og limtre i forhold til hulldekke og stål?*

Delspørsmål vi ønsker å belyse er om miljøaspektet går til fordel for massivtre.

## 1.3 Avgrensninger

Hovedsakelig vil hovedfokuset til oppgaven være dimensjonering og tegning i massiv- og limtre. I samtale med veileder anbefales det å se på økonomiaspektet også.

Byggebransjen er en konservativ næring og nye innovasjoner trenger mye forskning før det blir tatt i bruk. Kostnaden er avgjørende for å overbevise byggherrer, entreprenører og konstruktører om å velge massivtre foran velkjente løsninger.

Vi har av hensyn til tid og ressurser ikke beregnet forbindelser og innfestninger. Vi har dog tatt med forskjellige innfestningsmetoder i både teori-delen og i detaljtegninger for illustrasjon på hvordan dette kan gjøres.

Hovedfokuset ligger på konstruksjonen i massivtre. Vi har valgt å modellere og dimensjonere to forskjellige bæresystemer for å beregne kostnadsdifferansen for bygget i massiv- og limtre mot bygget i hulldekke og stål. Ut fra dette har vi utført masseberegning og kalkyle på de to systemene. I kalkylen har vi tatt bærende elementer i betraktning, bortsett fra bygningsdeler i plasstøpt betong.

Beregning av akustikk og brann er ikke utført i dette prosjektet, da det er omfattende prosjektering pga. få pre-aksepterte løsninger på massivtre. Tross dette har vi tatt med det teoretiske prinsippet for hvordan dette kan utføres.

## 1.4 Rapportens oppbygging

Kapittel 2, «Teoretisk grunnlag», tar for seg massiv- og limtre, betong og stål som byggematerialer. Vi setter oss inn i materialenes historie og bruksområde, i tillegg til at vi forklarer utfordringer med brann og lyd. Vi går i kapittelet inn på klimaavtrykk, med særlig vekt på massivtreets muligheter.

Kapittel 3, «Materialer og metode», omhandler de programvarer vi har valgt å benytte oss av i utførelsen av rapporten. Enkelte programmer har vært mislykket, det vil vi også beskrive senere. Kapittelet tar også for seg litteratur og fremgangsmåter.

Kapittel 4, «Resultater», vil belyse de ulike konklusjonene vi trekker fra befaringer og beregninger.

Kapittel 5, «Drøfting», vil diskutere de resultatene vi kom fram til. Vi vil trekke fram hvordan antakelser og forenklinger kan ha påvirket resultatene.

**Kapittel 6, «Konklusjon», vil**

Avslutningsvis kommer rapportens tyngde i vedleggene. Det aller meste av prosjektarbeidet har foregått utenfor rapportstilens grenser, og må vedlegges separat. I dette inngår hovedsakelig befaringer, beregninger og tegninger.

## 2 TEORETISK GRUNNLAG

### 2.1 Trevirke som konstruksjonsmateriale

Trevirke har i lang tid vært det dominerende konstruksjonsmaterialet i Norge og kan anvendes i ulike konstruksjoner. Trecellene er bygd opp av lange og sterke cellulosefibre som går parallelt langs trestammen og er holdt sammen av det naturlige bindemiddelet lignin. Tre er et anisotrop sterkt materiale, som vil si at styrkeegenskapene er forskjellig i lengderetning i forhold til tverretning av fibrene. Dette kommer av at trecellene har ulik størrelse og retning. Spesielt hvor det vokser ut greiner, strekker cellene seg på tvers av stammen som fører til lavere stivhet. (Skaug, hentet 2019)

Egenskaper som gjør tre til et godt konstruksjonsmateriale er høy styrke, god holdbarhet, lav egenvekt, god varmelagringskapasitet og god isoleringsevne. Tre som råvare til bygningsmateriale er gunstig da det er en fornybar ressurs, enkelt å utforme og bearbeide og er lett tilgjengelig gjennom lokal produksjon.

Flere konstruksjoner rundt om i landet, som stavkirker og lafteverk viser byggetradisjoner utført i trevirke. Konstruksjons- og byggeteknikken har utviklet seg med tiden gjennom kunnskap og erfaring og tilpasset seg klima og bruk. De første byggene fra steinalderen besto av takbærende stolper i trevirke, forankret i jorda. Videre utviklet det seg til stavhus, grindhus, laftehus, reisverk og bindingsverk som blir brukt den dag i dag. Reisverkveggen erstattet lafteveggen på 1700-tallet fordi denne metoden behøvde mindre material og trevirket krymper minimalt i lengderetning. Bindingsverket ble tatt i bruk i begynnelsen av 1900-tallet på konstruksjoner hvor det var krav om tetthet og varmeisolering. (Treteknisk, 2006b, b. 1)

Å bygge i trevirke var den vanlige byggemetoden i hele Europa, frem til det oppstod ukontrollerbare bybranner. Trevirke som byggemateriale i byer og tettbygde strøk ble dermed forbudt i flere deler av Europa. I 1904 ble murtvangbestemmelsen innført, som betydde at det ytre skallet i konstruksjonen skulle bestå av stein eller mur. Skulle man bygge i tre måtte dette være utenfor byene, som førte til mindre tetthet i bebyggelsen og større arealforbruk. I Norge var det stor motstand om å skifte byggemetode siden tømmertradisjonen stod sterkt, murkonstruksjoner var dyrere og det var lite kompetanse rundt temaet. Det ble utarbeidet krevende saneringsplaner for sentrale bystrøk med trebebyggelse. Ikke alle planene ble gjennomført på grunn av dårlig økonomi. Ønske om modernisering og økonomisk oppgangstid på 1960-tallet førte til at flere av planene ble gjennomført, og mistet derfor mange kulturelle bygninger. Med dette ble det økt motstand mot planene på 1970-tallet. Saneringsplanene ble deretter erstattet med verneplaner for å ta vare på kulturminnet i trehusbyene. Siden den tid har disse byene blitt tatt godt vare på gjennom verneplaner og blir sett på som en av de mest attraktive byområdene med sine historiske kvaliteter. (Kittang, Narvestad, & Nyrud, 2011)

Murtvangsloven fra 1904 forbød oppføring av bygninger i tre i landets byer, pga. risiko for brannspredning. Etter hvert ble bygningslovgivningen endret og byggeforskrifter innført der funksjons- og ytelseskrav i bygninger var det sentrale, som igjen åpnet for å bygge større bygninger i tre. Både Treet i Bergen og Mjøstårnet i Moelv er begge eksempler på dette. Mjøstårnet i Brumunddal består av massiv- og limtre og er per i dag verdens høyeste trehus med over 85 meters høyde.



## 2.1.1 Massivtreelementer

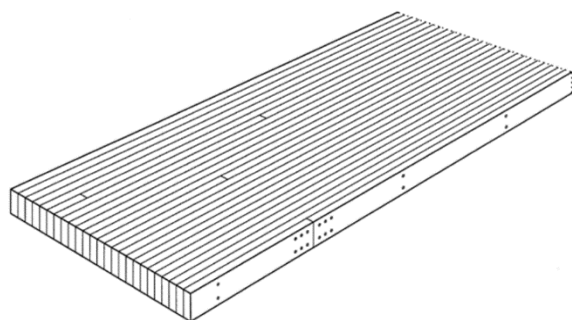
Massive treelementer ble først brukt i Canada omkring 1975. Landet har god tilgang til store mengder tømmer og elementene ble i utgangspunktet brukt for å rehabilitere gamle broer. Dette ble utført ved tverrspente brodekker; trevirke på høykant som ligger inn til hverandre føyd sammen av gjennomgående stålstag, med skiver i hver ende. Senteravstanden mellom stålstagene og oppspenningskraften fra disse var avhengig av belastningen på brodekket. Prinsippet med å sette sammen lameller til større elementer spredte seg til Mellom-Europa, hvor det var behov for miljøeffektive konstruksjonsmetoder for brodekke. Etterhvert er det blitt vanlig å bruke massive treelementer også i bygningskonstruksjoner. I dag er bruk av massivtreelementer i bygningskonstruksjoner en vanlig byggemetode i Østerrike, Sveits og Tyskland. (Treteknisk, 2006b)

### Oppbygging

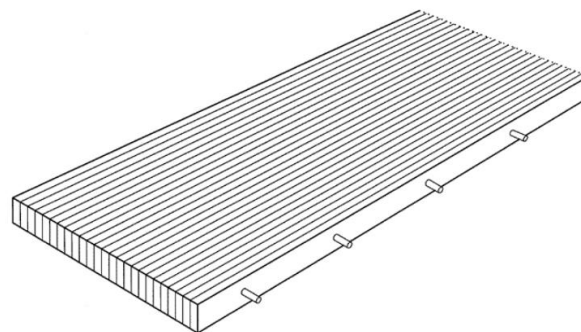
Massivtreelementer består av lameller i trevirke, som regel i gran eller furu. Lamellene er føyd sammen til større elementer ved bruk av lim, tredybler, spiker, skruer eller stålstag. Elementene kan brukes som bærende eller ikke-bærende elementer i etasjeskillere, tak, vegger eller andre konstruksjoner. Hele bæresystemet kan bestå av massive treelementer, eller kombineres med andre konstruksjonsmaterialer som betong, stål, etc. I følge Treteknisk Håndbok – bygge med massivtreelementer, kan elementene deles inn i tre kategorier:

- **Kantstilte elementer:**

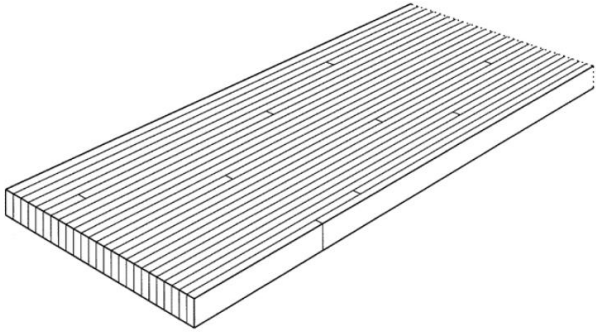
Bestående av kantstilte lameller, føyd sammen ved hjelp av lim, tredybler, spiker, skruer eller stålstag. Fuktigheten og dimensjonen til trevirket, samt senteravstanden mellom konstruksjonsskruene, er avhengig av belastningen og bruksområdet.



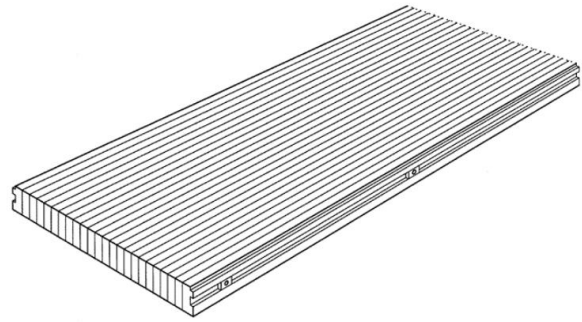
Figur 2.1: Spikret kantstilt element  
(byggforsk.no)



Figur 2.2: Dyblet kantstilt element  
(byggforsk.no)



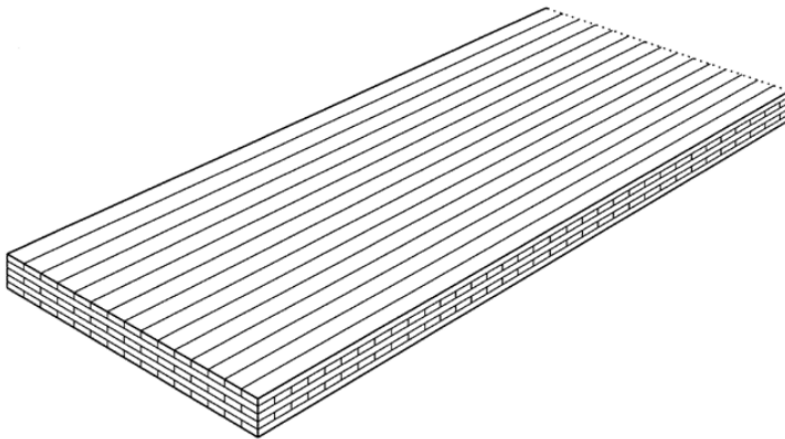
Figur 2.3: Limt kantstilt element  
(byggforsk.no)



Figur 2.4: Tverrspent kantstilt element  
(byggforsk.no)

- **Krysslagte elementer (CLT):**

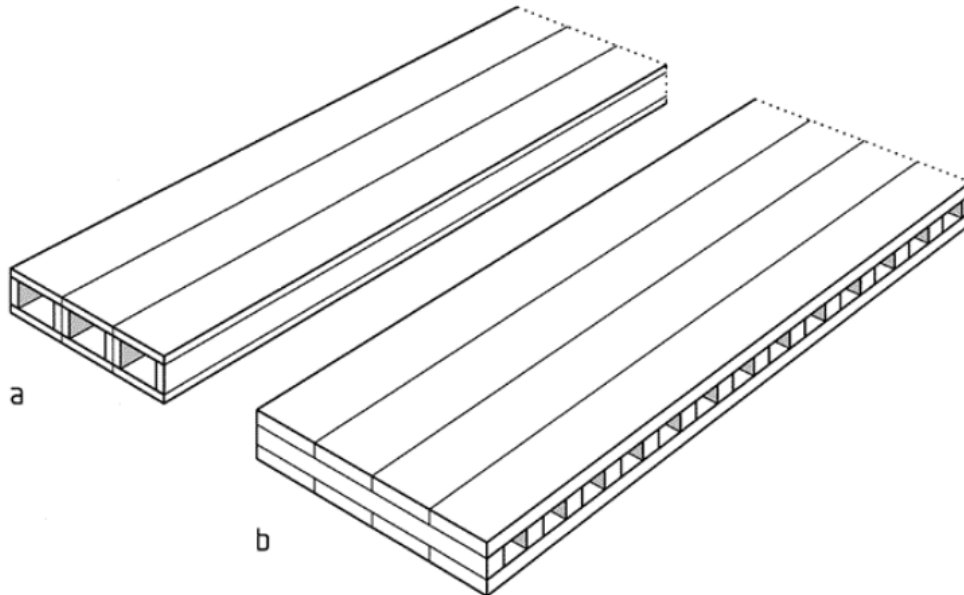
Bestående av krysslagte lameller satt sammen i flere sjikt ved hjelp av lim eller tredieler. Forholdet mellom de krysslagte sjiktene er som regel 90 eller 45 grader. Dette gjør elementene svært formstabile. Noen produsenter velger å lime kanten/enden på elementene da dette kan gi tettere elementer og redusert innbrenningshastighet ved brann.



Figur 2.5: Krysslagt element (byggforsk.no)

- **Hulromselementer:**

En type kasseelement, bestående av kantstilte planker med kryssende eller parallelle trevirke med et øvre- og nedre massivtreelementer. De kantstilte lamellene har hulrom imellom seg.



Figur 2.6: Eksempel på hulromselementer (byggforsk.no):

- a) Parallelle lameller
- b) Kryssende lameller

### Overflater

Trevirke er et materiale med gode estetiske kvaliteter og kan derfor være et ønske fra byggherre om synlige overflater. Massive treelementer kan være synlig på begge sider, men krav til lydisolasjon, brann og varmeisolasjon fører ofte til at kun en av sidene kan være synlig. Elementene kan brukes ubehandlet, eller de kan overflatebehandles med maling eller lakk. Overflatebehandlingen bør være diffusjonsåpen, med den hensikt å bevare inneklimate og fuktreguleringen i elementet. Skulle det oppstå skader eller slitasje, kan det slipes og overflatebehandles på nytt.

Er det ønskelig å unngå bruk av gips eller andre ubrennbare materialer, kan brannhemmende maling påføres for å redusere innbrenningshastigheten på elementet.

Type trevirke i de ytterste sjiktene kan være forskjellig fra de andre, ut fra hvilke egenskaper, kvaliteter og uttrykk man ønsker. Gulvet i etasjeskillere kan påføres større slitasje enn andre deler av bygget, og kan derfor være gunstig med et mer slitesterkt materiale.



Figur 2.7: Eksempel på ulike overflater (norskmassivtre.no)

Ved lagring og håndtering av elementene i byggeprosessen bør det tas hensyn til overflater som skal være synlige, for å unngå tilsmuss og skader. Ferdigmonterte etasjeskillere er spesielt utsatt og bør dermed dekket til under byggeprosessen.

## 2.1.2 Fordeler og ulemper med massivtre

Massivtre som byggemateriale har en rekke fordeler:

### **Kort byggetid → kostnadsfordeler**

Montering av massive treelementer er både raskt og enkelt, som medfører kortere byggetid enn tradisjonelle byggemetoder som betong og stål. Byggetiden har en stor innvirkning på rigg- og kapitalkostnaden i prosjektet som vil ha betydning for total kostnaden.

### **Tørt bygg**

Produksjon av massive treelementer utføres innendørs i fabrikk med tørre omgivelser. Ferdigproduserte elementer har en trefuktighet på 8-14 %, som gir kort uttørkingstid, forutsatt at bygget ikke blir utsatt for store mengder fukt over lengre perioder under byggeperioden. Det er derfor en fordel at denne byggemetoden er rask og effektiv, da man kan tilpasse byggingen i forhold til været.

### **Gode tilpasningsegenskaper og godt inneklima**

Trevirke er et hygroskopisk materiale som vil prøve å tilpasse seg omgivelsene. Dersom man bruker massive treelementer med eksponert overflate, vil trevirket tilpasse seg luftfuktigheten og varmen i rommet. Norsk Massivtre anbefaler at det brukes dampbrems, siden dette gir et behagelig inneklima og en behagelig overflatetemperatur på elementet.

### **Ryddig arbeidsplass → godt arbeidsmiljø**

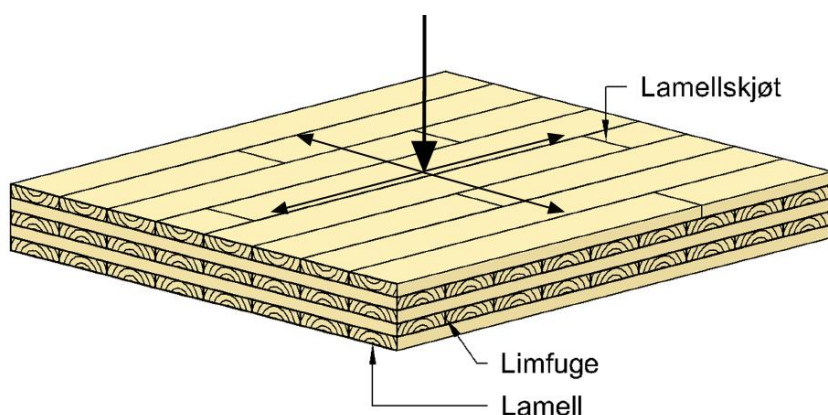
Ved bygging av massivtreelementer kan man heise elementene rett på plass, som gir mindre behov for lagring og dermed en mer ryddig arbeidsplass. Prefabrikkerte elementer trenger minimalt med bearbeiding og tilpassing som gir mindre avfall på byggeplass. Dessuten er trevirke et renselig materiale og danner lite støv og søl. Det er

også enkelt å montere sikring på treelementene som fallsikring, rekkverk og lignende. En sikker og ryddig arbeidsplass bidrar til et godt arbeidsmiljø.

### Et fleksibelt materiale

Massivtre kan bli brukt i både små og store prosjekter, som enebolig, småhus, industribygg, næringsbygg og fleretasjesbygg. Elementene kan formes etter ønske og brukes i samvirkekonstruksjoner der det kombineres med andre konstruksjonsmaterialer som betong, stål, glass og stein. Elementene kan bestilles med ferdige utsparinger for vinduer, dører, tekniske føringer, etc. Dette gir stor fleksibilitet rundt planløsning og rominndeling.

Tre er sterkere i fiberretning enn på tvers av fiberretning. Krysslagte elementer gir toveisplatevirkning, som betyr at de kan ta bæring i begge retninger. Med dette kan elementet ta opp store punktlaster. Elementene kan også fungere som avstivende skiver for å ta opp horisontale krefter. Dette gjør massivtre til et gunstig konstruksjonsmateriale.



Figur 2.8: Elementet kan ta opp store punktlaster. Redigert (sintef.no)

### Lav egenvekt

Lav vekt bidrar til redusert transportbehov, som reduserer kostnaden på prosjektet og er positivt for miljøet. Det er ikke behov for store kraner og annet dyrt utstyr, siden de fleste elementene har så lav egenvekt at de kan settes på plass ved hjelp av mobilkran. Å bygge med lette elementer vil gi mindre belastning på fundamenter og andre bygningsdeler, som er spesielt gunstig på dårlig byggegrunn.

### Miljøvennlig

Trevirke er et miljøvennlig naturmateriale og en fornybar ressurs som gjenskapes av naturen. Råstoffet har ingen negativ innvirkning på miljøet og produksjon gir lave utslipp av klimagasser, som bidrar til miljøeffektiv og bærekraftig bygging.

### God bæreevne ved brann

Trevirke er et brennbart materiale, men har gode egenskaper i forhold til brann. På grunn av trevirkets lave varmeledningsevne, vil det være usannsynlig at en brann sprer seg fra et rom til et annet pga. varmegjennomgang.

Det er et materiale som brenner forutsigbart og innbrenningshastigheten er langsom og tilnærmet konstant. Det gjenværende tverrsnittet bak forkullingslaget beholder sine egenskaper i forhold til fasthet og stivhet.

Bygging med massivtre har også sine utfordringer:

### **Lyd**

Ved bruk av massivtreelementer som bærende konstruksjoner må det tas spesielt hensyn til flanketransmisjon. Massivtre er et lett materiale som overfører lyden godt. Et kjent tilfelle er hvor lyden overføres gjennom etasjeskille og flankerende vegger mellom boenheter. Den horisontale flanketransmisjonen gjennom et etasjeskille er spesielt høy i den stive retningen av elementet. Detaljer som adskilte vegger, elastiske opplegg, tetting av fuger og bruk av lydabsorberende materialer, er teknikker for å redusere disse problemene.

### **Værbeskyttelse**

Store byggeprosjekter vil ha en lengre byggetid som medfører større risiko for å bli utsatt for fukt. En vanlig metode for å unngå dette er å dekke over bygget med værbeskyttelsessystem. Hele konstruksjonen kan dekkes over med teltbaserte systemer. Hvor mindre deler av konstruksjonen består av massivtreelementer, kan det dekkes over med presenning dersom det er tilstrekkelig.



Figur 2.9: Fuktsikring med teltbasert system (tu.no)

### **Brannspredning og rehabilitering**

Selv om massivtre har gode egenskaper i forhold til bæreevne og rømning ved brann, er det et brennbart materiale som fører til at konstruksjonen er utsatt for brannspredning. Etter en massivtrekonstruksjon har vært utsatt for brann, kan det være kostbart å rehabiliterer og det er ikke sikkert at det lønner seg. Det er derfor viktig med gode konsulenter under brannteknisk prosjektering av konstruksjoner i massivtre.

## **2.1.3 Bæresystem og avstiving**

Bæresystemet av massivtre kan gjøres som et veggssystem, søyle-/bjelkesystem eller som en kombinasjon av disse.

Et bærende veggssystem kan utføres med gjennomgående vegger, eller med etasjehøye vegger. Man må være oppmerksom på at flanketransmisjonen øker med gjennomgående vegger og at de kun bør brukes hvor det ikke er krav om lyd.

Fordelen med et bærende veggssystem er at skivene også kan ta horisontal last og dermed virker stabiliserende. Skråstrevere i limtre istedenfor veggskiver i massivtre, kan være et alternativ for stabilisering. (Treteknisk, 2006b)





## 2.1.4 Produksjon av massivtre

Hos de fleste produsentene foregår produksjonen under tørre og kontrollerbare forhold. Produksjonen av limte massive treelementer kan deles inn i tre prosesser:

1. Lameller av trevirke limes og presses sammen til større treplater.



Figur 2.10: Lameller limes og presses (ledinek.com)

2. Dimensjoner, form og utsparinger på elementet bestemmes etter ønske fra kunde.
3. Platene utformes og kuttet presist i f.eks. en CNC-maskin.



Figur 2.11: Elementer kuttet og freses (venstre: novatop-system.cz, høyre: clt.info)

Etter produksjonen er gjennomført blir elementene pakket inn i vanntett folie for å unngå tilsmuss og fuktinntrenging ved transport og lagring på byggeplass. Videre leveres elementene til byggeplass som enkle byggesett.

### Transport

Markedet for massivtre er i sterk vekst, og det er flere leverandører innen massivtre i Norge. Det er derimot kun noen få produsenter her i landet, f.eks. Norsk Massivtre AS (Sør-Aurdal kommune) og Nordisk Massivtre (Kongsvinger).

Massivtreelementene har lav egenvekt og kan gi lavere transportkostnader enn f.eks. stål og betong. Ved montering med massivtre ønsker man en «just in time»-leveranse. Det vil si at modulene ankommer byggeplassen samtidig som de skal monteres. Da slipper man å mellomlagre modulene på byggeplassen og unngår problemer med plass og fukt.



Under montasjen ønsker man å beskytte massivtrekonstruksjonen mot været. Om massivtreelementene allerede er oppfuktet, bør ikke elementene dekket til. Dersom våte elementer dekket til vil fukten sperres inne og naturlig uttørking blir hindret.

## 2.1.5 Limtre

Prinsippet med limtre ble tatt i bruk av Tyskland og Russland så tidlig som på slutten av 1800-tallet av Tyskland og Russland. På grunn av mangel på stål under andre verdenskrig, ble limtre anvendt i forskjellige krigsmateriell som f.eks. torpedobåter og minesveipere. Omkring 1960 ble limtreindustrien satt i gang for fullt, i 1962 ble Norsk Limtrekontroll stiftet og i 1967 ble Nordisk Limtrenemnd formet med den hensikt å ha felles kontroll- og produksjonsregler. På denne måten kunne man forhandle med limtre mellom landene.

Det har vært en stor utvikling av limtre de siste 20 årene, både angående spenn og knutepunkter, som har gitt nye muligheter for anvendelse av produktet. Eksempel på dette ser vi i broer som Leonardo-broen (Ås kommune) og Tynset-broen og store bygg som Oslo lufthavn og Vikingskipet (Hamar). (Trefokus, 2019)

### Oppbygging og bruksområder

Limtre betegnes som en «*bærende komponent hvor tverrsnittet er bygd opp av minst fire lameller med tilnærmet parallell fiberretning, som ved hjelp av lim har full statisk samvirke*» («NS 3470-1:1999», 1999). Limtre er altså på samme måte som massivtre, satt sammen av flere lameller som er presslimt til større elementer som er lette å montere og bearbeide. Forskjellen er at alle lamellene er parallelle og at limtre vanligvis brukes som bjelker og søyler. Limtre kan anvendes på flere bruksområder i konstruksjoner. Eksempler på dette er søyler, sperrer, hovedbjelker, bjelkelag, forsterkninger over utsparinger (losholt), delstaver i fagverk, hoved- og/eller sekundærkonstruksjon i bruer og store bygg.

Elementene er som regel laget av gran, og finnes både til innvendig og utvendig bruk. Skal det brukes utendørs må elementene være impregnert (behandlingsprosess for å gjøre elementet motstandsdyktig mot vann). Limtre består som regel av lameller med to forskjellige fasthetsklasser, hvor de to ytterste lamellene har høyest trykk- og strekkfasthet. Produsentene kan på den måten oppnå høy fasthet på produktet og er samtidig kostnadsbesparende.

I forhold til egenvekten har limtre høy styrke, noe som gir god bæreevne, lange spennvidder og kan anvendes i store konstruksjoner. En bjelke av limtre og en bjelke av stål med samme vekt, vil være omtrent like sterke, men limtre vil ta noe større plass. Det fører ofte til mer fleksibilitet rundt grunnkonstruksjonen hvor man kan spare både tid og penger. I Norge er standard tykkelse på lamellene 45mm. Høyden på elementet er multipler av 45, som for eksempel 135, 180, 225, osv. Leverandører har som regel standard høyder og bredder som er lagerført, men kan bestilles i andre dimensjoner hos de fleste. Skal produktet anvendes i konstruksjoner med klimaklasse 3, blir det brukt tynnere lameller. Mens for krumme elementer er det krumningsradiusen som bestemmer tykkelsen på lamellene.

I følge TreFokus AS:

- Limtre kan ha forskjellige former:
  - rette bjelker og søyler
  - krumme bjelker
  - pulttaksbjelker
  - saltaksbjelker med rett eller krum underside
  - rammehalvdeler
  
- Krav, spesifikasjoner, materialegenskaper og karakteristiske verdier til limtre finnes i følgende standarder:
  - NS 3470-1 Prosjektering av trekonstruksjoner – Beregnings- og konstruksjonsregler. Del 1: Allmenne regler
  - NS-EN 14080:2013+NA:2016 - Trekonstruksjoner - Limtre og limt laminert heltre - Krav
  - NS-EN 1194 Konstruksjonstrevirke – Limtre – Fasthetsklasser og bestemmelse av karakteristiske verdier

## 2.3 Betong som konstruksjonsmateriale

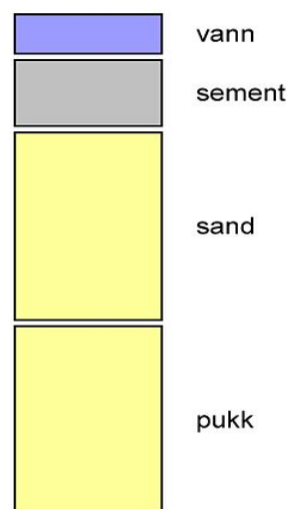
Betong er et av de viktigste byggematerialene i dag. Det er dessuten det mest brukte menneskeproduserte materialet på jorda (Kontrollrådet, 2018). Det har lite påvirkning på nærmiljøet siden det er et kjemisk stabilt materiale, som ikke avgir farlige gasser eller væsker. Tross dette, gir produksjonsprosessen store utslipp CO<sub>2</sub>.

### 2.3.1 Anvendelse

Betong er et fleksibelt materiale med lang levetid og høy styrke. Det kan gi gode løsninger og liten mulighet for feil i prosjektering og gjennomføring på grunn av få elementer. Elementer i betong kan støpes og formes i alle mulige fasonger, enten på byggeplass eller bestilles som prefabrikkerte elementer. Begge byggemetodene har sine fordeler, f.eks. plasstøpt betong gjør det lettere med endringer på konstruksjonen underveis i byggeprosessen, mens prefabrikkerte elementer gir kortere byggetid. Betong har mange bruksområder, og er ofte brukt som bærende bygningsdeler. Eksempelvis bjelker, søyler, vegger, dekker, tak og fundament. I andre konstruksjoner som broer, dammer, kaier og plattformer er det også svært vanlig å bruke betong som konstruksjonsmateriale. Rør, bygningsstein og takstein er noen av mange varer som produseres i betong.

### 2.3.2 Oppbygging og kvalitet

Betong lages ved å blande sement, vann og tilslag. Tilslaget kan bestå av gradert blanding av sand- og steinmaterialer (singel og pukkk). I en kjemisk reaksjon mellom vann og sement dannes sementlim. Denne limen fyller ut hulrommene mellom tilslaget og binder det sammen til et fast materiale med høy styrke. Vekten på betongen er avhengig av type tilslag og forholdene mellom ingrediensene. Ønsker man en lavere egenvekt på materialet, kan man bruke lettklinker som tilslag – porøse kuler fremstilt av brent leire. Det er også normalt å bruke ulike tilsetningsstoffer for å gi betongen spesielle egenskaper. Det kan være egenskaper man ønsker at betongen skal ha før, under eller etter herding. Det finnes mange forskjellige tilsetningsstoffer, men kan deles inn i fem klasser ut fra hvilken funksjon de har:



Figur 2.12: Enkel fremstilling av typisk blandeforhold for betong (wikipedia.org)

- Akselererende (påskynder herdingen)
- Plastiserende/vannreducerende (fører til lavere vannbehov og gjør betongen lettere å bearbeide)
- Retarderende (forsinker størkningen)
- Injiserende (øker vanntettheten/flyteevnen)
- Luftinnførende (øker luftinnholdet og gjør betongen mer frostsikker)

(Thue, 2018)

For å få god kvalitet på betongen bør kornsammensetningen til tilslaget være velgradert, slik at de små kornene kan tette hulrommene mellom det større tilslaget. Da kreves det også mindre sementpasta for å fylle hulrommene i betongen. For å oppnå stor overflate og godt feste, bør tilslaget ha en rund eller kubisk form med ru overflate. En sterk betong med god kvalitet inneholder tilslag med god nok fasthet og værbestandighet til beregnet bruk. Samvirket mellom tilslag og bindemiddel er avgjørende for fastheten til betongen. Tilslag som blir brukt i Norge består som regel av bergarter med trykkfasthet på om lag 150-350 MPa. Trykkfastheten er betegnet med enheten N/mm<sup>2</sup> og delt inn i fasthetsklasser B10-B95 (normal – tungbetong) med intervall på 10N/mm<sup>2</sup>, mens lettbetong har betegnelsen LB og har andre fasthetsklasser. Bestandighetsklassen er betegnet som M40, MF40, osv., hvor tallet beskriver vanninnholdet i betongen og F-en står for frostsikker.

I armert betong er det viktig at tilslaget klarer å trenge seg gjennom armeringsjernene for å få en homogen blanding. Derfor må fri avstand mellom jernene være større enn det største tilslaget. Maks størrelse på tilslaget er 1/4 av minste tverrmål av konstruksjonen/elementet og maks 40mm dersom det skulle bli så stort.

Forurensning i form av organiske humusstoffer og klorider kan ødelegge betongen. Den kjemiske reaksjonen mellom vann og sement kan bli ødelagt i kontakt med humusstoffer, mens slam og leire kan forhindre heft mellom tilslaget og sementlimen. Klorider i betongen kan bryte ned oksydhinnen/passivfilmen til armeringsjernet, som kan gi korrosjon og rustsprenging. (Maage, 2015)

### 2.3.3 Egenskaper

#### **Fasthet**

Betong er et materiale som kan ta opp store trykkrefter, men lite strekkrefter. Det er derfor vanlig å forsterke materiale med å støpe inn armeringsjern i betongen med den hovedhensikt å ta opp strekkrefter. Vanlig armering av stål som blir anvendt i betongkonstruksjoner i Norge har en strekkfasthet på 500MPa, som er 200 ganger høyere enn strekkfastheten til betong.

Forholdet mellom vann og sement (v/c-forholdet) vil i stor grad bestemme fastheten til den herda betongen. Jo lavere vanninnhold betongen har, dess høyere er fastheten. Avhengig av bruksområde, kan betongen blandes i ønsket konsistens. Den skal være mulig å bearbeide og støpe, det er derfor begrenset hvor lavt v/c-forholdet kan være.

Trykkfastheten er avgjørende for hvor stor størrelsen på tverrsnittet blir nødt til å være for å bære de påkjente lastene. Ønsker man mindre konstruksjonselementer er det naturlig å velge en betong med høy fasthet. Det er ikke nødvendig å klassifisere betongen etter stivhet siden elastisitetsmodulen er avhengig av fastheten. Deformasjonen på betongkonstruksjonen er avhengig av hvor stivt elementet er. Jo høyere stivhet, dess mindre blir deformasjonen.

#### **Varmekonduktivitet**

Varmekonduktiviteten til betongen er avhengig av fuktighet, densitet, type tilslag og mengder armering. Typisk densitet til herdet betong er mer eller mindre 2200-2500 kilogram per kubikkmeter (kg/m<sup>3</sup>). Betongen leder varme bedre enn vanlig isolasjonsmateriale og trevirke. Bygningdeler i betong som går gjennom varmeisolasjonen i konstruksjonen vil skape kuldebroer.

#### **Brann**

Betong er et ubrennbart materiale, og er derfor et sikkert og effektivt byggemateriale for å hindre brannspredning. Tross dette leder det varme godt, og det er derfor i noen tilfeller nødvendig med utforet varmeisolasjon for å oppnå kravene for brannmotstand. Betong gir varig vern mot brann og det er svært liten sannsynlighet for at den bærende

konstruksjonen blir nedbrutt gjennom et brannforløp. Konstruksjoner som har vært utsatt for brann kan normalt rehabiliteres i ettetid.

### 2.3.4 Prosjektering av betongkonstruksjoner

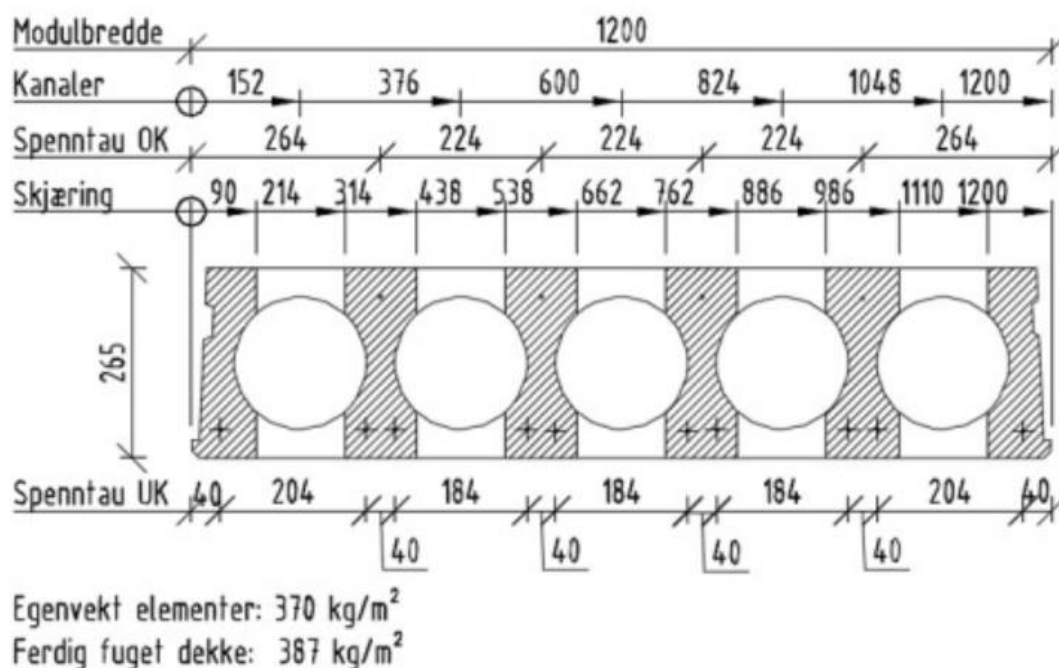
Prosjektering av betongkonstruksjoner skal foregå iht. NS-EN 1992 Eurokode 2. Standarden omhandler prosjektering av armert, uarmert og spennarmert betong i bygge- og anleggskonstruksjoner. Den har en rekke harmoniserte standarder, og er forutsatt at man følger NS-EN 206+NA og NS-EN 13670+NA ved valg av materiale og utførelse. Standarden skal også alltid benyttes sammen med NS-EN 1990+NA Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner og NS-EN 1991 Laster på konstruksjoner. (Maage, 2015)

### 2.3.5 Hulldekke

Hulldekke-element er et forspent betongelement som anvendes i tak og etasjeskillere. Dekkelementene er stabile, økonomiske og kan brukes i mange konstruksjoner. Det er ofte brukt i store konstruksjoner med lange spennvidder, som forretningsbygg, industribygg, og skoler, men er også fordelaktig å bruke som etasjeskillere mellom boenheter i mindre konstruksjoner.

#### Oppbygging og egenskaper

Elementene har gjennomgående kanaler i senter, parallelt med spennretningen. Hulrommene kan brukes som fordelingskanaler for ventilasjon eller føringer for kabler, men det er begrenset hvor mange utsparinger man kan ha med hensyn til bæreevne. For å ta opp strekkrefter, kan elementene produseres slakkarmert eller med forspent armering.

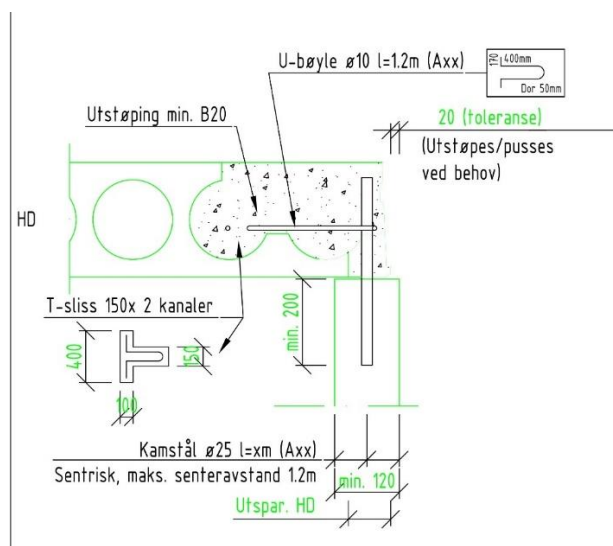


Figur 2.13 Tverrsnitt av hulldekke 265 mm (dekkesystemer.no)

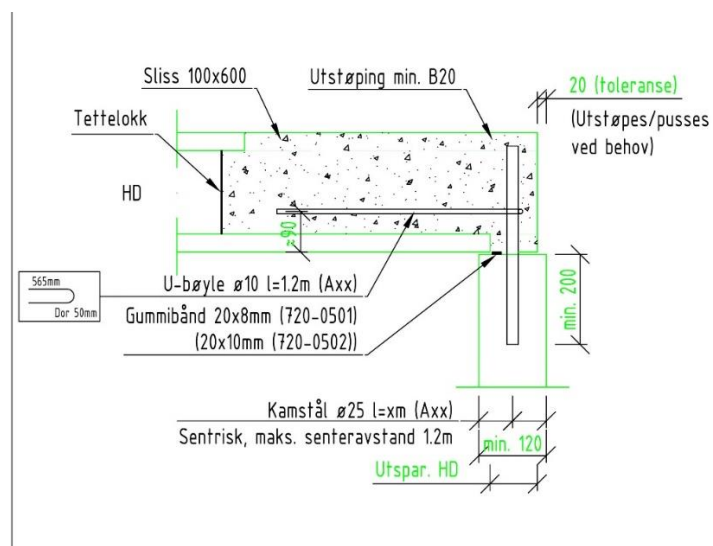
På grunn av tverrsnittets form, oppnår man lav egenvekt i forhold til stivhet og styrke. Et hulldekkeelement veier omkring 55-60% av et kompakt dekke, men liten forskjell på stivhet. Elementene kan ta opp store laster og tåler lange frie spenn opptil omkring 20 meter. Dette gir hulldekke en stor fordel i store konstruksjoner med lange spennvidder og store muligheter rundt planløsninger. (SINTEF Byggforsk, 1996)

Ved å gyse sammen elementene vil det fungere som en skive for å ta opp horisontale krefter som følge av f.eks. seismiske laster og vindlast. I noen tilfeller vil det være nødvendig med ekstra påstøp til sikkerhet for lastpåkjenninger, avretting eller for å oppfylle lydkrav.

På grunn av elementenes størrelse, er montering på byggeplass ofte en effektiv prosess. Det er også begrenset med faktorer å ta hensyn til under byggeprosessen. Tilsmuss, fukt og skader på element under byggetiden er ikke et kjent problem. Tilslutningsdetaljer er i stor grad standardisert, og det finnes flere måter å forankre dekket på. Det knuses eller slisses hull i elementet hvor det støpes inn armeringsjern som forankres i et bærende konstruksjonselement (sjakt, bjelke). Det er særdeles viktig med god forankring for å videreføre de horisontale kreftene videre til vertikale bærende elementer. Følgende bilder viser eksempel på hvordan dette kan utføres.













Figur 2.14: Eksempel på forankring langs hulldekke for overføring av krefter (dekkesystemer.no)



Figur 2.15: Eksempel på forankring på enden av hulldekke for overføring av krefter (dekkesystemer.no)

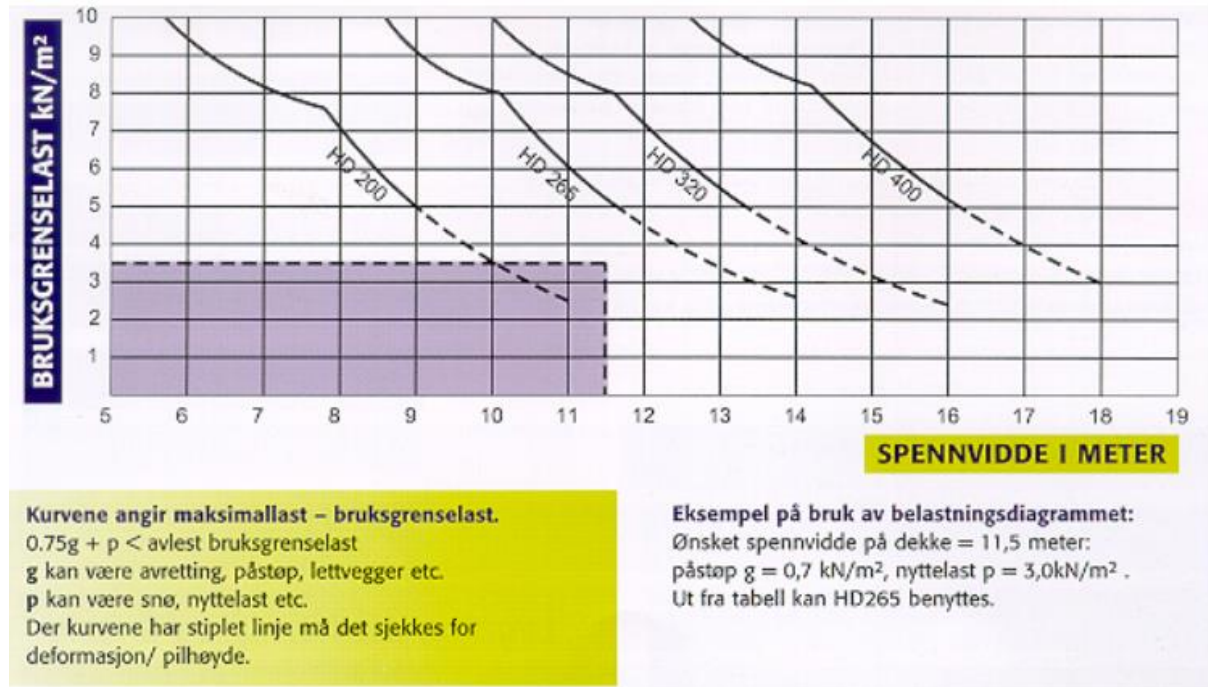
## Dimensjonering

De fleste produsenter leverer elementer med standard tykkelse og bredde, men kan også tilpasses til bestemte former etter ønske fra kunden. Standardbredde på elementene er 1200mm. Typisk standardtykkelse, eksponeringsklasser og egenvekt (beskriver hvilket miljø elementet er egnet for) er gitt i tabell under:

| Snitt hulldekke   | Type   | Egev fuget<br>kN/m <sup>2</sup> | Eksp.kl. | Brannkl. |
|---|--------|---------------------------------|----------|----------|
|    | Hd 200 | 3                               | XC3      | REI 90   |
|    | Hd 220 | 3,5                             | XD3*     | REI 120  |
|    | Hd 265 | 3,9                             | XC3      | REI 90   |
|    | Hd 285 | 4,4                             | XD3*     | REI 120  |
|   | Hd 320 | 4,2                             | XC3      | REI 90   |
|  | Hd 340 | 4,7                             | XD3*     | REI 120  |
|  | Hd 400 | 5,3                             | XC3      | REI 90   |
|  | Hd 420 | 5,8                             | XD3*     | REI 120  |
|  | Hd 500 | 6,7                             | XC3      | REI 90   |
|  | Hd 520 | 7,2                             | XD3*     | REI 120  |

Tabell 2.1: Tykkelse, egenvekt, eksponeringsklasse og brannklasse hulldekke (NorElement, 2017)

Dimensjonering av hulldekke utføres først og fremst ved å beregne lastpåkjenningen og lese av i tabell i forhold til spennvidde. Stiplet linje viser hvor deformasjonsforholdene er dominerende og bør undersøkes nærmere. Selv om elementet tåler lasten, men deformasjonen blir for stor, må man velge et tykkere element. Dimensjoneringsdiagram:



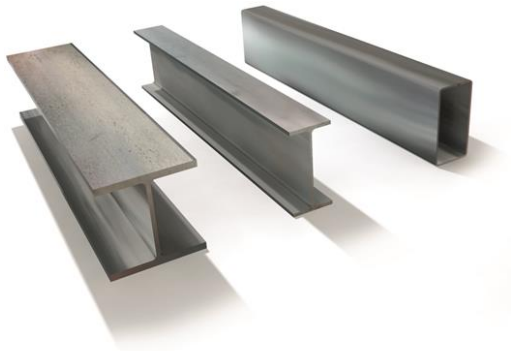
Figur 2.16: HD-diagram (NorElement, 2017)



## 2.4 Stål som konstruksjonsmateriale

### Anvendelse og egenskaper

Stål er et av de viktigste konstruksjonsmaterialene i verden og har flere fordeler fremfor andre byggematerialer. Det er et bestandig materiale med behov for lite vedlikehold. Stålbygg består oftest av prefabrikerte elementer som er nøyaktig tilpasset på fabrikk. Det har et bredt spekter av bruksområder og kan brukes i samvirkekonstruksjoner. Det er svært vanlig å bruke som bærende elementer i større konstruksjoner som høye skyskrapere, skip, plattformer, skoler, boligblokker og industribygg. New Yorks skyskrapere og Eiffeltårnet er to eksempler på dette. På grunn av svært lav egenvekt og lite volum i forhold til styrken kan man selv med lange spennvidder oppnå slanke konstruksjoner. (Metall Bygg AS, 2019)



Figur 2.17: Eksempel på stålprofiler (byggforsk.no)

### Oppbygging og kvalitet

Stålkonstruksjoner består av stålplater og stålprofiler som er sveist sammen eller sammenføyd med bolter, skruer eller nagler. Varmvalsede stålprofiler er mest benyttet og kan fås i mange forskjellige former og dimensjoner. Stålet kan ta opp både store trykk- og strekkrefter og kvaliteten ligger som regel mellom 330-550MPa. (SNL, 2014)

### Miljø

Dersom det tas hensyn til effektiv demontering under konstrueringen gir det gode muligheter for gjenbruk. Stål er 100% resirkulerbart og kan gjenvinnes gang på gang uten at det påvirker kvaliteten. Dette reduserer naturressursuttaket og CO<sub>2</sub> utslippene i produksjonen av komponentene.

## 2.5 Tilgjengelighet

Siden dette er et studentbygg oppført på vegne av Sit er det visse unntak fra Byggteknisk forskrift (TEK17) når det gjelder tilgjengelighet og bod pr. boenhet. Ifølge TEK17:

§ 1-2. Forskriftens anvendelse på særskilte tiltak;

- (6) I bygninger som oppføres som studentboliger av studentsamskipnader og studentboligstiftelser som har mottatt tilsagn om tilskudd til studentboliger etter forskrift 28. januar 2004 nr. 424 om tilskudd til studentboliger,
- a) er det tilstrekkelig at 20 prosent av boenhetene oppfyller kravene til tilgjengelig boenhet i § 12-7 fjerde ledd, § 12-8 første ledd, § 12-11 tredje ledd og § 12-18 tredje ledd, og utforming av bad og toalett i § 12-9 første ledd
  - b) gjelder ikke krav om bod etter § 12-10 annet ledd
  - c) skal det for besøkende være likestilt tilgang til toalett som oppfyller § 12-9 første ledd i hver etasje i bygning med krav om heis.

Kravene for tilgjengelig boenhet som gitt i §1-2 er beskrevet nærmere i TEK17 § 12-7, 12-8, 12-9, 12-11, 12-18 (dibk.no, 2019b).

Etasjene i Studenttorget er fordelt med følgende antall boenheter:

- 3. etasje: 14 hybler på 12,4 m<sup>2</sup> og 1 HC hybel på 18,0 m<sup>2</sup>.
- 4. etasje: 16 hybler på 12,4 m<sup>2</sup> og 1 HC hybel på 17,4 m<sup>2</sup>.
- 5. etasje: 16 hybler på 12,4 m<sup>2</sup> og 1 HC hybel på 17,4 m<sup>2</sup>.
- 6. etasje: 16 hybler på 12,4 m<sup>2</sup> og 1 HC hybel på 17,4 m<sup>2</sup>.
- 7. etasje: 16 hybler på 12,4 m<sup>2</sup> og 1 HC hybel på 17,4 m<sup>2</sup>.
- Hver etasje har i tillegg kjøkken/oppholdsrom på 55,4 m<sup>2</sup>.
- Til sammen 83 hybler, hvorav 5 er tilpasset handikapp/rullestol og oppfyller kravet om tilgjengelighet.
- Det er i tillegg 1 toalett i hver etasje som er tilrettelagt for rullestol.

Ved å definere hver hybel som en egen boenhet, ville det ikke vært nok handikapp-tilpassede rom i bygningen, jamfør krav i TEK17 §1-2 (6) med minimum 20%. Med totalt 83 hybler (inkludert 5 HC rom), skulle det med 20% dekning vært totalt 17 HC rom.

Det er i Husbankens Veileder for tilskudd til studentboliger (kapittel 6) åpning for hvordan boenheter skal defineres (Husbanken, 2017b). I dette prosjektet er hver etasje definert som et bofellesskap:

*Bofellesskap (3HE eller flere): Bolig tilrettelagt for tre eller flere studenter som har egen hybel (privatenhet), men som deler kjøkken og i noen tilfeller også bad/WC. Hyblene (privatenhetene) må ikke være under 10 m<sup>2</sup> og må lydmessig oppfylle kravene i gjeldende byggteknisk forskrift.*

Videre i veilederen heter det at:

*Ved tildeling av statstilskudd til bygging av studentboliger, angir Kunnskapsdepartementet størrelsen av tilskuddet i form av antall hybelenheter (HE). Med hybelenhet (HE) menes en bolig for en student.*

- *Boligen skal ha tilgang til kjøkken, bad og WC.  
> Oppholdsrommet (privatenheten) bør ikke være mindre enn 12 m<sup>2</sup> BRA (bruksareal). BRA per hybelenhet (HE), (inkl. andel av fellesarealer) bør normalt ikke være under 20 m<sup>2</sup>.*

For å tilfredsstille kravet om tilgjengelighet er hver etasje definert som egen boenhet. I tillegg er kravet om besøkstolett som oppfyller TEK17 § 12-9 oppfylt som beskrevet i TEK17 § 1-2 (6), ledd c.

## 2.6 Lyd

Lyd defineres som hurtige trykkforandringer med en frekvens og måles i Hz. Det hørbare området ligger på 20-20.000 svingninger i sekundet (Gjestland, 2018).

I følge *Norsk Treteknisk Institutt* vil massivtrekonstruksjoner gi bedre lyddemping enn standard trekonstruksjoner i og med at massivtre er tyngre. I tillegg vil et såkalt *eskeprinsipp* gi gode lydisolasjonsegenskaper siden hver boenhet har en strukturell adskillelse.

Lydkravene er særlig vektlagt støynivået ved arbeid, søvn, hvile og rekreasjon. Her vektlegges det at en vesentlig støyplage regnes som 20% misfornøyde brukere. Samtidig legges minimumsstandarden på 80% fornøyde brukere.

Ved prosjekteringsarbeid vil man isolere for luftlyden og trinnlyden (også kalt *strukturlyd*). Luftlyd er luftbårne lydbølger fra TV, tale, stereoanlegg, ..., som setter bygningsdelene i bevegelse. Trinnlyd kommer fra fottrinn og lignende, som konstruksjonen overfører fra en side til den andre. I motsetning til luftlyd, blir trinnlyd målt i det opplevde lydtrykksnivået i mottakerrommet.

Lydoverføringen skjer i praksis på to forskjellige måter:

- **Direktetransmisjon:** Lyden transplanteres direkte gjennom skillekonstruksjonen. Tyngre konstruksjoner isolerer bedre enn lette. Både luftlyd og strukturlyd kan skje ved direktetransmisjon.
- **Flanketransmisjon:** Lyden transplanteres gjennom tiliggende bygningsdeler. Årsaken kommer gjerne av utettheter, mekanisk sammenkobling eller kanaler over himlinger.

Det er utarbeidet løsningsmetoder for å hindre både vertikal og horisontal flanketransmisjon. Generelt handler det om å hindre konstruksjonsdeler som går kontinuerlig over flere etasjer eller boenheter. Ved vertikal flanketransmisjon ønsker man en elastisk opplagring, samt en liten kraftoverføringsflate. For horisontal flanketransmisjon legger man inn en lydfuge, dvs. et konstruksjonsskille mellom boenheter (det er dette som gjør eskeprinsippet foretrukket).

### 2.6.1 Luftlydisolasjon

I Byggteknisk forskrift (TEK17) er følgende gitt for lyd og vibrasjoner:

§ 13-6. *Lyd og vibrasjoner:*

- (1) Lydforhold skal være tilfredsstillende for personer som oppholder seg i byggverk og på uteoppholdsareal avsatt for rekreasjon og lek. Krav til lydforhold gjelder ut fra forutsatt bruk, og kan oppfylles ved å tilfredsstille lydklasse C i Norsk Standard NS 8175:2012 Lydforhold i bygninger Lydklasser for ulike bygningstyper.

I NS 8175:2012 kapittel 6 er kravet for luftlydisolasjon for lydklasse C satt til 55 dB for bruksområdet:

*Mellom boenheter innbyrdes og mellom en boenhet og fellesareal/kommunikasjonsvei, som fellesgang, svalgang, trapperom, trapp, o.l.*

I TEK17 §13-6 gjelder følgende unntak for luftlydisolasjon for studentboliger:

- (2) For studentboliger som omfattes av § 1-2 sjette og sjuende ledd, er det tilstrekkelig luftlydisolasjon mellom rom for varig opphold i boenhet og fellesareal eller kommunikasjonsvei, dersom veid feltmålt lydreduksjonstall  $R'_w$  er minimum 45 desibel.

I veiledningen til annet ledd står følgende:

*Hensikten med bestemmelsen er å gi større frihet i valg av planløsning, ved å angi redusert krav til luftlydisolasjon mellom rom for varig opphold og fellesareal eller kommunikasjonsvei.*

Det er i Husbankens Veileder for tilskudd til studentboliger (kapittel 6) presisert at de lydmessige kravene i TEK skal oppfylles selv om én etasje er å regne som én boenhet (Husbanken, 2017a):

*Bofelleskap (3HE eller flere): Bolig tilrettelagt for tre eller flere studenter som har egen hybel (privatenhet), men som deler kjøkken og i noen tilfeller også bad/WC. Hyblene (privatenhetene) må ikke være under 10 m<sup>2</sup> og må lydmessig oppfylle kravene i gjeldende byggeteknisk forskrift.*

Det vil si at en studentbolig må oppfylle krav om luftlydisolasjon mellom hyblene, men dog med redusert lydreduksjonstall  $R'_w$  på minimum 45 desibel.

## 2.6.2 Trinnlydisolasjon

I Byggeteknisk forskrift (TEK17) er følgende gitt for lyd og vibrasjoner:

*§ 13-6. Lyd og vibrasjoner:*

- (1) Lydforhold skal være tilfredsstillende for personer som oppholder seg i byggverk og på uteoppholdsareal avsatt for rekreasjon og lek. Krav til lydforhold gjelder ut fra forutsatt bruk, og kan oppfylles ved å tilfredsstille lydklasse C i Norsk Standard NS 8175:2012 Lydforhold i bygninger Lydklasser for ulike bygningstyper.

I NS 8175:2012 kapittel 6 er kravet for trinnlydisolasjon for lydklasse C satt til 53 dB for bruksområdet:

*Mellom boenheter (dette gjelder også takterrasser i tilstøtende boenheter)  
I en boenhet fra fellesareal/kommunikasjonsvei, som fellesgang, svalgang,  
trapperom, trapp, o.l.*

For trinnlydisolasjon er det ikke noen unntak for studentboliger.

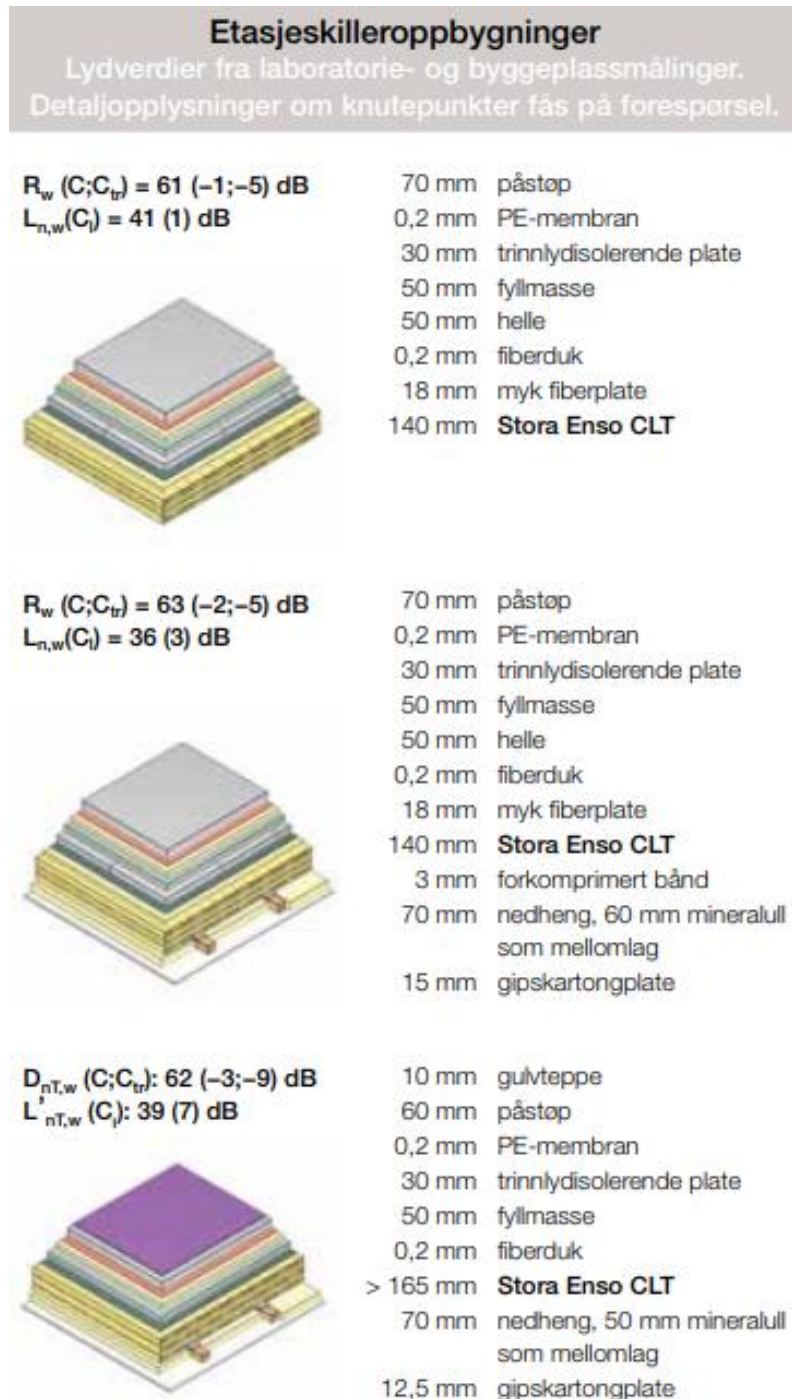
## 2.6.3 Lydegenskaper massivtre

Norsk Treteknisk Institutt i deres Håndbok – bygge med Massivtreelementer, Hefte 5 Lyd, kommer de med tre metoder for å tilfredsstille forskriftenes funksjonskrav for lydisolering av en etasjeskiller:

- Flytende gulv på oversiden.
- Frittstående himling på undersiden.
- Frittstående konstruksjon.

## Etasjeskille

Siden en bygningskonstruksjon av massivtreelementer blir lettere i forhold til stål og betong, vil det være vanskeligere å tilfredsstille lavfrekvensegenskapene. For å forbedre trinnlydisisolasjonen anbefaler Treteknisk derfor å tilføre ekstra masser for å øke dempingen. Dette kan være av sand, pukk, betong, etc. I tillegg er det normalt å bruke andre lydisolerende materialer for å oppnå gitt lydkrav. Se eksempel under:



Figur 2.18: Etasjeskilleroppbygninger med gitt lydverdi (woodcon.no)

## Vegg

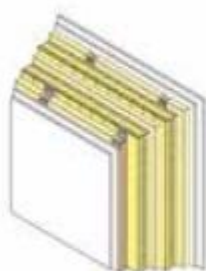
Skillevegger mellom boenheter hvor det er lydkrav, bør utføres som en dobbelvegg med luft- og/eller isolasjonsjikt imellom. For å redusere flanketransmisjonen bør elementer i etasjeskille være opplagt på hver sin side av dobbeltveggen uten direkte kontakt. I andre tilfeller hvor det ikke er høye lydkrav og intet ønske om synlige overflater, kan veggen fores inn med lydisolerende materialer. Eksempler på skilleveggoppbygninger med gitt lydkrav er gitt her:

### Skilleveggoppbygninger

Lydverdier fra laboratorie- og byggeplassmålinger.  
Detaljopplysninger om knutepunkter fås på forespørsel.

$D_{nT,w} (C;C_{tr}): 67 (-1;-4) \text{ dB}$

To lag CLT, kledning



- 12,5 mm gipskartongplate
- 12,5 mm gipskartongplate
- 50 mm frittstående kledning  
(CW-profil inkl. 50 mm mineralull)
- 5 mm underlagsbånd
- 100 mm **Stora Enso CLT**
- 40 mm mineralull
- 100 mm **Stora Enso CLT**
- 5 mm underlagsbånd
- 50 mm frittstående kledning inkl.  
50 mm mineralull)
- 12,5 mm gipskartongplate
- 12,5 mm gipskartongplate

$D_{nT,w} (C;C_{tr}): 60 (-2;-8) \text{ dB}$

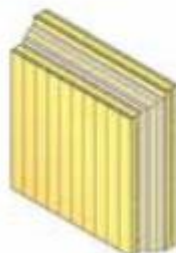
Ett lag CLT, kledning



- 12,5 mm gipskartongplate
- 100 mm **Stora Enso CLT**
- 5 mm underlagsbånd
- 50 mm frittstående kledning  
(CW-profil inkl. 50 mm mineralull)
- 12,5 mm gipskartongplate
- 12,5 mm gipskartongplate

$D_{nT,w} (C;C_{tr}): 61 (-3;-10) \text{ dB}$

To lag synlig CLT



- 100 mm **Stora Enso CLT**
- 12,5 mm gipskartongplate
- 30 mm mineralull
- 30 mm mineralull
- 5 mm luftlag
- 100 mm **Stora Enso CLT**

Figur 2.19: Skilleveggoppbygninger med gitt lydverdi (woodcon.no)

## 2.7 Brann

Brann er en hendelse som opptrer plutselig og voldsomt og som vi ønsker å beskytte oss mot så godt vi kan. Derfor er det ført inn i Byggeteknisk Forskrift regler for hvordan man skal prosjektere for å minske faren for tap av liv og store materielle skader.

Uheldigvis er det aldri mulig å forsikre seg fullstendig mot brann. Av den grunn er den overordnede bestemmelsen at personer, materielle verdier og miljø- og samfunnsmessige skal sikres *tilfredsstillende*. Personersikkerheten er viktigere enn materielle verdier, samtidig går det et øvre tak på hvor mye vi skal legge i beskyttelse.

Det fins tre ulike branntyper (Kirkhus, 2017, s. 65–66):

- *Flammebrann*: Et stoff blir varmet opp og avgir gasser. Gassene antennes. Flammen vi ser er glødende sotpartikler og forbrenningsprosessen vedlikeholdes ved at flammen avgir strålevarme.
- *Glødebrann*: Forbrenning uten flammer, men med varme og lys. Opptrer gjerne i porøse materialer.
- *Ulmebrann*: Den avgir nærmest ikke stråleflamme. Den har kald, gråaktig røyk og utvikler giftige forbrenningsgasser.

Norsk Treteknisk Institutt skriver i *Håndbok – bygge med Massivtreelementer, Hefte 4 Brann* at tre brenner forutsigbart. Tre materialer har lav antennelsestemperatur, men i motsetning til stål (som vil smelte og deformeres) vil den gjenværende trekonstruksjonen (som ikke er forkullet) opprettholde bæring og stabilitet.

Den største personfaren ved brann er ikke flammene, men røyken. Røyk- og brannspredning vil innvendig skje gjennom åpne eller utette dører og gjennom rør, kanalgjennomføringer og sjakter. Utvendig vil brannen spre seg langs takkonstruksjoner, vindu og andre hulrom.

Et brannforløp går gjennom fem faser:

1. *Antennelse*
2. *Utviklingsfase*: Her har egenskapene til overflatene stor betydning (også kalt brenselkontrollert).
3. *Overtening*: Her vil alt brennbart materiale bli involvert. Dette kan ta fra noen sekunder til et halvt minutt.
4. *Fullt utviklet brann*: Her vil effekten og temperaturen være avhengig lufttilstrømningen (også kalt ventilasjonskontrollert). Det er under dette stadiet at konstruksjonens bæreevne og stabilitet er viktig.
5. *Avkjølingsfase*: Brannen dør ut ved at det brennbare materialet er brent opp og tilgangen på oksygen er liten.

Den termiske nedbrytningen til trevirket skjer når alt vannet er fordampet. Da begynner treoverflaten å forkulle, og siden kull har en lavere varmeledningsevne enn tre (ca. 0,07 W/m°C mot 0,14 W/m°C) vil kullet dermed virke som et beskyttende lag mot det bakenforliggende trevirket (Treteknisk, 2006b, b. 6).

Nedbrytningen gjennomgår fire faser:

1. 110 - 230°C: *Termisk dekomposisjon*. Treets bestanddeler omgjøres til gasser.
2. 230 - 260°C: *Flammepunktet nås*. Treets lettere gasser antennes.
3. 260 - 290°C: *Brennpunkt*. Gassene har en sammensetning og temperatur som gjør at den forbrenner med varmeoverskudd.
4. 350 - 450°C: *Selvantennelse*. Gassene vil antennes i kontakt med luft uten tilstedeværelse av flamme.

Brann sprer seg gjennom varmestråling, varmeledning og varmestrømning. Konstruksjonselementer som er ubrennbare, men som har god varmeledningsevne kan lede varmen videre og hete gasser strømmer til andre rom på grunn av overtrykk. I tillegg til nevnte tre brannspredninger, kan brann også spre seg ved hjelp av flyvende og glødende materialer.

### 2.7.1 Myndighetskrav

Treteknisk nevner måter å dokumentere at kravene til brannsikkerhet er oppfylt.

Ved preaksepterte løsninger:

- Løsningene er i samsvar med prinsipper og ytelser gitt i veiledningen til teknisk forskrift.
- Prosjektdokumentasjonen må fremlegge forutsetninger og inngangsparametere lagt til grunn.

Ved analyse/beregninger:

- Simulere brannforløp og angi nødvendige sikkerhetsmarginer.
- Å dokumentere at anvendt analyse/beregningsmetode er egnet til formålet.
- Dimensjonerende brannbelastning kommer frem ved anerkjente dokumenterbare metoder.

Ved blandingsløsninger:

- Bruk av anerkjente og utprøvde løsninger, sammen med analyse/beregninger.

Blandingsløsninger brukes når det er liten konsekvens for personsikkerheten og det forutsettes av delanalysene ikke forringer sikkerhetsnivået forøvrig.

### 2.7.2 Brannteknisk prosjektering

Siden rømningsveger og brannteknisk oppdeling vil være avgjørende faktorer for planløsningen, vil det være et poeng i å starte så tidlig som mulig med den branntekniske prosjekteringen. Til hjelp til prosjekteringen sorteres byggverk inn i risikoklasser og brannklasser.

Risikoklasser deles inn i seks kategorier avhengig av den trusselen en brann er for skade på liv og helse. Klassene rangeres fra 1 (lavest) til 6 (høyest) og man legger til grunn fire spørsmål når man bestemmer risikoklassen til et byggverk (Kirkhus, 2017, s. 69):

- Er byggverket kun beregnet til sporadisk personopphold?
- Er personene kjent med rømningsforholdene og kan de bringe seg selv i sikkerhet?
- Er byggverket beregnet for overnatting?
- Medfører den tiltenkte bruken av byggverket liten brannfare?



| Risiko-<br>klasser | Kun beregnet til<br>sporadisk<br>personhopp hold | Rømningsforholdene<br>er kjent og personer<br>kan bringe seg selv i<br>sikkerhet | Beregnet<br>for<br>overnatting | Tiltenkt<br>brukt<br>medfører<br>liten<br>brannfare | Typiske<br>eksempler |
|--------------------|--|--|--------------------------------|---|----------------------|
| 1                  | ja   | ja   | nei                            | ja  | garasje              |
| 2                  | ja/nei   | ja   | nei                            | nei   | kontor               |
| 3                  | nei  | ja   | nei                            | ja  | skole                |
| 4                  | nei  | ja   | ja                             | ja  | bolig                |
| 5                  | nei  | nei  | nei                            | ja  | forsamlingslokale    |
| 6                  | nei  | nei  | ja                             | ja  | overnattingssted     |

Tabell 2.2: Risikoklasser og typiske eksempler

Brannklasser deles inn i fire avhengig av den konsekvensen en brann kan ha på liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljø. Brannklassen forteller hvilken bæreevne bygninger skal ha ved brann og bestemmes av risikoklassen pluss antall etasjer. Brannklasse 4 brukes kun hvor konsekvensene er særlig store og den ansvarlig prosjekterende må dokumentere at kravene er oppfylt. Typiske eksempler på BKL 4 er høyhus med over 16 etasjer, kjemisk industri eller lager for brann-, helse eller miljøfarlige stoffer (dibk.no, 2019a).

| Risikoklasser | 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         |

Tabell 2.3: Brannklasser gitt av risikoklasser og antall etasjer.

### 2.7.3 Branncelle og -seksjoner

Byggverk kan bestå av rom/bygningsdeler hvor det er ulik fare for at en brann oppstår eller ulik risiko for liv og helse ved en slik situasjon. En branncelle er et rom eller en del av en bygning som har en gitt brannmotstand. Bygninger skal seksjoneres opp i brannceller hvor det er hensiktsmessig. Formålet er å begrense spredningen fra en branncelle til en annen. Dersom det oppstår en brann i en branncelle, skal denne kunne fritt utvikle seg i rommet uten å spre seg til andre brannceller. (dibk.no, hentet 26.03.2019)

Brannseksjoner er en egen del av bygningen skilt av en seksjoneringsvegg. Brannseksjonen har til hensikt å ikke la brannen spre seg utenfor seksjonen.

## 2.7.4 Brannteknisk dimensjonering

NS-EN 1991-1-2 forteller at lastene som fungerer på en konstruksjon fra branneksponeering klassifiseres som *ulykkeslaster*, samt at den branntekniske dimensjoneringen bestemmes av:

- Valg av aktuelt dimensjonerende brannscenario.
- Bestemmelse av tilhørende dimensjonerende brann.
- Beregning av temperaturutvikling i konstruksjonsdelene.
- Beregning av mekanisk oppførsel av konstruksjonen utsatt for brann.

Videre forteller standarden at et bygg skal planlegges og oppføres slik at det, i tilfelle brann, vil:

- ha en viss bæreevne i et gitt tidsrom,
- begrense utviklingen og spredningen av brann og røyk,
- begrense spredning av brann til tilstøtende bygg,
- være mulig å redde personer uskadd fra bygningen,
- ta hensyn til redningsmannskapenes sikkerhet.

Treteknisk (2006b, b. 3) forteller at for å beskytte mot brann burde man:

- øke tykkelsen og/eller fasthetsklassen på yttersjiktene,
- øke tykkelsen og/eller fasthetsklassen på innersjiktene hvis yttersjiktene forkulles,
- ikke eksponere yttersjiktene direkte for brannpåkjenning.

## 2.7.5 Brannsikkerhet massivtre

Trevirke er et brennbart materiale, som vil si at en bygning i massivtre kan bli fullstendig nedbrutt av brann. Tross dette har massivtre flere gode brannegenskaper.

Treteknisk forteller at ved brann vil ikke temperaturen i et ueksponert rom øke nevneverdig om naborommet står i fyr. Dette er på grunn av trevirkets lave varmegjennomgang som opprettholder massivtreets gode isolasjon- og integritetsegenskaper.

Dersom et element brenner lenge nok, er det mulighet for at lamellene vil begynne å falle av (delaminering). Dette vil bidra til at varmeavgivelsen fra elementet øker og mister forkullingslaget sitt som gir det ferske trevirket mer oksygen. I slike tilfeller vil det ta lengre tid før brannen slokner. I de fleste store konstruksjoner i massivtre vil det være sprinkelanlegg som bidrar i slokningen.

Siden massivtreelementer har få materialsjikt og på grunn av sin oppbygning, vil den få en mer kompakt og tett konstruksjon uten kritiske hulrom. Dette er med på å bidra til at massivtreet er mindre utsatt for sammenbrudd og kollaps ved brann, enn ved lette trekonstruksjoner.

For å sikre kravet til integritet er det viktig å utføre sammenføyninger slik at det ikke oppstår direkte eller gjennomgående luftspalter. Ved doble konstruksjoner, hvor det vil være en lydskillevegg, er det nødvendig med god tetting for å hindre brannspredning mellom rommene.

### **Innbrenningshastighet**

Hvor fort massivtreelementer brenner avhenger av hvilken type element det er (kantstilt, krysslågt, hulrom), hvilke forbindelsesmidler som er brukt, sammenføyningsmetoden og hvor stor tyngden til konstruksjonen blir.

Elementer rangert fra lavest til høyest innbrenningshastighet (Treteknisk, 2006a, b. 6)

1. Både flat- og kantlimte elementer.
2. Kun flatlimte elementer.
3. Dyblede/spikrede elementer.
4. Kantstilte elementer.

Massivtre brenner forutsigbart med tilnærmet konstant hastighet. Standarden NS 3470-2 («NS 3470-2:2003») viser innbrenningshastigheter for ulike typer produkter av trevirke, se tabell under. Når elementet brenner vil det gjenværende tverrsnittet bak forkullingslaget opprettholde sin styrke. Massivtreet vil få store reserver angående bæreevne og stabilitet. Det er to forskjellige innbrenningshastigheter som brukes. Begge beregnes med brannekspnering på én side av elementet. Den ene er  $\beta_0$  (endimensjonal innbrenning) hvor det kun er overflaten som blir betraktet, mens den andre er  $\beta_n$  (todimensjonal innbrenning) hvor man regner med både overflaten og hjørneeffekten. For å beregne bæreevne etter brann i en gitt tid blir man nødt til å beregne det effektive tverrsnittet. Det gjøres ved å redusere bredden på elementet med den effektive forkullingsdybden, gitt ved:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0$$

$d_{ef}$  = effektiv forkullingsdybde (mm)

$d_{char,n} = \beta_n \times t =$  nominell forkullingsdybde (mm)

$\beta_n =$  nominell forkullingshastighet ( $\frac{mm}{min}$ )

$t =$  brannekspneringstid (min)

$d_0 = 7$  mm

$k_0 = \{t/20 \text{ for } t < 20 \text{ min} \mid 1,0 \text{ for } t \geq 20 \text{ min}\}$

| Material   | $\beta_0$<br>(mm/min) | $\beta_n$<br>(mm/min) |
|--|-----------------------|-----------------------|
| a) Bartre og bøk   |                       |                       |
| Limtre med karakteristisk densitet $\geq 290 \text{ kg/m}^3$                   | 0,65                  | 0,70                  |
| Massivt tre med karakteristisk densitet $\geq 290 \text{ kg/m}^3$              | 0,65                  | 0,80                  |
| b) Løvtre (minus bøk)  |                       |                       |
| Massivt tre eller limtre med karakteristisk densitet $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65                  | 0,70                  |
| Massivt tre eller limtre med karakteristisk densitet $\geq 450 \text{ kg/m}^3$ | 0,50                  | 0,55                  |
| c) LVL<br>med karakteristisk densitet $\geq 480 \text{ kg/m}^3$                | 0,65                  | 0,70                  |
| d) Trebaserte plater   |                       |                       |
| Trekledning  | 0,90*                 | –                     |
| Kryssfiner   | 1,00*                 | –                     |
| Andre trebaserte plater  | 0,90*                 | –                     |

\* Disse verdiene gjelder for plater med karakteristisk densitet på  $450 \text{ kg/m}^3$  og en tykkelse på 20 mm. EN 1995-1-2 har metoder for å beregne verdier for andre densiteter og tykkelser.

Tabell 2.4: Innbrenningshastighet på tvers av fiberretning for ulike treprodukter (moelven.no)

### **Bæreevne**

Ved brannteknisk dimensjonering av massivtreelementer er det normalt å dele inn i enkelte bygningsdeler på elementnivå. Det kan være bærende og/eller brannskillende vegger, søyler, dekker, etc. Elementer som blir utsatt for brann vil som regel forme seg asymmetrisk på grunn av temperatur og forkulling. Den letteste måten å beregne bæreevnen til elementet vil være å bruke det forventede gjenværende tverrsnittet bak forkullingslaget som er beregnet ut fra innbrenningshastighet. Bygningsdelen vil bli dimensjonert som en «kald» del. Det vil si at kjernen, det tverrsnittet som ikke er brent, opprettholder sin normale bæreevne. Det blir tatt hensyn til at et lite sjikt på innsiden av forkullingslaget kan være påvirket og blir dermed ikke medtatt i det statiske samvirke.

Yttersjiktet kan i noen tilfeller ha høyere fasthetsklasse enn innersjiktene. Dette må tas hensyn til ved beregningen, da det har betydning for stivhetsegenskapene til elementet. Yttersjiktet ligger som regel parallellt med elementets spennretning. Ved enveisbæring vil derfor nedbrytning av yttersjikt ha mye å si for bæreevnen til elementet. Elementer med toveisbæring har den egenskapen at de tverrgående sjiktene kan avlaste de langsgående sjiktene når disse blir eksponert for brann.

### **Preaksepterte løsninger**

Kunnskapen for høye bygninger i massivtre i forbindelse med brann er fortsatt mangelfull. For byggverk i massivtre eller andre bærende trekonstruksjoner finnes det foreløpig ingen preaksepterte løsninger for byggverk i brannklasse 3. (Wormdahl, Hox, & Steen-Hansen, 2017)

## 2.8 Miljø

### 2.8.1 «Gode bygg for eit betre samfunn»

Regjeringen la i 2011-2012 frem i stortingsmeldingen «Gode bygg for eit betre samfunn» (Regjeringen Stoltenberg II, 2012) at de ønsker en framtidsrettet bygningspolitikk gjennom bærekraftige bygg og byggeprosesser. Dette er fordi de anser bygg som et grunnleggende gode og fordi gode bygg er en forutsetning for et velfungerende samfunn.

Bygningspolitikken definerer regjeringen som «statlege mål, føringar og verkemiddel som påverkar byggjesaksprosessar, byggjeverksemda og det bygde miljøet.» Hovedvekten legger de på å fremme bærekraftige bygg med lav ressursbruk. At utviklingen skal være bærekraftig kan kun skje når miljøkonsekvensene ikke går utover hva naturen evner å tåle.

For å få dette til vektlegger regjeringa fire satsingsområder:

1. *«Vi skal bygge smartere og med bedre kvalitet»*

Her ønskes det at byggenæringen skal bli mer kostnadseffektiv og samtidig leverer riktig kvalitet i alle ledd. Tiltak for å oppnå dette er digitalisering gjennom bruk av ny informasjonsteknologi, redusere antall byggefeil, bygge med god arkitektur, tilpasse bygg til et fuktigere klima samt ha et godt innklima.

2. *«Bygg skal bruke stadig mindre energi»*

For å oppnå dette stiller regjeringen strengere energikrav frem mot 2020 og stimulerer til mindre energibruk i eksisterende bygninger gjennom kompetanseheving og tilskuddsordninger.

3. *«Forenkling av regelverk og byggeprosesser»*

Det vil si å forenkle Plan og bygningsloven for å redusere tidsbruken og kostnaden for involverte parter.

4. *«Et kunnskapsløft for byggsektoren»*

Med det ønsker regjeringen tiltak for å forbedre byggfaglig utdanning, styrke byggrelatert forskning og innovasjonsarbeid og formidle ny og eksisterende kunnskap.

### 2.8.2 Byggenæringen og global oppvarming

Vår tids største utfordring er å minske utslippet av drivhusgasser i atmosfæren. Ifølge Bjørn Samset, seniorforsker i Cicero, i samtale med Tore Sagen har den globale temperaturen steget med 1°C siden den industrielle revolusjonen og er forventet å fortsette å stige fremover. Til sammenligning var temperaturen under den siste istiden 4°C kjøligere enn før den industrielle revolusjonen (Sagen, 2019). Det vil si at klimaendringene skjer drastisk raskere i vår tid, enn de tidligere har gjort naturlig. Det samme slår FNs klimapanel også fast. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018)

Byggenæringen er i så måte en stor syndebukk når det kommer til CO<sub>2</sub>-utslipp. NIBIO legger frem at byggenæringen kan minske klimagassutslippene på tre måter (Hill & Zimmer, 2018):

- Bygge energieffektive bygg;
- Bruke materialer med lavt forbruk av grå energi;
- Lagre karbondioksid i byggematerialer.

Videre skriver NIBIO at norsk skog tar i dag opp CO<sub>2</sub> tilsvarende 40 % av de årlige klimagassutslippene. Når man legger til at trevirke er en fornybar ressurs hvor utnyttingsgraden er svært høy, blir trevirke et svært miljøvennlig produkt. For en vanlig tømmerstokk vil halvparten bli brukt til byggematerialer, mens resten går til andre formål. Når vi også legger til grunn at trevirke kan gjenbrukes, gjenvinnes eller bli til biobrensel regner vi treprodukter for å ha gode miljøegenskaper (Treteknisk, 2006b, b. 1).

Trevirke har en klimanøytral profil siden det kun frigjør den samme mengden CO<sub>2</sub> som den har bundet opp gjennom livsfasen.

Det finnes i midlertid en studie fra USA som stiller spørsmål ved om tre som bygningsmateriale faktisk er klimanøytralt (Emily Lorenz, Martha VanGeem, Ke Li, Thomas Lawrence, & Rita Schenck, 2016). Den belyser flere svakheter ved livssyklusanalyser brukt på tre som bygningsmateriale. Det må poengteres at selv om forfatterne av rapporten er uavhengige personer så er rapporten sponset av Portland Cement Association. Materialet rapporten bygger på virker så langt vi klarer å avgjøre allikevel å være bra og grundig.

I en masterstudie fra 2016 (Skullestad, 2016) er Life Cycle Assessment, livsløpsanalyse (LCA), brukt for å finne miljøpåvirkningen for høyhus (3 til 21 etasjer) i massivtre sammenlignet med tilsvarende bygg i armert betong. Konklusjonen er at et bygg med bæresystem i tre (lim- og massivtre) gir 34 – 84 % lavere klimapåvirkning enn tilsvarende bygg i armert betong, tilsvarende besparelse på 29 – 314 kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> bruttoareal. Det store spennet i besparelse avhenger av antall etasjer og antakelser og analyseperspektiv for livsløpsanalysen. Det er også verdt å merke seg at bygg med bæresystem i tre vil besparelsen i klimagassutslipp reduseres for bygg mellom 3 og 12 etasjer, mens besparelsen øker for bygg mellom 12 og 21 etasjer, sammenlignet med bygg i armert betong. Dette skyldes «CO<sub>2</sub>-premien» for bygningshøyde, og kan leses mer om i nevnte masterstudie.

Ved byggingen av Romsdal vgs (se vedlegg 5) gikk det med 11.070 trær, og massivtre-elementene ble produsert ved Stora Enso fabrikk i Østerrike. 60% av trærne ble brukt til byggematerialer og resten gikk til produksjon av papir, emballasje og energi. Ifølge Stora Enso vil denne mengden trær vokse til igjen i løpet av 3,6 timer en sommerdag i de østerrikske skogene. Det ble fjernet 9.170 tonn CO<sub>2</sub> fra atmosfæren når Romsdal vgs ble bygget. For ytterligere reduksjon av klimagasser ble elementene fraktet med tog fra Østerrike til Åndalsnes, og med lastebil kun fra Åndalsnes til byggeplassen.

Klimagassregnskapet for Bjørkelangen Skole, som er delvis bygd i massivtre (etasjeskillere, inner- og yttervegger) (Neerland, 2017), viser at klimagassutslippene er redusert med til sammen 42% ved valg av bærekraftige materialer og effektive energiløsninger, sammenlignet med et referansebygg. Materialbruken isolert sett reduserer klimagassutslippene med 42,6%. Interessant nok så er den største reduksjonen i utslipp fra bygningskategorien *grunn og fundament*, da det er utstrakt bruk av resirkulert materiale i pelene, samt bruk av lavkarbonbetong. I tillegg er massivtre ca. 30% lettere enn tilsvarende bygg i stål og betong, noe som også gir reduksjon i bruk av både betong og armering i fundamenteringen. Utslipsreduksjonen er sett i en livsløpsanalyse (LCA) på 60 år. Massivtre-elementene ble produsert i Latvia.

### 2.8.3 Grønne tak

Klimaet i Norge blir varmere og våtere og med tettere urbanisering øker behovet for lokal overvannshåndtering. Et grønt tak kan være med på å avlaste vannledningene i byene. I artikkelen «Grønne tak» har SINTEF Byggforsk (2012) gjort en grundig undersøkelse rundt hvordan grønne tak kan bygges i Norge og hvilken effekt de tilfører.

Funksjonen til et grønt tak er å holde tilbake vann, forsinke avrenningen og redusere avrenningsintensiteten. Grønne tak sine evner til å redusere avrenningen avhenger av oppbyggingen, vanninnholdet og nedbørintensiteten. Ved oppbygging ilegges jordsmonnet, tykkelsen på jordsmonnet og plantedekket. Beplantning tilfører også bygget en estetisk verdi som folk finner hyggelig.

For å håndtere overvann lagde København kommune «Københavns Kommunes Spildvannsplan 2008». Her fremhever de at et grønt tak skal oppfylle minst to av følgende krav:

- *absorbere 50-80% af den nedbør, der falder på tagarealet*
- *bibringe en afkølede og isolerende effekt på bygningen og mindske refleksionen*
- *bidrage til at gøre byen grønnere for at reducere den såkaldte "varmeø-effekt" og derved modvirke øget temperaturstigning i byerne*
- *bidrage til en visuel og æstetisk arkitektonisk variation, der har en positiv effekt på borgernes livskvalitet*
- *fordoble tagets levetid, da tagmembranen er beskyttet mod UV-strålernes nedbrydende effekt*

SINTEF Byggforsk deler grønne tak inn ekstensive, semi-intensive og intensive typer alt etter hvor mye stell de trenger. Ekstensive tak trenger lite vedlikehold, semi-intensive er en mellomting og intensive tak har et stort behov for vanning, gjødsling og vedlikehold.

Ekstensive tak legges gjerne ut i vegetasjonsmatter. De har liten vekt og tåler en begrenset mengde menneskelig aktivitet. Det er vannansamlende planter som klarer å overleve i det tynne vekstgrunnetlaget ekstensive tak gir. Det vil si planter med tykke blader, moser, gress og staudearter.



Figur 2.20: Eksempel på ekstensivt grønt tak. Foto: UMB (Hentet fra Grønne tak, SINTEF Byggforsk 2012)





Semi-intensive tak er noe tyngre, men de kan fortsatt legges som matter, eventuelt strøs ut som frø. Norge har en tradisjon for slik taklegging gjennom torvtak.

Figur 2.21: Eksempel på semi-intensivt tak. Foto: ILP/UMB  
(Hentet fra Grønne tak, SINTEF Byggforsk 2012)

Intensive tak skal tåle menneskelig aktivitet og har gjerne stor vekt. SINTEF Byggforsk nevner et spenn på 200-1000 kg/m<sup>2</sup> i vannmettet tilstand. Av den grunn vil bæreelementene også måtte dimensjoneres etter den ekstra vekten. Beplantningen består gjerne av prydplanter tilpasset det lokale klimaet. Det gjelder å unngå trær med aggressive røtter og planter som lett tas av vinden. En takhage vil gå under denne kategorien.



Figur 2.22: Eksempel på intensivt grønt tak. Foto: SINTEF Byggforsk (Hentet fra Grønne tak, SINTEF Byggforsk 2012)

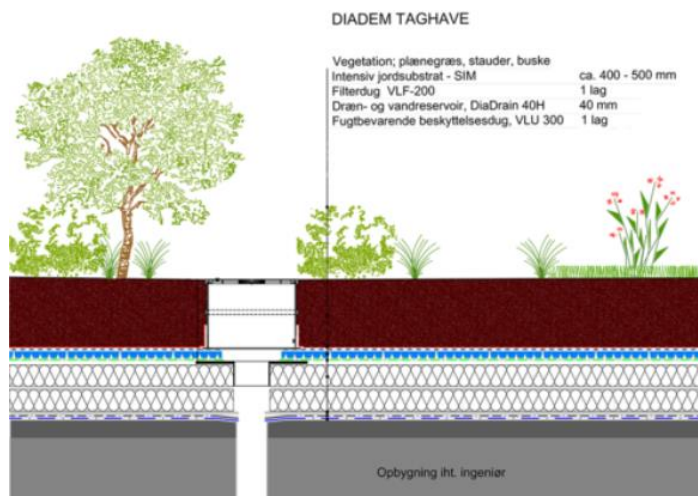


### Bgreen-it Takhager

Byggros er en av leverandørene som leverer systemløsninger for takhager. Bgreen-it takhager gjør det mulig med beplantning av gress, busker, trær og blomster på tak med flere designmuligheter. Vi valgte å bruke denne løsningen på takhagen i konstruksjonen. I beregningene våre er den dimensjonerende vekten tatt utgangspunkt i teknisk data fra denne leverandøren. Jordlag = 400mm.

|  |   |
|--|---|
| Vekt vannmettet                                | fra 350 - 1300 kg/m <sup>2</sup> , Avhengig av jordtykkelse |
| Materiale, avløp og vannreservoar              | HIPS gjenvunnet plast                                       |
| System tykkelse                                | 300 - 1000 mm   |
| Vannretensjon av årlig nedbør                  | Opptil 90 %   |
| Vannretensjon i avløps- og vannreservoarplaten | 19,59 liter vann/m <sup>2</sup>                             |
| Maks. vannabsorpsjon                           | 150 - 440 l/m <sup>2</sup>                                  |
| Rothemmende membranen                          | Rothemmende membran av rotfast overpapp                     |

Tabell 2.5: Teknisk data for Bgreen-it takhager (byggros.no, hentet 27.03.2019)



Figur 2.23: Oppbygging av Bgreen-it takhage (byggros.no, hentet 27.03.2019)

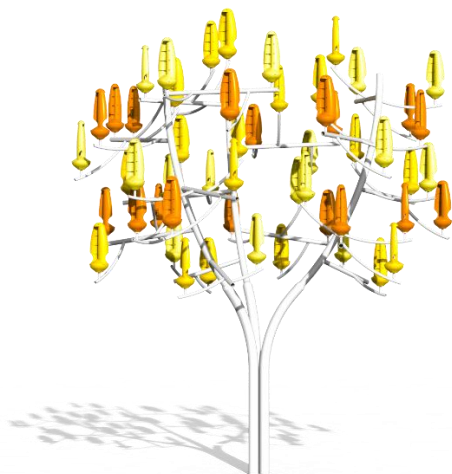
### 2.8.4 Fjernvarme

Ålesund har et godt utbygd fjernvarmenett (Tafjord Kraft, 2019) og NTNU er allerede tilknyttet fjernvarmenettet. Vi tar det som en selvfølge at også Studenttorget tilknyttes fjernvarmenettet, slik at energi til oppvarming av bygg og varmt vann leveres av det eksisterende fjernvarmeanlegget, for ytterligere reduksjon av behovet av elektrisk energi. Fjernvarme kan også benyttes til å holde uteområdet utenfor Studenttorget snø- og isfritt.

## 2.8.5 Mulige miljøtiltak

Det finnes mange tiltak som kan benyttes for å forbedre energibehovet og klimaavtrykket til et bygg. De mest opplagte er tradisjonelle solceller på tak eller vegg for energiproduksjon (med en sørvendt fasade så er plasseringen veldig god for å utnytte solforhold), beplantning på både takterrasse i 3. etasje samt på tak (gress og/eller planter tar opp CO<sub>2</sub>) og bruk av fjernvarme for oppvarming av bygg og varmt vann. Det finnes også andre, mer eller mindre kjente og foreløpig lite brukte, tiltak for å forbedre klimaavtrykket:

- The Wind Tree – vindtreet (New World Wind, 2018). Et kunstig tre med 54 mini-turbiner som produserer opp til 5,4 kW med strøm. Treet kan produsere strøm allerede fra 2 m/s med vind. Ulempen er at disse foreløpig er ganske dyre; €49.500. Ett vindtre kan f.eks. produsere strøm nok til å drive opp til 15 utelys, og flere slike vindtre kunne gitt strøm nok til belysningen utendørs ved Studenttorget, og når det ikke er behov for utelys så kan strømmen benyttes innendørs. Treet er også beskrevet i Teknisk Ukeblad (Lie, 2015).



Figur 2.24: The Wind Tree (New World Wind, 2018)

- Gjennomsiktige solceller (Service, 2018) (University, 2017) (Next Energy Technologies Inc., 2016) i vinduer. Det er flere teknologier under utvikling som vil gjøre vanlige vinduer til solceller som produserer strøm. Flere av teknologiene filtrerer UV og infrarøde stråler fra sollyset og omgjør dette til strøm, som også bidrar til å redusere strålevarmen fra sola i å komme inn i bygget. Dette igjen reduserer behovet for nedkjøling, spesielt på sommerstid. Studenttorget, med sørvendt fasade og fem etasjer med for det meste glass, ville vært ideell for slike vinduer. Disse er foreløpig i utviklingsstadiet og så vidt vi har funnet ut ikke foreløpig i kommersiell produksjon og salg. Dermed er heller ikke pris tilgjengelig, selv om flere av bedriftene påstår at investeringen er inntjent etter 1 år i drift (Next Energy Technologies Inc., 2019) («Ubiquitous Energy, Inc.», 2019) («SolarWindow Technologies, Inc.», 2019). Disse vinduene er utviklet i USA så hvilken U-verdi de har er foreløpig ukjent.

- Ferskvann er en begrenset ressurs på jorden, og ferskvann står for bare tre prosent av alt vann på jorden, resten er saltvann (Thaulow, 2018). Men nesten all ferskvann er lagret i ismassene på Antarktisk, Grønland og i dype undervannsreservoarer, og er pr i dag teknisk og/eller økonomisk utilgjengelige. Det er bare 0,3 prosent av ferskvannsreservene som er lett tilgjengelige i elver og innsjøer (Thaulow, 2018). Selv om vi kanskje har mer enn nok ferskvann i Norge, er det en ressurs som ikke burde sløses med, noe tørken sommeren 2018 var et bevis på. For å redusere vannforbruket noe kan man ta i bruk vaskeservanter som gjenbraker vannet i vasken til å skylle ned toalettet. Et slikt «system» er en kombinert vask og toalett i ett («W+W | Collections | Roca», 2018). Dette produktet har potensiale til å redusere vannforbruket med 25% sammenlignet med et standard 6/3 liter toalett (Green, 2010), noe som på Studenttorget med 83 hybler ville tilsvare ca. 52.000 liter ferskvann pr skoleår (ved gjennomsnittsfbruk på 4,5 liter vann pr toalettbesøk, to toalettbesøk pr dag pr hybel og skoleår på 40 uker. Antagelse at hyblene også blir brukt i helgene under skoleåret). Også denne løsningen er foreløpig veldig dyr, i skrivende stund koster én slik vask og toalett €2.500.



Figur 2.25: W + W by Roca

- Smarthjem teknologi: Smarthjem teknologi, eller automatisering, finnes i mange former og grader av automasjon («Home automation», 2019). Her er mulighetene bortimot uendelige og systemene likeså. Bruken av automasjon er foreløpig beskjedent, men er sterkt økende da stadig flere produkter kommer med innebygd internett-tilkobling. Hovedtanken er i bunn og grunn å spare energi ved å skru av lys automatisk i rom som ikke er i bruk og senke temperaturen automatisk (redusere behovet for oppvarming) når ingen er i rommet eller nattestid for bedre sovekomfort, men kan også brukes til f.eks. tilgangskontroll og brannovervåkning. Som eksempel kan systemet settes opp slik at all lys slås av automatisk når en forlater hybelen samtidig som temperaturen i hybelen senkes med to grader, og når man kommer tilbake skrur de samme lysene på igjen og varmen skrur opp til der den var, eller skru opp varmen igjen ved et gitt tidspunkt. Ved hjelp av maskinlæring og kunstig intelligens vil systemet etter hvert kjenne igjen beboerens vaner og kan automatisk skru opp varmen igjen f.eks. én time før vedkommende kommer hjem. Videre kan sensorer som måler CO<sub>2</sub> nivået og temperatur i rommet også regulere ventilasjonsanlegget automatisk slik at luftkvaliteten i rommet tilpasser seg antall personer i rommet, og også reduserer ventilasjonsbehovet til et minimum når ingen oppholder seg i rommet.

## 2.9 Kostnad

### 2.9.1 Massivtre vs hulldekke og stål

I følge Treteknisk har Norge dobbelt så mye skog nå enn for 100 år siden og veksten er økende siden kun halvparten av tilveksten hogges. Dette gjør at forholdene for massivtreproduksjon ligger godt til rette.

En norsk studie som sammenligner to nesten identiske bygg, ene bygd i massivtre på åtte etasjer og den andre i stål og betong på fem etasjer, men ellers nesten identiske planløsninger og bygd på felles parkeringskjeller, (Østnor, 2018) peker på at mangelen på pre-aksepterte løsninger på massivtre øker kostnaden, spesielt i tidlig-fasen, for flere etasjers bygninger i massivtre. Studien viser bl.a. at brann- og akustikkprosjekteringen drar opp kostnaden, med f.eks. akustikkprosjektering som ble 100% dyrere på massivtre-bygget kontra bygget i stål og betong. Også den faktiske brann- og lydisoleringen for massivtrebygget drar opp kostnaden. Dette har selvsagt sammenheng med at massivtre har dårligere både brann- og akustikkegenskaper enn betong. Men også små detaljer som å konstruere og planlegge forankringen av massivtre-elementene til fundamentet dro opp kostnaden. Studien viser også at bygget i massivtre var planlagt satt opp på 8 uker, noe som også viste seg å være riktig når bygget var ferdig (Vikan, 2019), mens bygget i stål og betong, på fem etasjer, var planlagt til å ta 13 uker.

Tilbakemeldingen fra entreprenøren etter at byggene var ferdig var at byggetiden for betongbygget var 25% lengere enn for massivtrebygget. Entreprenøren melder også at massivtrebygget i dette prosjektet ble 12-15% dyrere enn betongbygget, pr m<sup>2</sup>. Det er imidlertid ikke tatt med effekten av kortere byggetid på massivtrebygget eller enklere fundamentering pga. at massivtrebygget er lettere enn betongbygget i dette regnestykket. Funn fra studien tyder også at det er større potensiale for forbedret effektivitet og gjennomføring i bygget av massivtre sammenlignet med bygget i betong. Se vedlegg 21 for epost korrespondanse med Veidekke.

Denne studien, som flere andre, peker på at mer erfaring i bransjen på massivtre vil redusere kostnadene for fremtiden.

En norsk masterstudie (Skullestad, 2016) sammenligner pris på bæresystem i massivtre/limtre og betong for bygninger på 3, 7, 12 og 21 etasjer. Det er gjort flere prissammenligninger med priser hentet fra Norsk Prisbok for både tre og betong samt et alternativ hvor det er innhentet pris fra en massivtreprodusent i Norge. I tillegg er bæresystemet i tre sammenlignet mot bæresystem i plasstøpt betong og pre-fabrikkert betong.

Tabellen under er hentet fra studien og viser prisforskjellene på bæresystem i tre og betong. For tre er det to alternativer for pris; alternativ 1 er priser oppgitt i Norsk Prisbok, alternativ 2 er priser oppgitt av en norsk massivtreprodusent. Tallene oppgitt i tabellen er prisforskjellen i % for massivtre i forhold til betongalternativene.

| Etasjer | Tre, alternativ 1 |               | Tre, alternativ 2 |               |
|---------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
|         | Plasstøpt betong  | Prefab betong | Plasstøpt betong  | Prefab betong |
| 3       | -5%               | +27%          | -30%              | -7%           |
| 7       | +10%              | +51%          | -20%              | +10%          |
| 12      | +22%              | +68%          | -13%              | +19%          |
| 21      | -23%              | +2%           | -45%              | -22%          |

Tabell 2.6: Sammenlikning av kostnader for bæresystemer i tre med bæresystemer i plasstøpt og prefabrikkert betong. Kostnader inkluderer kun kostnader i konto 2 jf. standard kontoplan. (Skullestad, 2016)

Studien konkluderer med at materialkostnaden for bæresystemet varierer med antall etasjer, hvor massivtre blir mer konkurransedyktig i forhold til prefabrikkert betong når antall etasjer øker over 12. Bæresystem i massivtre blir til og med billigere enn bæresystem i prefabrikkert betong når antall etasjer øker til 21. Ifølge studien skyldes dette at materialmengden for massivtre øker bare moderat ved bygg over 12 etasjer sammenlignet med bygg i betong. Studien tar i midlertid ikke høyde for kostnader til brann- og lydisolering med i beregningene, noe studien over med de to identiske bygningene (Østnor, 2018) viser kan gi forholdsvis store utslag på pris. Det må presiseres at kravene til lydisolasjon varierer fra bygningstype til bygningstype. Studien presiserer også at kostnadsanalysen er usikker og kun ment som en pekepinne, og at det finnes lite data/litteratur på kostnader for massivtre.

I følge en studie utført i USA i 2016 (Laguada-Mallo & Espinoza, 2016) som sammenligner byggematerialkostnader av et spesifikt bygg, kunst og konsertarena i USA, konkluderer med at å bygge i massivtre og limtre er \$4 til \$15 pr kvadratfot (\$40 til \$150 pr m<sup>2</sup>) billigere enn samme bygg i stål og betong, avhengig av leverandøren av massivtre. Deres studie viser også til at byggetiden er over 60% kortere med å bygge i massivtre og limtre.

En annen studie, også fra USA (Smith, Griffin, Rice, & Hagehofer-Daniell, 2018), sammenligner massivtre mot tradisjonelle byggemetoder. Det interessante med denne studien er at den tar for seg flere bygningstyper, og sammenligner konkrete bygninger i massivtre, til sammen sju bygninger, mot sammenlignbare bygninger konstruert med tradisjonelle materialer (studien går derimot ikke inn på hvilke materialer det er). Konklusjonen er at det i snitt er 4,2% billigere å bygge i massivtre kontra tradisjonelle byggemåter. Det er dog stor variasjon blant de sju bygningene som er med i studien og i noen tilfeller er det dyrere å bygge i massivtre. Studien peker også på at erfaringer med å bygge med massivtre bidrar til å redusere kostnaden ytterligere for nye bygg. Den samme studien viser også at det var 20% kortere design-, konstruksjon- og byggetid på bygningene i massivtre kontra de tradisjonelle bygningene, med 12,7 måneder i snitt for massivtre mot 15,4 måneder i snitt for de tradisjonelle bygningene. Studien peker på fordelene med at massivtre-elementene er produsert på fabrikk samtidig som grunnarbeidet foregår, og dermed sparer tid.

En studie utført av rådgivningsfirmaet Cary Kopczynski & Company i USA (Beltz, 2018) sammenligner konstruksjon og bygging av en tenkt 10-etasjers boligblokk i massivtre (CLT) kontra plasstøpt betong. Hovedfokus for studien var den bærende konstruksjonen ved bruk av massivtre og betong, med sekundærfokus på bl.a. brann og akustikk. Studien viser at det tenkte bygget vil koste anslagsvis \$48 til \$56 pr kvadratfot når bygd i massivtre, ikke medregnet tiltak for brannsikring og lydisolasjon. Dette ble anslått til \$2 til \$6 pr kvadratfot. Det samme bygget i plasstøpt betong ble anslått til \$42 til \$46 pr kvadratfot. Her var ikke ytterligere brannsikring nødvendig men tiltak for lydisolasjon ble anslått til \$1 til \$2 pr kvadratfot. Dvs. at massivtre i denne studien er anslått til å være mellom 14% og 23% dyrere enn plasstøpt betong.

Ut ifra disse studiene er det vanskelig å fastslå med sikkerhet om massivtre er billigere eller dyrere enn betong og stål, da prisen ser ut til å variere fra prosjekt til prosjekt og også antall etasjer ser ut til å ha en påvirkning. Bygningstype og bruk vil også betydning for kostnaden da graden av brann- og lydisolering varierer stort. De fleste studiene sier dog at mer erfaring på massivtre vil mest sannsynlig gjøre bygging i massivtre billigere for fremtiden. Det er så langt vi har funnet også lite norsk data på kostnader ved bygging i massivtre.

## 2.10 Prosjektering

### 2.10.1 Prosjekteringsstandarder

*Sitert: «En standard gir en mere detaljert teknisk redegjørelse for hvordan en konstruksjon må beregnes og utføres for å tilfredsstille forskriftens krav» (Rørvik, 2010)*

Ved ulykker og kollaps kan menneskeliv gå tapt og gi store økonomiske tap. Det første spørsmålet som blir tatt stilling til, vil naturligvis være om konstruksjonen er prosjektert i forhold til forskriftene. Det er viktig å ha felles bestemmelser for prosjektering av konstruksjoner for dokumentasjon av løsninger og for å ivareta konstruksjonssikkerhet og løse rettsvister ved ulykker.

Ved bygge- og anleggsprosjekter vil det være behov for en rekke standarder, både under prosjektering, utførelse og ved verifisering av konstruksjonen. Eurokodene er en felles samling av europeiske bestemmelser angående prosjektering og utførelse (last- og konstruksjonsstandarder) som siden 90-tallet har blitt utviklet i den europeiske standardiseringsorganisasjonen (CEN). Standardene skal gi svar på spørsmål rundt materialvalg- og kvaliteter, konstruksjonsmetoder, produkter og egenskapene til disse. I dag har vi Norsk Standard (NS-EN) med nasjonale tillegg (NA). Standardene kan fravikes, men da må det dokumenteres at den alternative løsninger oppfyller byggeforskriftens krav til sikkerhet.

Eurokodene er delt inn i 10 hoveddeler. Eurokode 1990 tar for seg påliteligheten for konstruksjoner, Eurokode 1991 for laster og konstruksjonsmaterialer, mens Eurokode 1992 – 1999 er konstruksjonsstandarder. De 10 hoveddelene er:

- Eurokode 0 - Overordnet
- Eurokode 1 - Laster
- Eurokode 2 - Betong
- Eurokode 3 - Stål
- Eurokode 4 - Samvirke stål/betong
- Eurokode 5 - Tre
- Eurokode 6 - Mur
- Eurokode 7 - Geoteknikk
- Eurokode 8 - Jordskjelv
- Eurokode 9 - Aluminium

### 2.10.2 Pålitelighetsdifferensiering

Formålet med differensiering av pålitelighet er å sikre at konstruksjoner er konstruert med kvalitetskontroll på et tilstrekkelig nivå.

Pålitelighetsklassene RC1, RC2 og RC3 er knyttet til konsekvensklassene CC1, CC2 og CC3. Konsekvensklassene bestemmes ut fra hvilke konsekvenser det vil ha ved sammenbrudd eller kollaps av enten hele eller deler av konstruksjonen. Dette er konsekvenser knyttet til tap av menneskeliv, økonomiske, sosiale eller miljømessige tap. Pålitelighetsklassene ble utledet på grunnlag av faktorer som gulvareal pr. etasje, etasjeantall, bygningstype og menneskeforsamlinger. I noen tilfeller kan en konstruksjon bestå av deler med ulik pålitelighetsklasse. (NS-EN 1990, 2016)



| Konsekvens-klasse | Beskrivelse  | Eksempler på bygg og anlegg   |
|-------------------|--|---|
| CC3               | <b>Stor</b> konsekvens i form av tap av menneskeliv, eller <b>svært store</b> økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser        | Tribuner, offentlige bygninger der konsekvensene av brudd er store (f.eks. en konserthall)                  |
| CC2               | <b>Middels</b> stor konsekvens i form av tap av menneskeliv, <b>betydelige</b> økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser       | Boliger og kontorbygg, offentlige bygninger der konsekvensene av brudd er betydelige (f.eks. et kontorbygg) |
| CC1               | <b>Liten</b> konsekvens i form av tap av menneskeliv og <b>små eller uvesentlige</b> økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser | Landbruksbygninger der mennesker vanligvis ikke oppholder seg (f.eks. lagerbygninger), drivhus              |

Tabell 2.7: Konsekvensklasser (NS-EN 1990, 2016)

Konstruksjoner som omfattes av plan- og bygningsloven (PBL) vil som regel ligge innenfor pålitelighetsklasse RC1, RC2 eller RC3. I tilfeller hvor det er spesielt høy konsekvens som følge av sammenbrudd eller kollaps, bør konstruktøren vurdere om konstruksjonen skal settes i en høyere pålitelighetsklasse, RC4.

Konstruksjoner skal først og fremst tåle normale lastpåkjenninger, dvs. egenvekten og variable belastninger som nyttelaster og naturlaster. Bestemte områder i landet må man ta hensyn til krefter fra seismiske laster (jordskjelv). For konstruksjoner i pålitelighetsklasse 2, 3 og 4 må det også undersøkes for ulykkessituasjonen brann, dersom det er relevant. For pålitelighetsklasse 3 og 4 skal det i tillegg konstrueres i forhold til andre ulykkessituasjoner som kollisjon, eksplosjon og lignende. (Rørvik, 2010)

Eksempler på ulike typer bygninger og konstruksjoner med tilhørende pålitelighetsklasser:

| Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler                              | Pålitelighetsklasse <sup>2)</sup> (CC/RC) |     |     |     |
|--|---|-----|-----|-----|
|  | 1   | 2   | 3   | 4   |
| Atomreaktorer, lager for radioaktivt avfall  |   |     |     | x   |
| Dammer   |   |     | x   | (x) |
| Marine konstruksjoner for petroleumsindustrien   |   |     | x   | (x) |
| Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i kompliserte tilfeller <sup>1)</sup>                           |   | (x) | x   | (x) |
| Veg- og jernbanebruer  |   |     | x   |     |
| Byggverk med store ansamlinger av mennesker (tribuner, kinosaler, sportshaller, kjøpesentre, forsamlingslokaler, osv.) |   | (x) | x   |     |
| Kai- og havneanlegg  |   | x   | (x) |     |
| Tårn, master, skorsteiner, siloer  |   | x   | (x) |     |
| Industrianlegg   |   | x   | (x) |     |
| Kontor- og forretningsbygg, skoler, institusjonsbygg, boligbygg osv.   |   | x   | (x) |     |
| Oppdrettsanlegg  |   | x   | (x) |     |
| Landbruksbygg  | (x)                                       | x   |     |     |
| Feste av kledninger, taktekking og lignende komponenter  | x   | (x) |     |     |
| Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg ved enkle og oversiktlige grunnforhold <sup>1)</sup>            | x   | (x) |     |     |
| Småhus, rekkehus, mindre lagerhus osv.   | x   |     |     |     |
| Kaier og fortøyningsanlegg for sport og fritid   | x   |     |     |     |

<sup>1)</sup> Ved vurdering av pålitelighetsklasse for grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg skal det også tas hensyn til omkringliggende områder og byggverk.  
<sup>2)</sup> Kryss uten parentes angir normalt valg av pålitelighetsklasse.

Tabell 2.8: Konstruksjoner med tilhørende pålitelighetsklasser (NS-EN 1990, 2016)

## 2.10.3 Differensiering av prosjekteringskontroll

Regelverket krever at alle ansvarlig prosjekterende skal ha et internt system for å dokumentere og kvalitetssikre arbeidet som er utført for å oppfylle kravene. I tillegg til intern kvalitetssikring, skal det ifølge PBL § 24-1 utføres uavhengig kontroll av prosjektering og utførelse dersom:

- «det foreligger viktige og kritiske områder og oppgaver»
- «kommunen krever det etter en konkret vurdering»

(PBL, 2008)

Typiske oppgaver i kontroll av prosjektering går ut på innhenting av tegningslister, fagvurdering av prosjektinnholdet, påse at det er samsvar mellom laster, beregninger og tegninger. Man må også forsikre seg om at alle delmål og funksjonskrav er oppnådd. Det er delt inn i tre kontrollformer, og er avhengig av pålitelighetsklasse. Spesifikt hva hver kontrollform skal omfatte er beskrevet i NS-EN 1990.

| Valg av prosjekteringskontrollklasse |                                     | Krav til kontrollform              |   |  |
|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|--|
| Pålitelighetsklasse                  | Minste prosjekteringskontrollklasse | Egenkontroll (DSL 1) <sup>1)</sup> | Intern systematisk kontroll (DSL 2) <sup>1)</sup> | Utvidet kontroll (DSL 3) <sup>1)</sup> |
| 1                                    | PKK1 <sup>2)</sup>                  | kreves                             | kreves ikke                                       | kreves ikke                            |
| 2                                    | PKK2 <sup>2)</sup>                  | kreves                             | kreves  | kreves                                 |
| 3                                    | PKK3                                | kreves                             | kreves  | kreves                                 |
| 4                                    | Skal spesifiseres                   | kreves                             | kreves  | kreves                                 |

<sup>1)</sup> Se punkt B4 (informativt tillegg B) for betegnelsen DSL.  
<sup>2)</sup> Det kan velges høyere prosjekteringskontrollklasse.

Tabell 2.9: Krav til kontrollformer (NS-EN 1990, 2016)

## 2.10.4 Dimensjonering massivtreelementer

### Statikk og bæreevne

På grunn av oppbygging med krysslagte lameller, vil elementene ha en *anisotropisk* funksjon, som vil si at de kan ta opp krefter i flere retninger; både langs med planet og vinkelrett på. Med dette kan man blant annet dimensjonere etasjeskillere av massivtre som et toveis dekkeplan. I tillegg utnytter man elementenes store forhold mellom lav vekt og stor styrke til nye og spennende bruksområder.

Ved dimensjoneringen av massivtre må man gå etter tre krav:

- Nedbøyning
- Stivhet
- Vibrasjoner

Kravene er angitt i *Eurokode 5* og baserer seg hovedsakelig på beregning av trebjelkelag.

Etasjeskillere av massivtre har gjerne myke forbindelser mellom elementene. Fordelene er at koblingene ikke overfører bøyemoment, og at naboelementene virker avstivende, noe som gir en mindre deformasjon. Skjærkreftene kan derimot overføres.



Veggelementer av massivtre har stor styrke og stivhet for vertikale laster og fungerer som en avstivende skive for horisontale laster. Stabiliseringen av massivtrebygninger gjøres derfor normalt via skivevirkning i vegger, bjelkelag eller sjakter.

Bæresystemet til en bygning kan være som et bærende veggssystem, søyle-/bjelkesystem eller som en kombinasjon av disse.

Hvilket bæresystem som velges avhenger av:

- Funksjonskrav
- Funksjonalitet
- Estetiske krav
- Grunnforhold
- Byggetid og økonomi

### **Beregningsmetoder**

Dimensjonering av krysslagte elementer går i hovedsak ut på tre beregningsmetoder:

#### 1. *Kompositteori*

Her tar man hensyn til styrke- og stivhetsegenskapene til hvert enkelt sjikt, men ikke til skjærdeformasjonene ved bøyepåkjenning. Kompositteorien er god å bruke når spennvidden  $[L]$  er langt større enn elementtykkelsen  $[t]$ . Helst når  $L/t \geq 25$ .

#### 2. *Betrakte som I-bjelke*

Denne metoden er nærmere beskrevet i *Eurocode 5 (Annex B)*. Metoden gir kun en eksakt beregning for en fritt opplagt bjelke med parabelformet lastfordeling, og egner seg hovedsakelig for små forhold  $L/t$ .

#### 3. «Skjæranalogi»-metoden

Dette gir et mer presist resultat siden antall sjikt ikke begrenses. Fremgangsmåten er å betrakte et massivtreelement som to bjelker med uendelig mange stive staver. Metoden tar hensyn til at de ulike sjiktene har forskjell i elastitetsmodulen (*E-modul*) og skjærmodulen (*G-modul*).

## **2.10.5 Fukt**

Siden tre har en *hygroskopisk* evne, altså at det kan oppta og avgi fukt, må man være obs på soppangrep og at trevirket kan få deformasjoner på grunn av ujevn tørking. Luftfuktigheten avhenger av hvilken landsdel og årstid det er, men man burde generelt gå inn for å værbeskytte bygningen under konstruksjonstida. Det er fordi de fleste byggeskadene i byggets første levetid er knyttet til fukt.

En god måte å sikre bygget mot fuktskader er å dekke til konstruksjonen med en duk som tåler vind- og snølast, også kalt *Weather Protection System* (WPS). Fordelene med WPS er flere:

- Man sørger for en fuktsikker byggeprosess.
- Man hindrer oppfuktning av ubrukt material.
- Man hindrer fuktskader på grunn av nedbør.
- Man sikrer stabile forhold for arbeiderne.
- Man unngår forsinket fremdrift på grunn av tid til tørking.

Når lufttrykket inne er høyere enn ute vil varm, fuktig luft presses ut. Lufta blir deretter nedkjølt og fukta kondenserer – den forandrer metningspunktet. Det vil derfor være avgjørende å bruke dampsperre i skjøter hvor det er luftlekkasje. Særs vil dette være mellom ytterveggselementene, takelementene, mellom vegg og tak, og dekke og vegg. Det er da viktig å vite hvilken vei lufta strømmer.

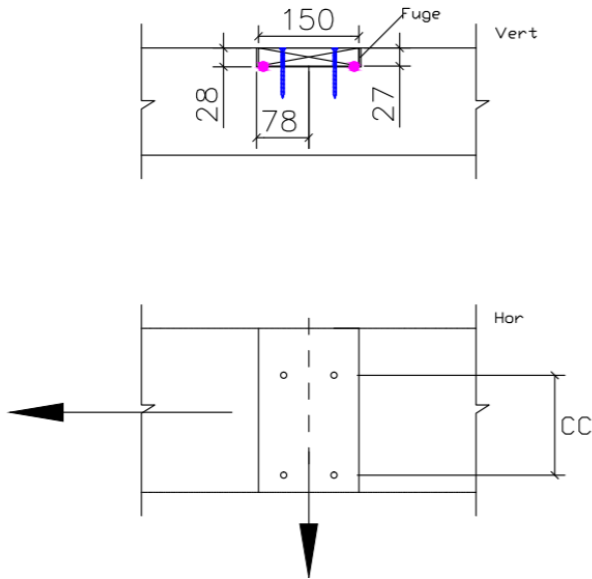
Den relative fuktigheten innendørs vil være avhengig av mengden fukt og temperatur i rommet, fukttilstanden på tilført luft samt fukttilskuddet fra aktiviteter.

Vanligvis vil et massivtrebygg gjøres som en diffusjonsåpen konstruksjon og elementene sørger for å fuktregulere seg selv. Avhengig av veggtykkelsen vil ikke dampdiffusjonen gjennom et element være en kritisk faktor for å benytte dampsperre, gjerne fra 80mm og større. Ved 180mm vil det ikke være behov for dampsperre i det hele tatt.

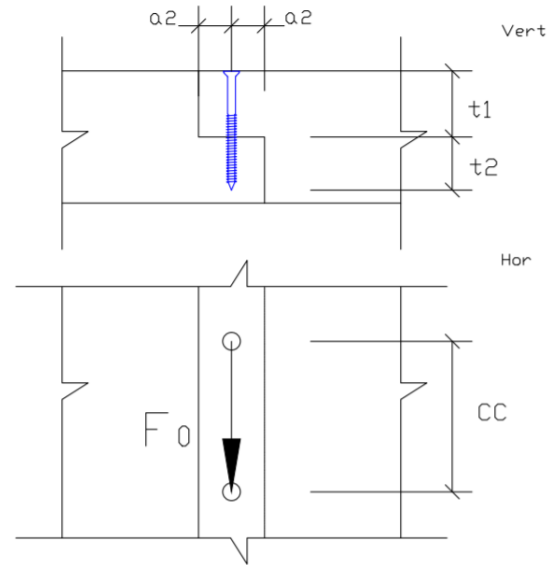
## 2.10.6 Byggetekniske detaljer massivtre

### Sammenføyninger

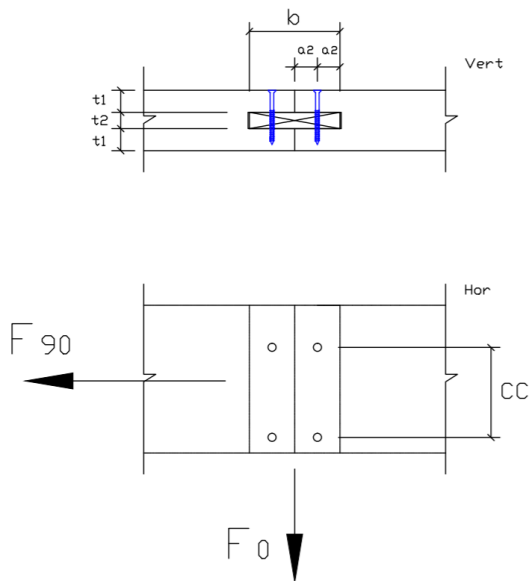
Skjøtene i elementene blir som regel frest ut ved produksjon og består av en not- og fjærløsning. Fjæren består av et kryssfinerbord som enten skrues fast eller limes sammen med naboelementet. Mellom skjøtende legges det fugebånd for lydisolering. Fjæren kan ligge synlig på utsiden av elementet, eller skjules ved sammenkobling i senter. Veggelementene kan monteres liggende eller stående, som vil si at skjøtene kan være både horisontale eller vertikale. Skjøtene utføres vanligvis som myke sammenkoblinger. Ønsker man større stivhet kan kryssfinerbordet erstattes med en stålplate.



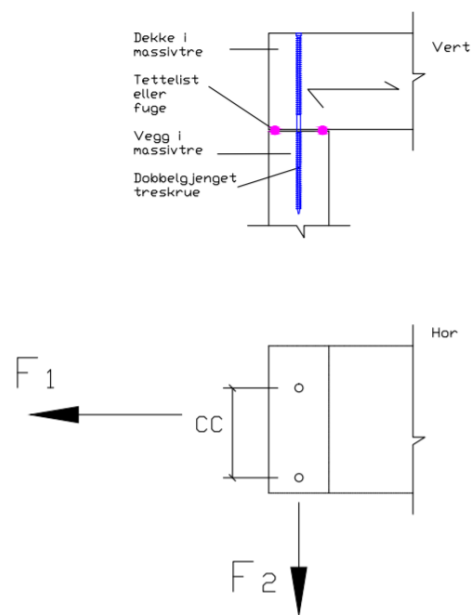
Figur 2.26: Sammenføyning elementskjøt med kryssfinerlask (trefokus.no)



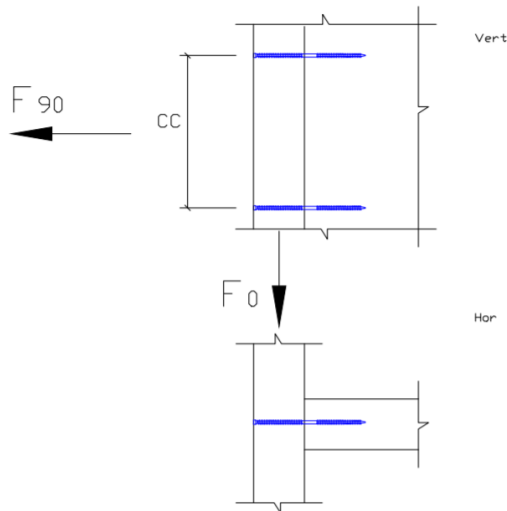
Figur 2.28: Sammenføyning massivtrelementer (trefokus.no)



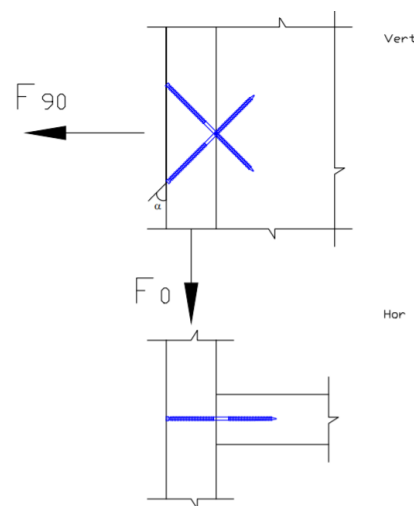
Figur 2.27: Elementskjøt med skjult kryssfinerlask (trefokus.no)



Figur 2.29: Sammenføyning massivtredekke mot massivtrevegg (trefokus.no)



Figur 2.30: Massivtrevegg mot massivtrevegg (trefokus.no)



Figur 2.31: Massivtrevegg mot massivtrevegg, skrå skruer (trefokus.no)

### Fundament og forankring

I og med at en massivtrekonstruksjon gir lavere egenvekt enn stål- og betongkonstruksjoner, vil det også gi en enklere fundamentering. Dette er særlig gunstig ved dårlige grunnforhold siden lette konstruksjoner gir mindre setninger.

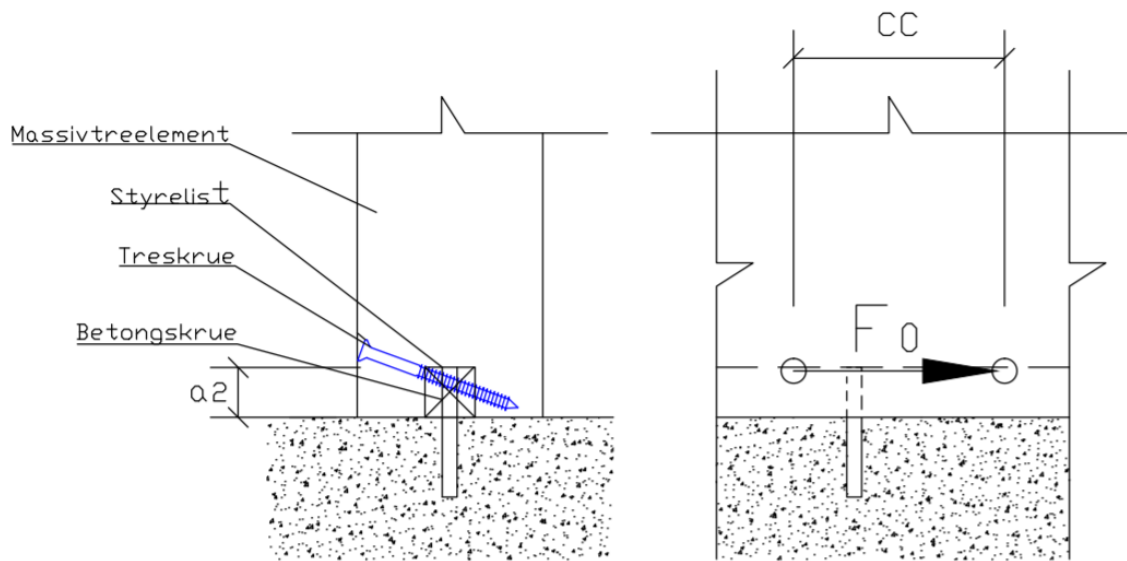
Fundamentering utføres i betong, Leca og lignende og gjøres gjerne på tre måter:

- Søylefundamentering
- Stripecfundamentering
- Platefundamentering

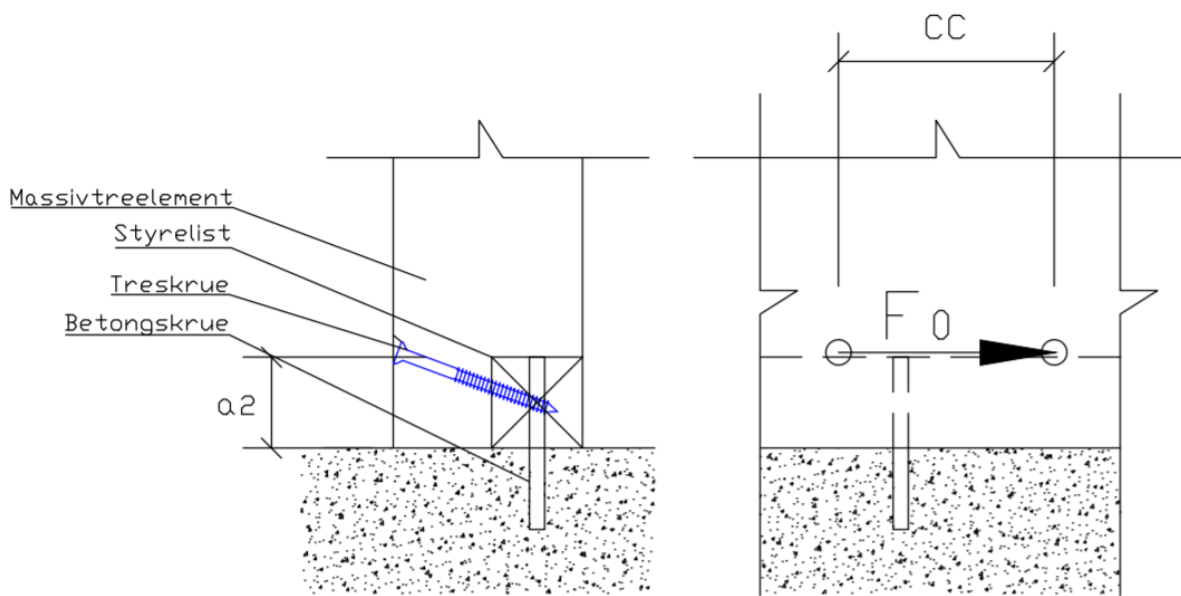
Angående platefundamentering vil den øke lydtransmisjonen og burde ikke legges under leilighetskillende vegger.

De bestemmende faktorene for forankring og stabilitet er byggets høyde, utforming, samt den geografiske beliggenheten. Det er fordi man må ha særlig tanke på at vindbelastningen øker høyere opp og med større areal for vinden å gripe tak i. Vekt har også en stor betydning for forankringen. Et bygg i massivtre vil ha lavere egenvekt enn et bygg i betong og stål, som fører til at bygget trenger bedre forankring.

Forankring av vegger kan utføres på flere måter, avhengig av underlag. Hvor underlaget er betong kan man feste en styrelist/bunnsvill ved betongskruer/ekspansjonsbolter og feste veggelementene sammen med styringslisten. Det er ofte nødvendig med kraftigere forankring enn dette, og kan dermed støpe ned metallbeslag/spikerplater som festes på veggens overflate. Vegger på massivtredekker kan festes på samme måte, bare med treskruer istedenfor betongskruer eller med metallvinkler/beslag.



Figur 2.32: Innfesting massivtredekke mot betong, 1 (trefokus.no)



Figur 2.33: Innfesting massivtredekke mot betong, 2 (trefokus.no)

## 2.11 Lastberegning

Informasjonen i dette kapittelet er hentet fra «Konstruksjonssikkerhet og belastning» - Kompendium i lastberegning (Rørvik, 2010), dersom ikke annet er oppgitt.

### 2.11.1 Laster

#### Permanent last

Permanent last er last som virker på samme sted på konstruksjonen over lengre tid med konstant størrelse og plassering. Dette kan være laster som for eksempel egenlaster eller jordtrykk. Denne typen last kan bestemmes med relativt stor nøyaktighet, og lastfaktoren  $\gamma$  trenger derfor ikke være like stor som for variable laster.

#### Variabel last

Variabel last er last som kan variere med tiden og er som oftest en fri last som kan oppstå på flere områder på konstruksjonen. På grunn av dette er det viktig under dimensjoneringen å plassere den variable lasten på det mest ugunstigste stedet – det som gir størst belastning på konstruksjonen. Typiske eksempler på slike typer laster er naturlaster som snølast og vindlast, trafikklaster på broer, personbelastninger og inventar i bygninger.

#### Karakteristisk last

Karakteristisk last er «den største lasten som normalt opptrer på konstruksjonen under bruk» (Rørvik, 2010). Standardverdier for karakteristiske laster på bygningskonstruksjoner finnes i Eurokodene og er i prinsippet basert på statistikk.

#### Egenlast

Egenlasten på en konstruksjon er summen av konstruksjonens vekt og vekten til andre deler som belaster den. Egenvekten vil som regel ha en fast retning med en permanent plassering og størrelse. Bygningsdeler som ikke skal ha en permanent plassering, men skal kunne flyttes på, må selvfølgelig uansett tas hensyn til. Enten må disse plasseres på det ugunstigste området (området som gir størst belastning) eller beregnes som en jevnt fordelt last. I tilfeller hvor det er betydelig ujevn fordeling på konstruksjonens egenvekt, bør en del beregnes som fri last.

Både bærende og ikke-bærende komponenter bidrar til egenlasten på konstruksjonen. Ikke-bærende elementer kan være for eksempel være bygningsdeler som himlinger, skillevegger, isolasjon, rekkverk, etc. Det kan også komme fra tekniske installasjoner som ventilasjonsanlegg, maskininstallasjoner, rulletrapper, heiser, etc.

Jord på tak og terrasser vil fordrøye vannet fra regnvær, og avrenning vil ta lengre tid enn med et glatt tak. Jordlaster i disse tilfellene bør dermed ikke betraktes som permanente, men variable laster.

Tyngdetettheten og rasvinkel for ulike materialer og væsker finnes i tabellene A.1 – A.12 i NS-EN 1991-1-1 (Standard Norge, 2008a). Ved å multiplisere tyngdetettheten [ $\text{kN/m}^3$ ] med volummålet [ $\text{m}^3$ ] kommer man frem til egenlasten.

## Nyttelaster

Nyttelasten opptrer oftest som en variabel last med en returperiode på inntil 50 år og omfatter alle laster som skyldes bruken av konstruksjonen. Egenlast, ulykkelast og naturlast er ikke nyttelaster. Det er vanligvis belastninger fra midlertidig/flyttbart utstyr, personer, kjøretøy eller inventar.

Standardverdier for karakteristiske nyttelaster i ulike bygningstyper er gitt i NS-EN 1991-1-1. Bygningstypene er delt opp i ulike kategorier, og det er oppgitt typiske eksempler på bygg i hver kategori. Ved prosjektering og valg av kategori, er det viktig å ta hensyn til eventuelle bruksendringer av bygning i fremtiden. Det må vurderes om det er stor sannsynlighet for at deler av bygningen vil brukes til andre formål i senere tid.

| 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 <sup>1)</sup> ) | <p><b>C1:</b> Arealer med bord osv., f.eks. i skoler, kafeer, restauranter, spisesaler, leserom, resepsjoner osv.</p> <p><b>C2:</b> Arealer med faste seter, f.eks. arealer i kirker, teatre eller kinosaler, konferanserom, forelesningssaler, forsamlingsaler, venterom medregnet forhall på jernbanestasjoner osv.</p> <p><b>C3:</b> Arealer uten hindringer for personer i bevegelse, f.eks. arealer i museer, utstillingsrom osv., og ankomstområder i offentlige bygg og administrasjonsbygg, hoteller, sykehus, jernbanestasjonshaller.</p> <p><b>C4:</b> Arealer med mulighet for fysiske aktiviteter, f.eks. dansesaler, gymnastikkrom, scener osv.</p> <p><b>C5:</b> Arealer som lett overfylles, f.eks. i bygg for offentlig bruk, som konsertsaler, idrettshaller medregnet tribuner og atkomstområder og jernbaneperronger.</p> |
| D        | Forretningsarealer  | <p><b>D1:</b> Arealer i vanlig detaljhandel.</p> <p><b>D2:</b> Arealer i varehus.</p>  |

<sup>1)</sup> 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 2.10: Brukscategorier (Standard Norge, 2008a)

| Kategorier for belastede områder | $q_k$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_k$<br>[kN]              |
|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| <b>Kategori A</b>                |                               |                            |
| – Gulv                           | 1,5 til <u>2,0</u>            | <u>2,0</u> til 3,0         |
| – Trapper                        | <u>2,0</u> til 4,0            | <u>2,0</u> til 4,0         |
| – Balkonger                      | <u>2,5</u> til 4,0            | <u>2,0</u> til 3,0         |
| <b>Kategori B</b>                | 2,0 til <u>3,0</u>            | 1,5 til <u>4,5</u>         |
| <b>Kategori C</b>                |                               |                            |
| – C1                             | 2,0 til <u>3,0</u>            | 3,0 til <u>4,0</u>         |
| – C2                             | 3,0 til <u>4,0</u>            | 2,5 til 7,0 ( <u>4,0</u> ) |
| – C3                             | 3,0 til <u>5,0</u>            | <u>4,0</u> til 7,0         |
| – C4                             | 4,5 til <u>5,0</u>            | 3,5 til <u>7,0</u>         |
| – C5                             | <u>5,0</u> til 7,5            | 3,5 til <u>4,5</u>         |
| <b>Kategori D</b>                |                               |                            |
| – D1                             | <u>4,0</u> til 5,0            | 3,5 til 7,0 ( <u>4,0</u> ) |
| – D2                             | 4,0 til <u>5,0</u>            | 3,5 til <u>7,0</u>         |

Tabell 2.11: Nyttelast på gulv, trapper og balkonger i bygninger (Standard Norge, 2008a)

## Snølast

Det er mange faktorer som spiller inn på hvor mye snø som faktisk legger seg på konstruksjonen, som variasjoner i topografien, friksjonen og vinkelen til taket, varmegjennomgang, osv. Den karakteristiske snølasten finnes i NS-EN 1991-1-3 og er basert på en periode på 50 år. Standarden tar hovedsakelig hensyn til den karakteristiske snølasten på mark i området og geometrien til taket på konstruksjonen. (Standard Norge, 2008b)

| Kommune   | $s_{k0}$<br>kN/m <sup>2</sup> | $H_g$<br>m | $\Delta s_k$<br>kN/m <sup>2</sup> | $s_{kmax}$ |
|-----------|-------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| Ålesund   | 3,0                           | 150        | 1,0                               | —          |
| Giske     | 3,0                           | 150        | 1,0                               | —          |
| Haram     | 2,5                           | 150        | 1,0                               | —          |
| Norddal   | 4,5                           | 150        | 1,0                               | —          |
| Sandøy    | 2,5                           | 150        | 1,0                               | —          |
| Skodje    | 4,0                           | 150        | 1,0                               | —          |
| Sykkylven | 4,5                           | 150        | 1,0                               | —          |
| Stordal   | 4,5                           | 150        | 1,0                               | —          |
| Ørskog    | 4,0                           | 150        | 1,0                               | —          |

Tabell 2.12: Karakteristisk snølast  $s_{k0}$  for Nordre Sunnmøre (NS-EN 1991-1-3)

## Vindlast

Vindlast er en variabel last som er avhengig av årstid, topografi, beliggenhet, terrengruhet, omgivelser og konstruksjonens utforming og stivhet. Den karakteristiske vindbelastningen på bygningskonstruksjoner beregnes ut fra den største gjennomsnittlige vindhastigheten i en periode på 50 år. Prosjektering skal utføres iht. standarden for vindlaster NS-EN 1991-1-4.

Trykket som oppstår fra vinden mot en flate, kalles hastighetstrykket. Ved beregningen av hastighetstrykket på byggverk tar man i bruk de sterkeste vindkastene som sannsynligvis kan oppstå i området som er avhengig av turbulensen fra terrengets utforming.

| Kommune   | $v_{b0}$<br>[m/s] | Fylke           |
|-----------|-------------------|-----------------|
| Sande     | 30                | Møre og Romsdal |
| Ålesund   | 29                |                 |
| Rauma     | 28                |                 |
| Eigersund | 27                | Rogaland        |
| Stavanger | 26                |                 |
| Suldal    | 24                |                 |
| Andøy     | 31                | Nordland        |
| Bodø      | 30                |                 |
| Narvik    | 28                |                 |

Tabell 2.13: Referansevindhastighet  $v_{b0}$  for Ålesund og noen andre kommuner (NS-EN 1991-1-4)



## Seismiske laster

Seismiske laster er horisontalt virkende krefter som forekommer av jordskjelv. Selv om Norge er et lavseismisk land, er det områder hvor det er fare for jordskjelv. Byggeprosjekter i disse områdene må prosjekteres for seismisk lastpåvirkning. Hovedhensikten er å sikre menneskeliv og begrense skadeomfanget på konstruksjonen dersom et jordskjelv skulle inntreffe. Beregningene skal følge bestemmelsene i Eurokode 8. (Standard Norge, 2019)

## 2.11.2 Faktorer

### Lastfaktor

Lastfaktoren ( $\gamma$ ) er en faktor som ivaretar sikkerheten ved uforutsatte og unormale laster. Dette vil endre verdien til den karakteristiske lasten. Lastfaktoren tar også hensyn til at det er liten sannsynlighet for at f.eks. en takterrasse er fullt belastet med vindlast, nyttelast og snølast samtidig.

### Materialfaktor

Byggevarer er levert med en gitt materialfasthet. Under produksjon kan det oppstå små avvik som gjør at byggematerialet ikke oppfyller den planlagte fastheten. Derfor skal materialfastheten divideres med en materialfaktor. Den vil også bidra til å dekke usikkerhet i utførelsen av arbeidet eller selve geometrien på elementet.

### Arealreduksjonsfaktor

Det er lite sannsynlig at et helt gulvareal er belastet med hele nyttelasten samtidig. Til eksempel vil en skole normalt sett ha nyttelast på  $3\text{kN/m}^2$ , som tilsvarer 3 personer på omkring  $100\text{kg}$  hver per kvadratmeter. I noen tilfeller kan nyttelasten derfor reduseres med en arealreduksjonsfaktor ( $\alpha_A$ ).

$$\alpha_a = 5 \frac{\psi_0}{7} + \frac{15}{A} \leq 1,0$$

$\psi_0 = 0,7$  for brukskategori A – D,  $1,0$  for brukskategori E

$A = \text{Gulvareal}$

### Etasjereduksjonsfaktor

De nederste bærende bygningselementene må kunne bære nyttelastene fra etasjene over. Sannsynligheten for at maksimal nyttelast forekommer i etasjene over er svært liten og man kan derfor i noen tilfeller redusere nyttelasten i disse etasjene med en etasjereduksjonsfaktor ( $\alpha_n$ ).

$$\alpha_n = \frac{[2 + (n - 2) \times 0,7]}{n}$$

$n = \text{antall etasjer over konstruksjonselementet}$

### **2.11.3 Partialfaktormetoden**

Belastningene på konstruksjonen er som regel det som har størst usikkerhet i beregningene. Partialfaktormetoden er en metode for lastpåkjenning som går ut på å bruke de største sikkerhetsfaktorene på størrelsene som er mest usikre i beregningen. Man benytter her to partialfaktorer: lastfaktoren og materialfaktoren. Dersom belastningene skulle opptre med ekstremverdier samtidig, så har konstruksjonen fortsatt akseptabel sikkerhet mot kreftene som oppstår.

### **2.11.4 Bruddgrensetilstand**

Når konstruksjonen er belastet med de ugunstigste lastvirkningene, skal konstruksjonen ha en tilfredsstillende sannsynlighet for brudd. For å oppfylle bruddgrensekriteriene, kontrolleres konstruksjonen i den ordinære bruddgrensetilstanden. Tallverdier for lastfaktoren finner vi i NS-EN 1990.

### **2.11.5 Bruksgrensetilstand ved dimensjonering**

Ved vanlig bruk av konstruksjonen, må bygget oppfylle funksjonen det var tiltenkt. For eksempel at et bygg med mennesker oppfylle krav om nedbøyning og svingninger. Dette er både for estetisk hensyn og for at brukere føler seg trygge i konstruksjonen. Skjevstillinger kan også føre til at integrert maskineri eller utstyr ikke fungerer optimalt.

## 3 MATERIALER OG METODE

### 3.1 Litteraturinnsamling

Vi har basert rapporten på at enkelte litterære kilder er mer brukt enn andre. Det er ikke til å unngå at noen kilder har større kvalitet enn andre, blant annet kan artikler være sponset og miste troverdighet – dette har vi vært obs på og belyst i rapporten. Om vi tar utgangspunkt i Praktisk Rapportskrivning (Olsson, 2011) vil kvaliteten til ulike kilder være:

| Litteraturtype          | Kvalitet        | Kommentar   |
|-------------------------|-----------------|---|
| Standarder              | Svært høy       | Teorien er i henhold til norsk regelverk.                                       |
| Veiledere               | Svært høy       | Teorien er i henhold til norsk regelverk.                                       |
| Rapporter fra internett | Høy             | Troverdig teori, men som påvirkes av forfatterens egne meninger.                |
| Nettsider               | Varierende      | Troverdigheten vil være avhengig av utgiver. Nettsider kan i tillegg redigeres. |
| Produktblader           | Middels         | Informasjonen påvirkes av at utgiver ønsker å belyse egne produkt.              |
| E-post-korrespondanse   | Middels         | Informasjonen kan være begrenset og misforståelser kan oppstå.                  |
| Samtaler                | Lav til middels | Informasjonen kan være begrenset og misforståelser kan oppstå.                  |

Tabell 3.1: Litteraturtyper

## 3.2 Valg av programvarer

Vi har valgt å bruke programvarer vi er kjent med gjennom skolen eller som vi kunne få en innføring i av Norconsult AS. Unntaket er Calculatis som virker såpass intuitivt at vi slipper lengre kursing.

Programvarene er delt inn i tre funksjoner: De som er til for modellering, de som er til for beregning og de som er til for rapportskrivning.

| Navn                | Utgiver    | Bruksområde  | Versjon          | Vellykket |
|---------------------|------------|--|------------------|-----------|
| Modelleringsprogram |            |  |                  |           |
| Revit               | Autodesk   | BIM-modeller og masseberegning.                                  | 19.0.1.1         | ✓         |
| AutoCAD             | Autodesk   | Detaljskisser  | 22.0.49.0        | ✓         |
| Synchro Pro         | Synchro    | Gantt-diagram og monteringsnutt.                                 | 6.0.1.2          | ✓         |
| Beregningsprogram   |            |  |                  |           |
| Calculatis          | Stora Enso | Dimensjonerer massivtreelement.                                  | 2.25.1           | ✓         |
| Mathcad 15          | PTC        | Håndberegninger.   | 15.0.4.5         | ✓         |
| FEM-Design          | StruSoft   | Statisk analyse.   | 17.1.5           | ✗         |
| Focus Konstruksjon  | Focus      | Statisk analyse.   | 16.18.0000       | ✗         |
| Excel               | Microsoft  | Lastberegning, kostnadsberegning og CO <sub>2</sub> -fotavtrykk. | 16.0.11601.20178 | ✓         |
| Skriveprogram       |            |  |                  |           |
| Zotero              | Zotero     | Føre referanser.   | 5.0.60           | ✓         |
| Word                | Microsoft  | Tekstbehandlingsprogram.   | 16.0.11601.20178 | ✓         |

Tabell 3.2: Programvarer

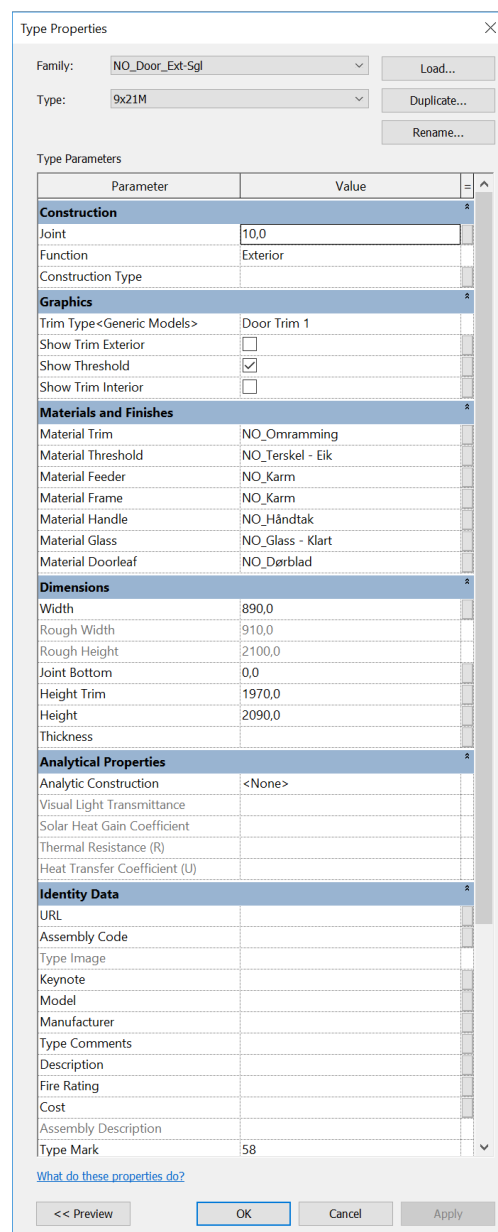
- ✓ Vi klarte å hente ut resultater fra programmet.
- ✗ Vi klarte ikke å hente ut resultater fra programmet.

## 3.3 Programvarer

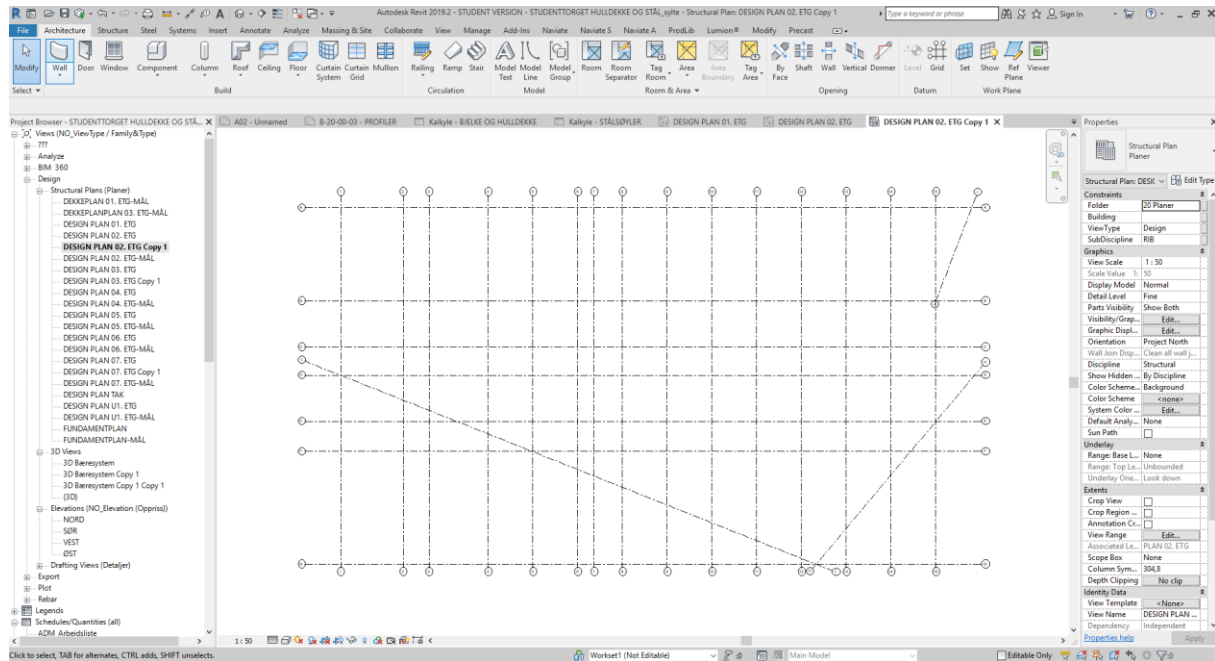
### 3.3.1 Autodesk Revit

Autodesk Revit er et 3D-bygningsinformasjonsmodelleringsprogram (BIM) som inkluderer funksjoner for arkitekter, byggteknikk og konstruksjon, VVS og elektro, og støtter multidisiplinære designprosesser. Revit er mer enn bare et tegneprogram, det er et BIM designverktøy. Programmet kan brukes til dokumentasjon, mengdeoppstilling, kjøre kostnadsestimater og lage realistiske skisser og tegninger. Med BIM-modellering så vil hvert bygningselement også kunne inneholde viktig data om elementet, som for eksempel U-verdi på vindu og dører, størrelse på vindu og dører, hvilken brannklasse en dør har, hvor mange m<sup>2</sup> en vegg er, hvilke materialer en vegg er bygd opp av (for eksempel stendere, gipsplater innvendig, isolasjon, vindspærre på utsiden, lekt, kledning, osv.) og mange andre attributter. Dette er informasjon som igjen blir nyttig når bygget kommer i driftsfasen.

Modellen kan også brukes for å sjekke at installasjoner ikke krasjer med hverandre, for eksempel at ikke vannrør krasjer med ventilasjonsrør. En slik sjekk blir ikke gjort i Revit, men dataen blir eksportert til Solibri Model Checker og sjekket der.

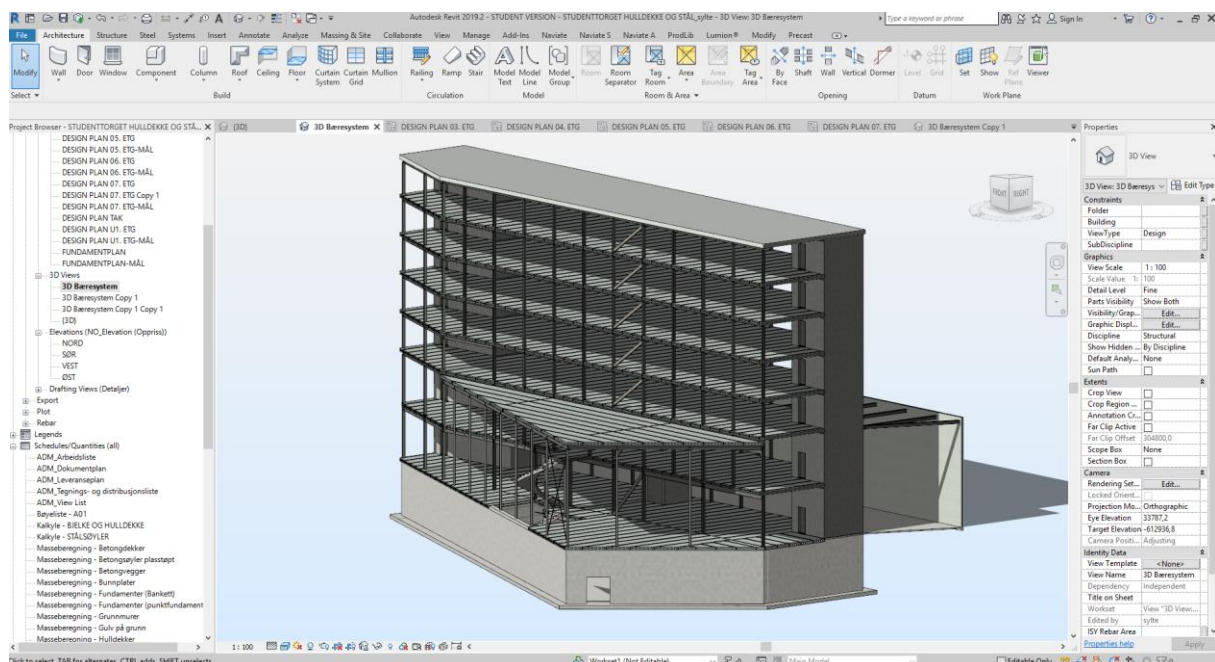


Figur 3.1: Skjermdump fra Autodesk Revit. Viser hvilke egenskapsattributter



Figur 3.2: Bæreakser i Revit

Et av de første stegene er å lage et aksesystem basert på strukturen til bæresystemet. Planløsningen og konstruksjonsmaterialet er i størst grad med på å bestemme hvordan aksene til bæresystemet kan se ut. I noen tilfeller er det ønske fra byggherre om å bygge med et bestemt materiale, mens i andre tilfeller vil man velge det materialet som er mest gunstig i forhold til utforming og spennvidder.



Figur 3.3: 3D-Modell av bæresystem i Revit

Revit inneholder en rekke funksjoner som gjør at programmet kan anvendes fra tidlig fase ved utvikling av konseptet til visualisering i gjennomføringsfasen. 2D-modeller kan

utføres i Revit eller importeres som DWG-filer fra AutoCAD og gjøres om til 3D-modeller. Dette er modeller som hjelper å sette ting i perspektiv og gir et bedre bilde av hvordan det kan se ut i virkeligheten.

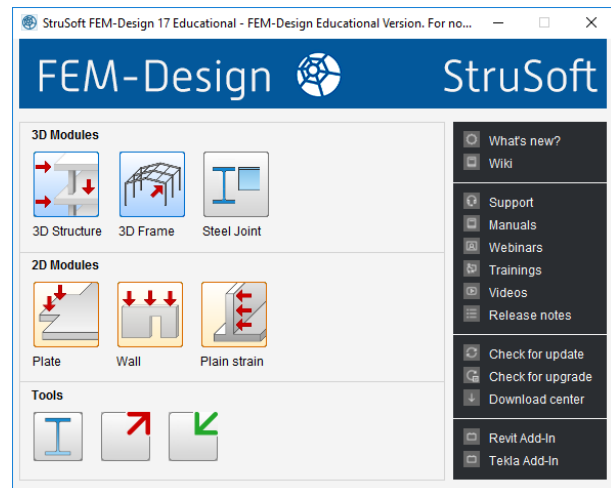
### 3.3.2 FEM-Design

Programvaren FEM-Design er utviklet av StruSoft og brukes til å beregne lastpåkjenninger på byggverk i henhold til Eurokodene.

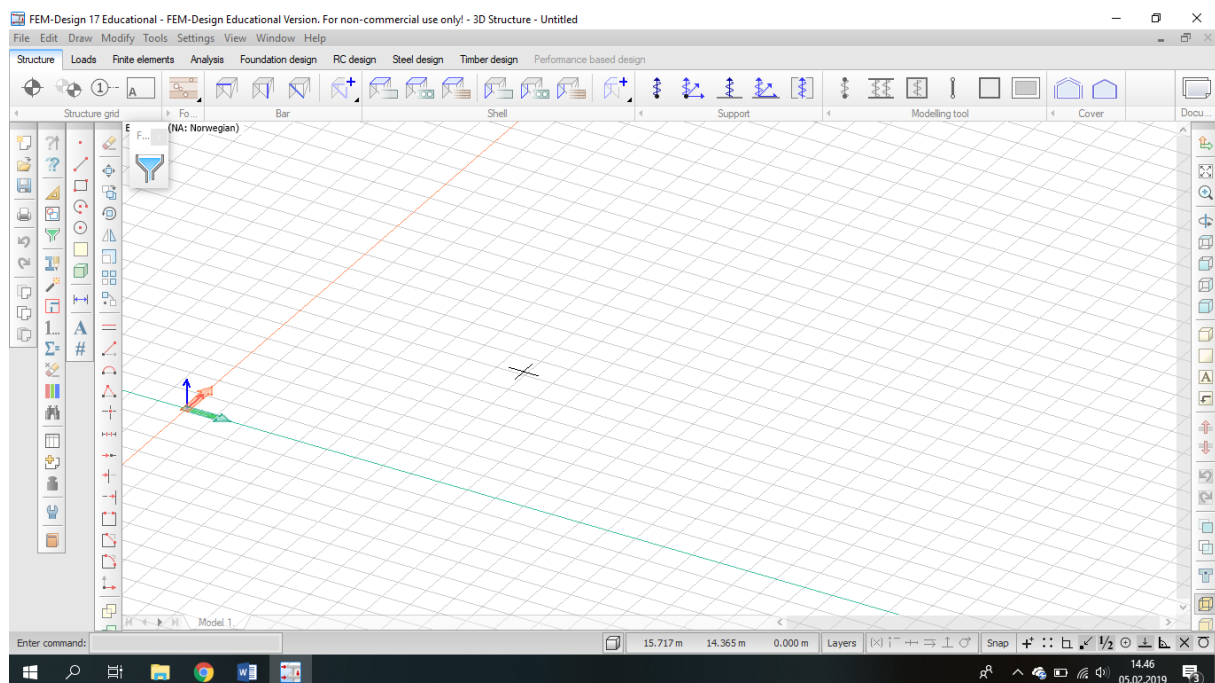
Man har valget mellom å beregne hele systemer, rammer eller enkelte konstruksjonselement i programmet.

Konstruksjoner tegnes i 3D direkte inn i FEM-Design, eller det kan importeres fra Revit.

*Notat: FEM-Design var vanskeligere å bruke enn forventet og konstruksjonen var kompleks. Vi tok avgjørelsen å ikke bruke tid på modellering i FEM-Design med hensyn til tiden det tok – og sjansen for å ende opp med ubrukelige resultat.*



Figur 3.4: Inngangsmenyen til FEM-Design

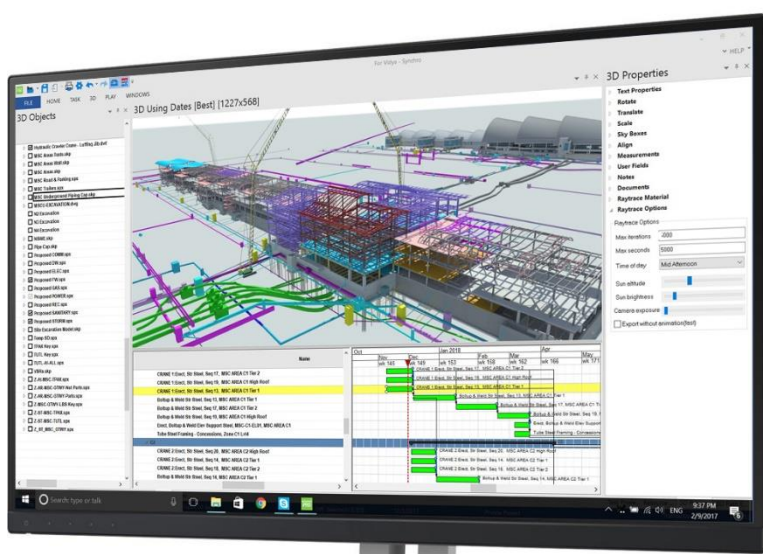


Figur 3.5: Første møte med FEM-Design.

### 3.3.3 Synchro Pro

Synchro Pro (programvare fra Synchro Software) er et program som kombinerer Gantt-diagram med 3D visualisering av BIM-modellen, og viser hvordan bygget blir konstruert ut ifra tidstabellen gitt i Gantt-diagrammet. Programmet blir også populært kalt Synchro 4D, siden den tar med den fjerde dimensjonen; tid. Man eksporterer Revit-modellen inn i Synchro Pro, og da vil alle elementene (byggningsdelene) fra Revit-modellen legges seg som et element i Synchro i Gantt-diagrammet. Så kan man gi enten hvert enkelt element, helt ned til bjelker, søyler, skruer og mutre, eller en gruppe av elementer en start- og en sluttid. Programmet vil da lage en tidslinje for byggeprosjektet og visualisere at konstruksjonen blir satt opp.

Programmet har også mulighet til å legge inn kostnad på hver enkelt byggningsdel som ville gitt oss en 5D-modell.



Figur 3.6: Illustrasjon av Synchro Pro. [www.synchro ltd.com](http://www.synchro ltd.com)

Synchro-video av vårt bygg: [https://www.youtube.com/watch?v=6aLYVyn\\_p2k](https://www.youtube.com/watch?v=6aLYVyn_p2k)

### 3.3.4 Focus Konstruksjon

Focus konstruksjon er et analyseprogram hvor man kan påføre laster på enkeltelementer eller hele konstruksjoner og beregne påkjenningen. Modeller kan importeres eller eksporteres via Revit, Excel eller IFC. Man kan modellere opp både i 2D og 3D i stål, betong eller tre og utføre kapasitetskontroll i henhold til Eurokodene. Programmet har veivisere for lastkombinasjoner og visning av resultater i form av diagrammer og fargekart på modellen.

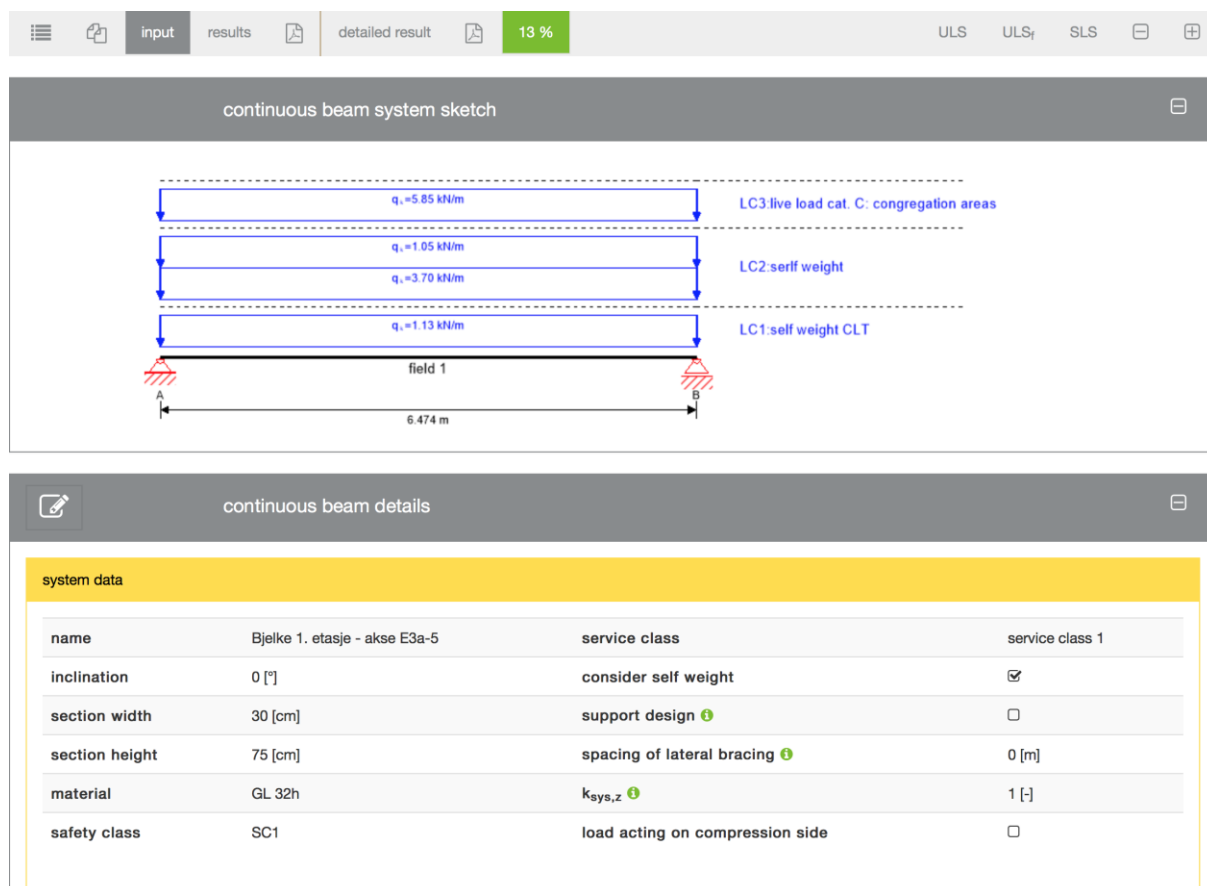
*Notat: Vi fikk to uventede systemfeil. Vi tok avgjørelsen å ikke bruke tid på modellering i Focus Konstruksjon med hensyn til tiden det tok – og sjansen for å ende opp med ubrukelige resultat.*



### 3.3.5 Calculatis

Calculatis er en gratis online programvare utviklet av Stora Enso. Programvaren brukes i hovedsak til å dimensjonere bygningselementer i limtre og massivtre (CLT), som etasjeskillere, vegger, tak, bjelker, etc. Calculatis har også mulighet til å dimensjonere stålbjelker.

Calculatis beregner elementene ut ifra lastene man oppgir. Laster kan legges på enten som egenlast (fra andre bygningselement), nyttelast (kategori A til F + H), snølast eller vindlast. Flere laster kan legges på samtidig, både som jevnt fordelt last og som punktlast. Ut fra lastene blir utnyttelsesgraden for den angitte dimensjonen beregnet. Er utnyttelsesgraden under 100% så er dimensjonen OK. Man kan også velge å ta med branndimensjonering, men vi har valgt å ikke ta dette med siden vi har utelatt branndimensjoneringen fra vårt prosjekt.



Figur 3.7: Kalkulering av en bjelke.

### 3.3.6 AutoCAD

AutoCAD av Autodesk er et 2D og 3D CAD-verktøy (computer-aided design). Med programmet kan man tegne og målsette med stor nøyaktighet og er mye brukt der det er behov for å fremstille nøyaktige og detaljerte tegninger. Er nok i den senere tid mer og mer erstattet av Autodesk Revit innen byggebransjen.

### **3.3.7 Mathcad**

Mathcad brukes til manuelle beregninger hvor man legger inn ligninger og bestemmer variabelenes verdi selv. Dataprogrammet leser ligninger fra venstre hjørne og nedover. Det fine med Mathcad er at det er lett å endre på verdier man har tastet feil. Enkelte håndberegninger i denne rapporten er gjort i Mathcad 15.

### **3.3.8 Zotero**

Zotero er et referanseprogram som er kompatibelt i Microsoft Word og nettlesere. Artikler, nettsider og lignende lagres i Zotero som oppfatter utgiver, forfatter, format og dato. Eventuell manglende eller feil informasjon endres lett av bruker i Zotero. Referansen og referanselista legges inn i Word av brukeren i ønsket stil. Referanselisten oppdateres av Zotero selv.

### **3.3.9 Excel**

Excel er regnearkbasert og gjør det enkelt å gjøre kalkulasjoner i kolonner og rader. Man kan bruke avanserte formler. Vi har brukt Excel til beregning av de vertikale påkjenningene, kostnad og CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

## 3.4 Metode

### 3.4.1 Fremgangsmåte

Vi har valgt å fokusere problemstillingen på kostnadsforskjellen og CO<sub>2</sub>-fotavtrykk mellom en konstruksjon i hovedsakelig massivtre og limtre i forhold til en tilsvarende konstruksjon i hulldekke og stål. Siden vi er lite kjent med massivtre har vi i også fokusert mest på dette. For å kunne sammenligne konstruksjonene har vi dimensjonert begge byggene og funnet materialmengden. Kostnadene til hvert bygg er produktet av materialmengden og enhetskostnaden, inkludert montering.

Forskningsmetoder deles inn i kvalitative og kvantitative metoder. Kvantitative metoder tar utgangspunkt i tall og målbare forhold, kvalitative setter søkelys på muntlig og tekstlig informasjon. Vi har i vår gjennomføring av prosjektet primært brukt kvalitativ metode.

Vi begynte med å lese oss opp på massivtre som material og byggemetode. Tidlig i prosjektet hentet vi mye kunnskap fra «Håndbok – bygge med Massivtreelementer» utgitt av Trefokus. Etter hvert tok vi fatt i skisseringen av bærekonstruksjonen, deretter begynte vi dimensjonering.

Opprinnelig hadde vi tenkt å bruke et beregningsprogram for å finne dimensjonerende laster. Disse lastene skulle vi plote inn i Calculatis og finne nødvendig tverrsnitt. Vi prøvde både FEM-Design av StruSoft og Focus Konstruksjon av Focus, men ga opp begge programmene. Vi anså ikke tidsbruken for å lære programmene og muligheten for å få et brukbart resultat som store nok mot sannsynligheten for å få et ubrukelig resultat. Alle laster ført inn i Lastberegninger (vedlegg 7) er dermed beregnet av oss selv.

Til håndberegninger av limtre har vi benyttet som mal «Trekonstruksjoner» av John Eie, til vindberegninger «Kompendium i lastberegning» av Rørvik & Årskog, resterende håndberegninger er tidligere forelesninger av Kristian Normann benyttet. Alle beregningene er i samsvar med Eurokodene.

For å finne artikler om kostnad av massivtre, har vi brukt disse søkeordene i Google: «CLT cost» og «Cross laminated timber cost».

#### **Manuell lastberegning** (vedlegg 7)

Lastene blir beregnet fortløpende nedover etasjene samtidig som de forskjellige elementene; søyler, vegger, bjelker og dekker, blir beregnet i programmet Calculatis av Stora Enso. Calculatis bruker lastfaktorene 1,35 for egenvekt, 1,5 for nyttelast og 1,5 for snølast, samt 1,25 for materialfaktor i beregning av elementene. Lastfaktor for egenvekt er normalt 1,2 i formel B2 i henhold til Eurokoden for lastberegning, men Calculatis bruker 1,35 for limtre og massivtre, noe vi også har sett Eurocode Express gjøre. Dette er beregning til sikker side og vi har valgt og ikke korrigere dette til 1,2.

Før beregning i Calculatis må man velge hvilket land beregningene gjelder for. Norge er ikke et land som kan velges i Calculatis, så vi har valgt å bruke Sverige. Ved valg av Sverige som land har vi fått faktorene nevnt over.

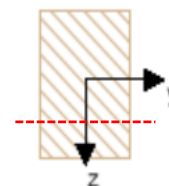
Søylene, veggene, bjelkene og dekkene blir beregnet i Calculatis med lastene som oppgitt i regnearkene i vedlegg 7. Når riktig dimensjon i Calculatis er valgt benyttes egenvekten av elementet videre i beregningen i etasjene nedover. Disse lastene er da uten lastfaktorer.

Det er ikke benyttet arealreduksjonsfaktor da belastningsarealet ikke overskrider 30 kvm, men etasjereduksjonsfaktor er benyttet fortløpende i etasjer hvor det er mer enn to

etasjer over beregnede søyler/vegger. Etasjereduksjonen er regnet ut etter formel nevnt i kapittel 2.11.2.

Etasjereduksjonsfaktoren er så benyttet for å redusere nyttelasten i de gjeldene etasjene for søyler og vegger.

For søyler er det lagt på en eksentrisitet som tilsvarer ca. halve avstanden fra senter og ut til kant i z-retning. Det er i denne retningen bjelkene er opplagt oppå søylene. På enkelte søyler i andre etasje er det også lagt på en eksentrisitet i y-retning da disse søylene også må ta last fra bjelkene som holder takhagen oppe.



Figur 3.8: Rød strek indikerer eksentrisitet.

Dekkene er beregnet i Calculatis for både jevnt fordelt last og punktlast. Det er den jevnt fordelte lasten som gir størst belastning. Beregningene av begge lasttypene i Calculatis er vedlagt denne rapporten.

Vi har hentet inn førstehåndskunnskap til massivtrekonstruksjoner gjennom befaringer på Romsdal videregående skole og Jendem skole. Vi vurderte å besøke Mjøstårnet, men leveringsfristen nærmet seg og entreprenøren hadde dermed ikke tid til flere besøk.

### 3.4.2 Reliabilitet og validitet

Nils Olsson forteller i Praktisk rapportskrivning (2011) om rapporters reliabilitet og validitet.

Reliabilitet går på rapportens etterprøvnbarhet. En rapport har god reliabilitet hvis det er mulig å gjenta den samme målingen under samme forhold med samme resultat. God reliabilitet oppnås kun når måleparametrene og -metodene er klare, og kun kan tolkes på én måte. Reliabiliteten svekkes hvis det er tvil om hva som måles og hvordan det måles.

Validitet omhandler studiens gyldighet og forteller hvor godt datamaterialet belyser problemstillingen. En rapport oppnår høy validitet når man måler mest mulig direkte på forhold man er interessert i og det er en fordel å benytte ulike måleparametre som i lag gir en indikasjon på ønsket mål.

#### Hvor gyldige er slutningene vi kan trekke?

Vi har hovedsakelig benyttet Calculatis til dimensjoneringen. Det kan selvsagt skje at lastene vi la inn i programmet er feil, særlig siden vi ikke fikk sammenlignet dem med utregnede laster fra et beregningsprogram.

Vi har gjort én kontroll av en Calculatis på bakgrunn av Eurokode 5. Selv om beregningene var nokså like, stemte ikke skjærspenningskontrollen overens.

#### Hvor stabile er målingene våre?

Vi kan anta at påliteligheten til dimensjoneringen er god når resultatene fra Calculatis og kontrollen samsvarer bra.

Hvor reelle slutninger vi kan trekke er, er derimot et annet poeng med tanke på de forenklinger vi har foretatt. Vi kan konkludere med en forøvrig ensformig reliabilitet og validitet, men nå er ikke dette en rapport som nødvendigvis skal forske på noe nytt. Vår problemstilling er å sammenligne kostnaden mellom to materialtyper – og det evner vi å gjøre.

## 4 RESULTATER

Resultatene vi presenterer baserer seg på erfaringer vi har gjort gjennom befaringer og konklusjoner vi har trukket fra beregninger. Beregningene våre baserer seg på Calculatis, tidligere forelesninger og standarder. Kostnadene er produktet av mengdeanalyse og prisestimering. Mengdeanalysen får vi av Revit og prisen henter vi fra Norsk Prisbok 2018 samt postkorrespondanser med leverandører.

### 4.1 Befaringer

Målet vårt har hele tiden vært å fokusere på bygging med massivtre. For å få større kjennskap til byggemetoden ønsket vi derfor å dra på befaring på ulike massivtreprosjekter. Vi kontaktet Per Olaf Skuseth Brækkan som er bygg- og eiendomssjef i Møre og Romsdal fylkeskommune. Han henviste oss til Jostein Wengstad, prosjektleder i Møre og Romsdal fylkeskommune, som tok oss imot på Møre og Romsdals største massivtreprosjekt: Romsdal videregående skole.

Gjennom bekjente kom vi i kontakt med Aleksander Male, anleggsleder i Veidekke AS for et massivtreprosjekt som var under konstruksjon: En skole i Jendem i Fræna kommune.

Slik fikk vi både kjennskap til et ferdig prosjekt og et under bygging.

#### 4.1.1 Romsdal videregående skole

Med et bruttoareal på 12 000 m<sup>2</sup> er Romsdal videregående skole fylkets største prosjekt i massivtre. Inkludert rivning og oppsetting hadde det en total kostnad på 520 millioner kroner.

Det aller meste av skolen er av lim- og massivtre, unntaket er fundamentet (betong) og fagverket (stål) som holder glasstaket oppe. Enkelte etasjeskillere i massivtre ble 55 cm høye, i tillegg kommer trinnlydsmatte og 8 cm betong oppå.

Skolen holder et energiforbruk (55 kW/m<sup>2</sup>) godt under passivhusnivået (70 kW/m<sup>2</sup>). Dette får de til med vannbåren varme fra 32 energibrønner boret 250 meter ned i fjellet.

Driftskostnadene blir også 20 % mindre enn vanlig ved at skolen har installert et low-tech-ventilasjonsystem. Systemet utnytter mekanisk og naturlig ventilasjon og bruker mest mulig desentraliserte aggregat med korte føringsveger.

Massivtreelementene ble produsert i Østerrike og fraktet med tog til Åndalsnes. Videre ble de fraktet til Molde med lastebil for å leveres akkurat i tide til montering.

Se vedlegg 5.

#### 4.1.2 Jendem skole

Massivtreelementene til Jendem skole er produsert i Østerrike, fraktet med tog til Drammen og videre med lastebil.

Inkludert ombygging av eksisterende skolebygg har prosjektet en kostnad på 50 millioner kroner.

For å redusere svinn og holde kostnaden nede blir vegger med store utsparinger produsert i tre deler: To vegger på sidene med en losholt i midten som binder elementene sammen.

Tekniske løsninger i bygget er blant annet å feste massivtreveggene med stålplater til fundamentet. Mellom veggene er det glipper for å hindre lydtransmisjon. Av samme årsak er det også gummilister mellom vegger og etasjeskiller.

Elementene lå mellomlagret på arbeidsplassen og pakket inn i plast.

Se vedlegg 6.

## 4.2 Dimensjonering

Fordi vi ikke fikk gjort en statisk analyse av konstruksjonene med programvarer, kan ikke vi med sikkerhet si at det ikke er behov for avstivning på sørsiden mot vindlast og jordskjelv. Vi har derfor valgt å utføre en beregning av avstivning etter konsultasjon med veileder.

### 4.2.1 Vindlast

Ved å benytte Kompendium i lastberegning (Rørvik og Årskog, 2010) kan vi regne frem vindlasten bygningen belastes av. Vi har et behov for å forenkle den opprinnelige konstruksjonen og gjør enkelte antagelser. I det utkastet vi endte opp med å bruke er ikke noe avstivende system tegnet inn på sørsida av bygget. Vi måtte derfor beregne et skivesystem for å hindre rotasjon av konstruksjonen.

Vindlasten blir først regnet ut på kortsiden. Forholdet mellom bredde og høyde gir bygget tre høydesoner. Resultanten av hver høydesone gir total vindlast, som beregnes til 667,9 kN.

Vindlasten blir deretter regnet ut på langsiden. Opprinnelig fasade med en trekantet takhage i front er innviklet å regne på. Vi forenkler derfor fasaden til å være rektangulær. Langsiden får én høydesone og et stort lastareal – denne bidrar nok til å gjøre vindlasten større enn den er. Vindlasten ble beregnet til 4551 kN.

Se vedlegg 8 og 9.

### 4.2.2 Jordskjelv

Jordskjelvberegningen er basert på undervisning i *Prosjektering konstruksjon og Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påkjenning*. Sett ovenfra og fra siden er bygget forenklet til en rektangulær boks. Enkelte parametere som trenger geotekniske undersøkelser eller større kjennskap til jordskjelvberegning har vi rådført oss med ingeniører i Norconsult AS eller veileder Kristian Normann om.

Totalt jordskjelvsmoment beregnes til å være 6419 kNm.

Se vedlegg 10.

### 4.2.3 Avstivende skive i massivtre

I det utkastet vi arbeidet ut ifra var det ikke tegnet inn et avstivende system på sørsiden av bygget. Konstruksjonen vil dermed få rotasjon fra de horisontale kreftene skapt av vindlast og jordskjelv siden ingenting tok opp kreftene i øst-vest-retning. Vi valgte å bruke en skive av massivtre med tre lameller og fasthet C24. Calculatis ga oss materialeegenskaper til elementet.

Steg én var å finne det dimensjonerende momentet av jordskjelv og vindlast. Sistnevnte viste seg å være størst på 4297 kNm.

Steg to var å beregne tverrsnittskapisiteten til skiven. Trekonstruksjoner av John Eie (2012) beskriver fremgangsmåten for å sjekke tverrsnittskapisiteten. Det gjør også

tidligere undervisning i *Avanserte konstruksjoner*. Både Trekonstruksjoner og undervisningen baserer seg på Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner.

Ved å dele skivesystemet kunne vi minke tverrsnittsdimensjonen til skivene. Om man tenker seg et snitt sett ovenfra ble dimensjonen  $b = 100 \text{ mm}$  og  $h = 3800 \text{ mm}$ , langs hele byggets høyde.

Se vedlegg 11.

#### 4.2.4 Lastberegning

Ut fra alle beregningene som er utført i vedlegg 7 har vi kommet frem til dimensjoner for de fleste søyler, vegger, bjelker og dekker i bygget. Vi har antatt at akse E (fasade sør) er mest belastet og har fokusert våre beregninger her, og har valgt å bruke dimensjonene funnet i akse E også i akse B, C og D. Vi har også gjort beregninger i andre akser.

Vi har av estetiske hensyn prøvd å beholde like dimensjoner i de samme aksene og/eller etasjene, selv om det kanskje ikke var nødvendig ut ifra et dimensjoneringsbehov.

De valgte dimensjonene på bakgrunn av Calculatis-beregningene er gjengitt i vedlegg 7, siste side.

Det er tilsammen 292 sider med beregninger fra Calculatis (hver beregning er på 4-7 sider, inkludert moment- og skjæradiagram). Vi har etter samråd med Kristian Normann valgt å kun legge ved noen utvalgte beregninger.

#### 4.2.5 Fagverk i limtre

Istedenfor å benytte oss av store skiver til å stive av bygget, kan vi heller bruke fagverk. I vårt henseende regnet vi kun på skråstavene. Vi antar at søylene og dekkene kan både ta og overføre horisontale og vertikale krefter. Når skråstavene er leddet til konstruksjonen vil de ikke overføre moment – deres eneste prinsipp er å ta opp aksialkrefter.

Ut ifra våre beregninger konkluderer vi med tverrsnittet:  $b = 200 \text{ mm}$ ,  $h = 350 \text{ mm}$ .

Utnyttelsen for fagverket i første og andre etasje blir 78,2 %. I tredje til syvende 47,4 %. Det er rom for å minke dimensjonen på fagverket i tredje til syvende.

Se vedlegg 12.

#### 4.2.6 Kjellervegg

Vi dimensjonerer den biten av kjellerveggen vi anser som mest belastet. Det statiske systemet til veggen blir betraktet som fast innspent i bunnen og fritt opplagt på toppen. Bunnen er koblet til et fundament som «holdes fast» av jordmassene. Toppen er fritt koblet til gulvet i første etasje.

Vi finner nødvendig seksjon å dimensjonere ved å anta at belastende aksialkraft spres 30 grader utover. Da får vi to rettvinklede trekkanter. Belastningsområdet blir halve lengden av motstående katet på hver trekant, multiplisert med høyden av veggen.

Dimensjonerende moment må superposisjoneres etter belastningen fra jordtrykk og nyttelast. Jordtrykket stiger lineært, mens nyttelasten holder seg stabil langs høyden av



veggen. Derimot vil begge lastene gå gjennom jord, og må reduseres med en jordtrykkskoeffisient. I samtale med Kristian antar vi en koeffisient på 0,35. Koeffisienten er nødvendig fordi jord inneholder friksjonskrefter som gjør at jorden ikke dytter like mye på omgivelsene som den blir presset selv. I motsetning vil vann ha koeffisient 1,0 (vann legger seg flatt) og steinblokker ha koeffisient 0,0 (de holder seg i ro).

Siden kjellerveggen får interaksjon mellom moment og aksialkraft, kan vi benytte M-N-diagram til beregning av armeringsmengden. M-N-diagrammene finner vi i vedlegget til Betongkonstruksjoner (Sørensen, 2. utgave).

Kjellerveggen ble 300 mm tykk og fikk 4Φ20mm armering per 2,6 meter.

Se vedlegg 13.

## 4.2.7 Fundament

Fundamentet må dimensjoneres for vipping om kanten på motsatt side av jordmassene. Avgjørende del for stabilitetsberegningen er den ytterste vingen som jordmassene hviler oppå. Den innerste vingen bidrar også, dog ikke i like stor grad og fungerer mest som hvilepunkt for kjellergulvet.

Beregningen av fundament baserer seg på at det stabiliserende momentet skal være større enn det veltende momentet.

Det stabiliserende momentet kommer av konstruksjonens egenvekt, aksiallast og vekten til jordmassene som hviler på den ytre vingen – multiplisert med sine respektive armer til vippepunktet.

Veltende moment skapes av at jordtrykket og nyttelasten presser på veggen. Det veltende momentet blir momentet ved innspenningen.

Om vi definerer vippepunktet som nullpunkt og retningen mot jordmassene som positiv, vet vi at fundamentet er stabilt når resultanten av differansen mellom det stabiliserende og veltende momentet er større enn eller lik null meter. Vår resultant ligger på 71 cm.

I tillegg er det verdt å sjekke at grunntrykket ikke er større enn maksimalt grunntrykk. I samtale med Kristian gikk vi ut ifra maksimalt grunntrykk lik 250 kN/m<sup>2</sup>. Vårt grunntrykk ble 194,5 kN/m<sup>2</sup>. Hadde vi hatt behov for å minke grunntrykket, kunne vi ha økt fundamentbredden – som ble på 1,9 m, hvorav den ytre vingen var 1,1 m bred og den indre 0,3 m.

Se vedlegg 14.

## 4.2.8 Stålbjelke og stålsøyle

For å kunne sammenligne konstruksjonen i massivtre mot et i stål og hulldekke, er vi interessert i å gjøre noen enkle beregninger av bjelker og søyler i stål. Vi har tatt utgangspunkt i de elementene hvor det er et stort antall av samme type. Dette er for å få en mest mulig nøyaktig kostnadsberegning.

Vi sjekket tverrsnittkapasiteten til bjelken og søyla med Von Mises for en-akset spenningstilstand.

Om vi bruker et HEA-200 profil med flytespenning 355MPa vil bjelken bli 69,4 % utnyttet og søylen blir 81,4 %. Helt greie utnyttelser, selv om bjelken nok kan bli mindre. Dimensjonene på øvrige bæreelementer som ikke er dimensjonert, er bestemt ut fra hva som virker logisk i forhold til spennvidder og om det er belastet med punktlast.

Se vedlegg 15 og 16.

#### 4.2.9 Kontroll av Calculatis-beregning.

Vi ønsker å selv kontrollere resultatet til Calculatis. Vi valgte en tilfeldig bjelke og sammenlignet våre resultat med programmets. Et overraskende resultat var skjærspenningskontrollen: Ifølge Eurokode 5 punkt 6.1.7 (2) skal bredden reduseres med faktor  $k_{cr} = 0,67$  for limtre ( $b_{ef} = 0,67b$ ), slik at formel for opptredende skjærspenning blir  $\tau_{vd} = \frac{3 V_{Ed}}{2 b_{ef} h}$ . Vår analyse av Calculatis-beregningen viser at programmet ikke reduserer bredden. Utenom dette var beregningene tilfredsstillende nære.

Se vedlegg 17.

## 4.3 Kostnad

Anvisning til kalkyle av kostnad og CO<sub>2</sub>-fotavtrykk - Studenttorget Campus Ålesund:

- Enhetspris, enhetstid, påslag, timesats og CO<sub>2</sub>-utslipp er hentet ut fra norsk priskbok 2018 (Jensen, 2018). CO<sub>2</sub>-utslippene som ble brukt per kubikk limtre, utenfor standarddimensjoner, er akkumulert ut fra verdiene i denne boken.
- Alle beregninger er inkl. påslag (11%) og arbeid/montering.
- Alle priser er eksklusivt mva.
- Dimensjoner på limtrebjelker og -staver som ikke er lagerført, følger pris per kubikk som er mottatt fra Moelven (vedlegg 19). I tillegg til denne prisen er det beregnet med 11% påslag på arbeid og 17,5% påslag for festemidler. Se epost fra Moelven (vedlegg 20).
- Det er tatt hensyn til nevnte konstruksjonsdeler; dekke, søyle, bjelke, og vegg. Plasstøpt betong i kjeller, fundament og sjakter er ikke betraktet.
- Tekniske spesifikasjoner for stålelementer er hentet fra norsk stål (Norsk Stål, 2019) og «tekniske tabeller» (Johannessen, 2016).

| TOTAL KOSTNAD OG DIFFERANSE |                              |                                    |                 |                             |                                   |               |                 |                 |                 |                 |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                             | Bjelker standard dim. Limtre | Bjelker, ikke standard dim. limtre | Bjelker stål    | Søyler standard dim. limtre | Søyler, ikke standard dim. limtre | Søyler stål   | Hulldekker      | CLT dekker      | CLT vegger      | TOTAL SUM       |
| <b>MASSIVTRE OG LIMTRE</b>  |                              |                                    |                 |                             |                                   |               |                 |                 |                 |                 |
| KOSTNAD                     | kr 451 300,00                | kr 1 213 910,00                    | kr 538 036,00   | kr 49 722,00                | kr 173 842,00                     | kr 141 802,00 | kr 916 993,00   | kr 4 069 803,00 | kr 2 301 018,00 | kr 9 856 426,00 |
|                             |                              |                                    |                 |                             |                                   |               |                 |                 |                 |                 |
| <b>HULLDEKKE OG STÅL</b>    |                              |                                    |                 |                             |                                   |               |                 |                 |                 | TOTAL SUM       |
| KOSTNAD                     |                              |                                    | kr 2 307 672,00 |                             |                                   | kr 861 316,00 | kr 3 740 556,00 |                 |                 | kr 6 909 544,00 |
|                             |                              |                                    |                 |                             |                                   |               |                 |                 |                 |                 |
|                             |                              |                                    |                 |                             |                                   |               |                 | DIFFERANSE      | kr              | 2 946 882,00    |
|                             |                              |                                    |                 |                             |                                   |               |                 |                 |                 | 30 %            |

Kalkylen viser en kostnadsdifferanse på 30%. Konstruksjonen i massivtre er 30% dyrere enn konstruksjonen i hulldekke og stål. Se vedlegg 22 og 23 for hele kalkylen.

## 4.4 Miljø

Anvisning til kalkyle av kostnad og CO<sub>2</sub>-fotavtrykket - Studenttorget Campus Ålesund:

- CO<sub>2</sub>-ekvivalent per enhet materiell er hentet fra norsk prisbok 2018 (Jensen, 2018). Verdiene inkluderer medgått energi i produksjon, materialer og energiforbruk gjennom byggets levetid.
- Levetiden:
  - Stål: 100 år
  - Massivtre: 100 år
  - Limtre: 100 år
  - Hulldekke: 60 år

| Co2-AVTRYKK OG<br>DIFFERANSE |                                 |                                       |              |                                |   |             |            |            |            | TOTAL SUM          |
|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------------------------|---|-------------|------------|------------|------------|--------------------|
|                              | Bjelker standard<br>dim. Limtre | Bjelker, ikke standard<br>dim. limtre | Bjelker stål | Søyler standard<br>dim. limtre | Søyler, ikke<br>standard dim.<br>limtre | Søyler stål | Hulldekker | CLT dekker | CLT vegger |                    |
| <b>MASSIVTRE OG LIMTRE</b>   |                                 |                                       |              |                                |   |             |            |            |            |                    |
| Co2-avtrykk                  | 1 889,00                        | 6 589,00                              | 23 417,00    | 202,00                         | 906,00                                  | 5 923,00    | 65 043,00  | 87 210,00  | 18 178,00  | 209 357,00         |
| <b>HULLDEKKE OG STÅL</b>     |                                 |                                       |              |                                |   |             |            |            |            |                    |
| Co2-avtrykk                  |                                 |                                       | 114 316,00   |                                |   | 42 818,00   | 265 319,00 |            |            | 422 453,00         |
|                              |                                 |                                       |              |                                |   |             |            |            |            |                    |
|                              |                                 |                                       |              |                                |   |             |            |            |            |                    |
|                              |                                 |                                       |              |                                |   |             |            | DIFFERANSE |            | 213 096,00<br>50 % |

Resultatet i kalkylen viser at CO<sub>2</sub>-fotavtrykket på konstruksjonen i massiv- og limtre er 50% lavere enn konstruksjonen i hulldekke/stål. Se vedlegg 22 og 23 for hele kalkylen.

## 5 DRØFTING

### 5.1 Valg av bæresystem

Vi mener strukturene på konstruksjonene er to gode løsninger for å oppfylle rominndelingen, uten for mange bærende elementer i åpne arealer, spesielt i første og andre etasje.

De bærende massivtreveggene bidrar til rominndelingen i bygget, og gir mindre mulighet for forandring av planløsning i ettertid. Konstruksjonen i hulldekke og stål har en fordel med større fleksibilitet i forhold til endring i ettertid.

Bygget i massivtre og limtre gir en tykkere konstruksjon, som kan gi mindre romfølelse og større utfordringer i forhold til tekniske installasjoner. På den andre siden har trevirke et bedre estetisk uttrykk enn stål og atmosfæren kan føles mykere.

### 5.2 Dimensjonering

Ved beregning av lastene (i vedlegg 7) ble nyttebelastningene beregnet med forskjellig kategori ut fra hvilken etasje og seksjon beregningene gjelder. F.eks. er det kategori A ( $2,0 \text{ kN/m}^2$ ) i boenhetene fra tredje til syvende etasje, mens det er kategori C1 ( $3,0 \text{ kN/m}^2$ ) i andre etasje og kategori C5 ( $5,0 \text{ kN/m}^2$ ) i første etasje.

Når nyttebelastningene ble beregnet nedover etasjene ble all nyttebelastning fra tredje til sjuende etasje oppgitt som kategori A i Calculatis. Når nyttebelastningene skulle beregnes for plan 2 ble all nyttebelastning lagt inn som kategori C1 i Calculatis – selv den som var utregnet fra før. Vi vet ikke om dette har noen praktisk betydning for beregningene i Calculatis, men skulle vi gjort denne beregningen på nytt så ville vi brukt rett kategori på nyttebelastningene igjennom alle etasjene. Vi oppdaget dette sent i beregningene og valgte på grunn av tidspress å ikke gjøre endringer.

### 5.3 Kostnad

Massivtredekke tåler kortere spennvidder enn hulldekke, i hovedsak på grunn av materialfastheten. Dette fører til behov for flere bjelker og vertikale bærende elementer som søyler og vegger. Et alternativ for å redusere kostnaden, kunne vært å øke tykkelsen på dekkene for å få større spennvidder og redusere antall vertikale bæreelementer, men dette er vanskelig å vite helt sikkert. De bærende massivtreveggene vil bidra til inndelingen av rom. Dette vil komme i tillegg i konstruksjonen med hulldekke og stål, som også vil ha innvirkning på total kostnaden. Det vi kan konkludere med er at elementene av bæresystemene som er tatt i betraktning er 30% dyrere i konstruksjonen med massivtre og limtre enn med hulldekke og stål. Dette er i noenlunde samsvar med tidligere studier vi har undersøkt. Det er viktig å tenke over at tidligere erfaringer viser at byggetiden i massivtre er kortere. Kalkylen vår er inkludert montering og vil derfor ikke spare inn på monteringskostnadene selv om byggetiden er kortere. Derimot kan man spare kostnader på rigg og drift, som f.eks. leie av maskiner og utstyr.

Skulle vi utført en mer nøyaktig differanse, ville det vært hensiktsmessig å ta med plaststøpt betong i beregningen, forutsatt at det er dimensjonert. Konstruksjonen i

massivtre har lavere egenvekt, som gir mindre belastning på fundament og videre redusert betongmengde. Det ville forandret kostnadsdifferansen.

Dette er noe som vi gjerne skulle forsket videre på.

## 5.4 Miljø

Det er kjent at trevirke er et miljøvennlig byggemateriale. Resultatene viser at CO<sub>2</sub>-ekvivalentene for bæreelementene som er tatt i betraktning, er 50% lavere på bygget i massivtre/limtre i forhold til hulldekke/stål. CO<sub>2</sub>-verdiene som er hentet fra norsk prisbok 2018, inkluderer medgått energi i produksjon, materialer og energiforbruk gjennom byggets levetid.

Energi som går med til transport er ikke medtatt, og vil være forskjellig fra prosjekt til prosjekt. Dersom noen av bygningsmaterialene skulle blitt bestilt fra utlandet, ville det medført lang transportvei og høyere CO<sub>2</sub>-utlipp. Vi har valgt å ikke ta dette med i beregningen siden det finnes produsenter innenlands for alle betraktede byggematerialene i dette prosjektet.

## **5.5 Mislykkede programvarer**

### **5.5.1 FEM-Design**

Det mulig å føre Revit-modellen direkte inn i FEM-Design. utfordringen er at bygningselementene ofte ikke er knyttet sammen, slik at disse manuelt må justeres i FEM-Design og er tidskrevende arbeid.

Det er også mulig å tegne modellen opp i FEM-Design. Problemet med dette er Studenttorget har et nokså komplisert bæresystem, særlig når vi ikke har kjennskap til FEM-Design. Vi forsøkte tre ganger og ga opp – tatt i betraktning tidsbruken og muligheten for å få ubrukelige resultat.

### **5.5.2 Focus konstruksjon**

Ut fra erfaring er programmet svært brukervennlig og fort å lære. På grunn av en kjent feil på programvaren, tidsmangel og lite hjelp fra support, besluttet vi å ikke fullføre modelleringen av konstruksjonen.



## 6 KONKLUSJON

Hovedproblemstillingen i oppgaven er å sammenligne kostnaden av bæresystem i massivtre opp mot hulldekke og stål. For å komme til en konklusjon har vi vært nødt til å dimensjonere to tilnærmet identiske bygg, beregne nødvendig mengde material i begge og analysere prisen. Vi har i hovedsak fokusert på dimensjoneringen av massivtrebygget. For stål og betong har vi lest av tabeller, gjort enkelte antakelser og dimensjonering av elementer som det er et stort antall av.

Alle våre beregninger er gjort for hånd og vi anbefaler derfor at bygget kontrolleres i et 3D-analyseprogram for å verifisere våre beregninger.

Angående miljøaspektet til massivtre, har massivtre fordelen av å være en fornybar kilde som byggematerial. Trær som vokser lagrer karbondioksid, og slipper ikke ut igjen karbondioksidet før det brytes ned. Romsdal videregående skole ble bygd med totalt 11 070 trær, og som fortalt i befaringen vår vil den østerrikske skogen bruke 3,6 timer til å vokse for å produsere den mengden. Av massen blir 60 % utnyttet til elementer og resterende 40 % til papir, emballasje og energi. Hos begge befaringene fikk prosjektet levert massivtreelementer fra Østerrike. Begge ble fraktet med tog. Til Romsdal videregående skole ble elementene fraktet helt til Åndalsnes og for Jendem skole til Drammen. I stortingsmelding 28 fra regjeringen Stoltenberg II ble det fremhevet å gjøre bygningspolitikken fremtidsrettet gjennom bærekraftige bygg og byggeprosesser. Dette er mulig med konstruksjoner i massivtre.

Resultatet viser at bæresystemet i massiv- og limtre har et CO<sub>2</sub>-fotavtrykk 50 % lavere enn systemet i hulldekke og stål. Verdiene inkluderer medgått energi i produksjon, materialer og energiforbruk gjennom byggets levetid.

Trekonstruksjoner har stor tradisjon i Norge og tradisjonen kan vedlikeholdes med massivtrebygninger. Når konstruksjonsteknikken er modulbasert kortes byggetiden drastisk ned og kan gjøre fortjenesten for entreprenørene større eller prisen for byggherren lavere. Romsdal videregående skole lå på et tidspunkt fire måneder foran tidsplanen. utfordringer med bygging i massivtre er at alle detaljprosjekteringene må være på plass før byggingen starter – men dette er også gjeldende for prefabrikkerte betongbygninger.

Etter våre beregninger vil kostnadsforskjellen på elementene tatt i betraktning på konstruksjonen i massivtre og limtre være 30 % høyere sammenlignet med en tilsvarende konstruksjon i hulldekke og stål. Da har vi kun tatt hensyn til de bærende konstruksjonsdelene: dekker, søyler, bjelker og vegg. Vi har i beregningene inkludert montering. Massivtredekker krever flere bærende enheter enn hulldekker. Dette fører prisforskjellen opp når massivtre- og limtreelementer generelt er dyrere enn stål og betong.

For en mer nøyaktig kostnadssammenligning mellom disse bæresystemene bør det dimensjoneres for brann og lyd.

## 7 REFERANSER

- Beltz, P. (2018). *cross laminated timber feasibility study*. 19.
- dibk.no. (2019a). Brannklasser. Hentet 30. januar 2019, fra Byggteknisk forskrift (TEK 17) website: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-3/>
- dibk.no. (2019b, februar 27). Direktoratet for byggkvalitet. Hentet 27. februar 2019, fra Direktoratet for byggkvalitet website: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>
- dibk.no. (2019c, mars 26). Direktoratet for byggkvalitet. Hentet 26. mars 2019, fra <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/iii/11-8/>
- Emily Lorenz, Martha VanGeem, Ke Li, Thomas Lawrence, & Rita Schenck. *Determining the Carbon Footprint of Wood*. , (2016).
- Gjestland, T. (2018). Lyd. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <http://snl.no/lyd>
- Green, J. (2010, februar 8). Waste Not with a Combo Sink Toilet. Hentet 25. februar 2019, fra Jetson Green website: <http://www.jetsongreen.com/2010/02/roca-dual-wash-basin-water-closet.html>
- Hill, C., & Zimmer, K. (2018). *The environmental impacts of wood compared to other building materials*. 156.
- Home automation. (2019). I *Wikipedia*. Hentet fra [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Home\\_automation&oldid=884467844](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Home_automation&oldid=884467844)
- Husbanken. (2017a). *Veileder for tilskudd til studentboliger*. Hentet fra <https://www.husbanken.no/tilskudd/tilskudd-tilskudd-til-studentboliger/veileder/>
- Husbanken. (2017b, juni 21). Beregning av tilskudd - Husbanken. Hentet 27. februar 2019, fra [www.husbanken.no](http://www.husbanken.no) website: <https://www.husbanken.no/tilskudd/tilskudd-tilskudd-til-studentboliger/veileder/beregning/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global warming of 1.5°C*. Hentet fra <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>
- Jensen, Ø. (2018). *Norsk Prisbok 2018*.
- Johannessen, J. (2016). *Tekniske tabeller*.

- Kirkhus, A. (2017). *Innføring i byggereglene TEK17* (7. utg.). Oslo: SINTEF akademisk forl.
- Kittang, D., Narvestad, R., & Nyrud, A. Q. (2011). *Tre i by - en kunnskapsoversikt* (Nr. 74). SINTEF Byggforsk.
- Kontrollrådet. (2018, februar 21). Ti ting du ikke visste om betong. Hentet 15. februar 2019, fra Kontrollrådet website: <http://kontrollbetong.no/ti-ting-visste-om-betong/>
- Laguarda-Mallo, M., & Espinoza, O. (2016). CROSS-LAMINATED TIMBER VS. CONCRETE/STEEL: COST COMPARISON USING A CASE STUDY. *ResearchGate*. Hentet fra [https://www.researchgate.net/publication/320739097\\_CROSS-LAMINATED\\_TIMBER\\_VS\\_CONCRETESTEEL\\_COST\\_COMPARISON\\_USING\\_A\\_CASE\\_STUDY](https://www.researchgate.net/publication/320739097_CROSS-LAMINATED_TIMBER_VS_CONCRETESTEEL_COST_COMPARISON_USING_A_CASE_STUDY)
- Lie, Ø. (2015, januar 8). Vind-tre skal produsere strøm ved svært lav vindhastighet. Hentet 22. februar 2019, fra Tu.no website: <https://www.tu.no/artikler/vind-tre-skal-produsere-strom-ved-svaert-lav-vindhastighet/223728>
- Metall Bygg AS. (2019). Stålbygg. Hentet 1. april 2019, fra <https://metallbygg.no/tjeneste/stalbygg/>
- Maage, M. (2015). *Betong: regelverk, teknologi og utførelse*. Oslo: Byggenæringens forl.
- Neerland, E. D. (2017, oktober 2). *Klimagassregnskap Bjørkelangen skole*. Hentet fra <https://docplayer.me/64496029-Klimagassregnskap-bjorkelangen-skole.html>
- New World Wind. (2018). New World Wind. Hentet 22. februar 2019, fra New World Wind website: <http://newworldwind.com/>
- Next Energy Technologies Inc. (2016, juli 18). Organic Solar Start-up. Hentet 25. februar 2019, fra IEE | UC Santa Barbara website: <https://iee.ucsb.edu/next-energy-technologies-organic-solar-start>
- Next Energy Technologies Inc. (2019). Energy Generating Windows. Hentet 25. februar 2019, fra <https://nextenergy.tech/>
- NorElement. (2017). Hulldekke | Nor Element. Hentet 26. mars 2019, fra [http://www.norelement.no/?page\\_id=82](http://www.norelement.no/?page_id=82)

- Noreng, K., Kvalvik, M., Busklein, J. O., Ødegård, I. M., Corinna, S. C., & French, H. K. (2012). *Grønne tak. Resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt*. Hentet fra [https://www.sintefbok.no/book/index/932/groenne\\_tak\\_resultater\\_fra\\_et\\_kunnskapsinnhentingsprosjekt](https://www.sintefbok.no/book/index/932/groenne_tak_resultater_fra_et_kunnskapsinnhentingsprosjekt)
- Norsk Stål. (2019, hentet). Norsk Stål. Hentet 13. mai 2019, fra [https://norskstaal.no/NS\\_3470-1:1999\\_\(1999\)](https://norskstaal.no/NS_3470-1:1999_(1999)). Hentet 8. februar 2019, fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=133827>
- NS 3470-2:2003. (2003). Hentet 11. februar 2019, fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=133829>
- NS-EN 1990. (2016). NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016. Hentet 22. februar 2019, fra <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=814847>
- Olsson, N. (2011). *Praktisk rapportskrivning*. Trondheim: Tapir akademisk.
- PBL. (2008). Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven) - Lovdata. Hentet 22. februar 2019, fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>
- Regjeringen Stoltenberg II. (2012, juni 15). Gode bygg for eit betre samfunn [Stortingsmelding]. Hentet 8. februar 2019, fra regjeringen.no website: <https://www.regjeringen.no/nn/dokumenter/meld-st-28-20112012/id685179/>
- Rørvik, T. (2010). *Konstruksjonssikkerhet og belastning: kompendium i lastberegning* (3. rev. utgave Vemund Årskog.). Ålesund: V. Årskog.
- Sagen, T. (2019). #7 Klima. I *Tore Sagens podkast*. Hentet fra [https://radio.nrk.no/podkast/tore\\_sagens\\_podkast/nrkno-poddkast-26624-148014-20022019050000](https://radio.nrk.no/podkast/tore_sagens_podkast/nrkno-poddkast-26624-148014-20022019050000)
- Service, R. F. (2018, juni 28). Skyscrapers could soon generate their own power, thanks to see-through solar cells. Hentet 25. februar 2019, fra Science website:

<https://www.sciencemag.org/news/2018/06/skyscrapers-could-soon-generate-their-own-power-thanks-see-through-solar-cells>

SINTEF Byggforsk. (1996). 522.881 Dekker av betong- og lettbetongelementer - Byggforskserien. Hentet 19. februar 2019, fra [https://www.byggforsk.no/dokument/346/522881\\_dekker\\_av\\_betong\\_og\\_lettbetongelementer](https://www.byggforsk.no/dokument/346/522881_dekker_av_betong_og_lettbetongelementer)

Skaug, E. (2007, april). *Trevirkets oppbygging og egenskaper*. Trefokus.

Skullestad, J. L. (2016). *Bygging av høyhus i tre som et klimatiltak - En sammenliknende LCA av bæresystemer i tre og betong for bygg med varierende antall etasjer*. Hentet fra <http://hdl.handle.net/11250/2407885>

Smith, R. E., Griffin, G., Rice, T., & Hagehofer-Daniell, B. (2018). Mass timber: evaluating construction performance. *Architectural Engineering and Design Management*, 14(1-2), 127-138. <https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1273089>

SNL. (2014). stålkonstruksjon. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <http://snl.no/st%C3%A5lkonstruksjon>

SolarWindow Technologies, Inc. (2019). Hentet 25. februar 2019, fra SolarWindow Technologies, Inc. website: <https://www.solarwindow.com>

Standard Norge. (2008a). *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner*. Oslo: Standard Norge.

Standard Norge. (2008b). *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner*. Lysaker: Standard Norge.

Standard Norge. (2019). Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning. Hentet 14. mai 2019, fra <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/eurokode-8/>

Tafjord Kraft. (2019). Fjernvarme. Hentet 25. februar 2019, fra Bruksområder fjernvarme website: <https://www.tafjord.no/bedrift/fjernvarme/bruksomraader/>

Thaulow, H. (2018). vannressurser. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <http://snl.no/vannressurser>

Thue, J. V. (2018). betong. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <http://snl.no/betong>

Trefokus. (2019). Limtre | Trefokus. Hentet 14. mai 2019, fra

<http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/limtre>

Treteknisk. (2006a). *Generelt*. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.

Treteknisk. (2006b). *Håndbok - bygge med Massivtreelementer* (Bd. 1–6). Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.

Ubiquitous Energy, Inc. (2019). Hentet 25. februar 2019, fra <http://ubiquitous.energy/>

University, M. S. (2017, oktober 23). Transparent solar technology represents «wave of the future». Hentet 25. februar 2019, fra MSUToday website:

<http://msutoday.msu.edu/news/2017/transparent-solar-technology-represents-wave-of-the-future/>

Vikan, J. I. (2019, februar 12). Maskinparken TRE. Hentet 20. februar 2019, fra Bygg.no

- Byggeindustrien website: <http://www.bygg.no/article/1383223>

W+W | Collections | Roca. (2018). Hentet 25. februar 2019, fra

<http://www.roca.com/catalogue/collections/#!/w-w>

Wormdahl, E. D., Hox, K., & Steen-Hansen, A. (2017). *Brannsikkerhet i bygg med massivtre*. 24.

Østnor, T. (2018). *Massivtre og Plasstøpt betong: en casestudie - forskjeller, erfaringer og forbedringspotensial*. Hentet fra <http://hdl.handle.net/11250/2562806>

## VEDLEGG

|    |  |          |
|----|--|----------|
| 1  | Forprosjektrapport .....                               | 12 sider |
| 2  | Logg hver 14. dag .....                                | 11 sider |
| 3  | Framdriftsrapport.....                                 | 10 sider |
| 4  | Møtereferat .....                                      | 3 sider  |
| 5  | Befaring til Romsdal videregående skole .....          | 4 sider  |
| 6  | Befaring til Jendem skole .....                        | 9 sider  |
| 7  | Lastberegning.....                                     | 49 sider |
| 8  | Håndberegning: Vindlast i vest-øst-retning.....        | 5 sider  |
| 9  | Håndberegning: Vindlast i nord-sør-retning .....       | 3 sider  |
| 10 | Håndberegning: Jordskjelv .....                        | 7 sider  |
| 11 | Håndberegning: Avstivende skive i massivtre .....      | 5 sider  |
| 12 | Håndberegning: Fagverk i limtre .....                  | 4 sider  |
| 13 | Håndberegning: Kjellervegg .....                       | 9 sider  |
| 14 | Håndberegning: Fundament .....                         | 4 sider  |
| 15 | Håndberegning: Stålbjelke .....                        | 4 sider  |
| 16 | Håndberegning: Stålsøyle .....                         | 6 sider  |
| 17 | Håndberegning: Kontroll av Calculatis-beregning .....  | 13 sider |
| 18 | Epostkorrespondanse: Kostnad massivtre .....           | 1 side   |
| 19 | Epostkorrespondanse: Kostnad limtre.....               | 1 side   |
| 20 | Epostkorrespondanse: Påslag festemiddel limtre.....    | 1 side   |
| 21 | Epostkorrespondanse: Svar fra Veidekke .....           | 4 sider  |
| 22 | Kalkyle for bæresystemet med massivtre og limtre ..... | 14 sider |
| 23 | Kalkyle for bæresystemet med hulldekke og stål.....    | 17 sider |
| 24 | Standarddimensjoner for limtre .....                   | 1 side   |
| 25 | Standarddimensjoner for massivtre.....                 | 1 side   |
| 26 | Tegninger .....  | 21 sider |
| 27 | Tredje utkast fra arkitekt .....                       | 9 sider  |
| 28 | Utvalg Calculatis-beregninger .....                    | 34 sider |

Totalt antall sider vedlegg: 262

TITTEL:

## SIT Studenttorget Ålesund

KANDIDATNUMMER(E):

**Per Øyvind Moeng  
Håvard Sylte  
Odin Strandkleiv Thorsrud**

|                     |                    |                               |                   |
|---------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------|
| DATO:               | EMNEKODE: *        | EMNE:                         | DOKUMENT TILGANG: |
| <b>25.01.2019</b>   | <b>IB303312</b>    | <b>Bacheloroppgave (Bygg)</b> | - Åpen            |
| STUDIUM:            | ANT SIDER/VEDLEGG: | BIBL. NR:                     |                   |
| <b>BYGGINGENIØR</b> | 10/2               | • Ikke i bruk -               |                   |

OPPDRAGSGIVER(E)/VEILEDER(E):

**Norconsult, Christoffer Nilsen  
NTNU, Kristian Normann**

OPPGAVE/SAMMENDRAG:

Studenttorget har som hovedmål er å gjøre Campus Ålesund til et urbant, utadrettet og miljøvennlig knutepunkt. Det nye bygget skal plasseres sør for eksisterende lab-bygg og inneholde bl.a. 75 studenthybler, treningsareal, kontor til studentorganisasjoner, kulturscene, studenthus (Banken), med mere.

Oppdragsgiveren, Studentsamskipnaden i Trondheim (SIT), har et ønske om et bærekraftig bygg og vi har derfor valgt å prosjektere bygget i massivtre og eventuelt å se på alternativene for «grønne» tiltak, som f.eks. grønt tak, solceller, vindkraft, etc.

Vår hovedproblemstilling blir hvordan man konstruerer og dimensjonerer dette bygget i massivtre, samt å modellere bygget ved hjelp av BIM-verktøyet Revit fra Autodesk. Vi vil finne kostnadsforskjellen mellom bygget i massivtre og i betong.

I løpet av studiet har det vært lite fokus på tre generelt - og massivtre spesielt - i undervisningen innenfor statikk og konstruksjonslære, vi synes det derfor er ekstra utfordrende å jobbe med massivtre.

Vi skal skrive for Norconsult, som vil bidra med kompetanse innenfor konstruksjon og dimensjonering samt nødvendig programvare.



# INNHold

|   |          |
|---|----------|
| <b>1 INNLEDNING .....</b>   | <b>3</b> |
| <b>2 BEGREPER .....</b>   | <b>3</b> |
| <b>3 PROSJEKTORGANISASJON.....</b>                                    | <b>3</b> |
| 3.1 PROSJEKTGRUPPE.....   | 3        |
| 3.2 STYRINGSGRUPPE (VEILEDER OG KONTAKTPERSON OPPDRAGSGIVER).....     | 4        |
| <b>4 AVTALER.....</b>   | <b>4</b> |
| 4.1 AVTALE MED OPPDRAGSGIVER.....                                     | 4        |
| 4.2 ARBEIDSSTED OG RESSURSER .....                                    | 4        |
| 4.3 GRUPPENORMER – SAMARBEIDSREGLER – HOLDNINGER.....                 | 4        |
| <b>5 PROSJEKTBEKRIVELSE .....</b>                                     | <b>4</b> |
| 5.1 PROBLEMSTILLING - MÅLSETTING - HENSIKT.....                       | 4        |
| 5.2 KRAV TIL LØSNING ELLER PROSJEKTRESULTAT – SPESIFIKASJON .....     | 4        |
| 5.3 PLANLAGT FRAMGANGSMÅTE(R) FOR UTVIKLINGSARBEIDET – METODE(R)..... | 4        |
| 5.4 INFORMASJONSINNSAMLING – UTFØRT OG PLANLAGT.....                  | 5        |
| 5.5 VURDERING – ANALYSE AV RISIKO .....                               | 5        |
| 5.6 HOVEDAKTIVITETER I VIDERE ARBEID.....                             | 5        |
| 5.7 FRAMDRIFTSPLAN – STYRING AV PROSJEKTET.....                       | 5        |
| 5.8 BESLUTNINGER – BESLUTNINGSPROSESS.....                            | 6        |
| <b>6 DOKUMENTASJON.....</b>   | <b>6</b> |
| 6.1 RAPPORTER OG TEKNISKE DOKUMENTER.....                             | 6        |
| <b>7 PLANLAGTE MØTER OG RAPPORTER .....</b>                           | <b>6</b> |
| 7.1 MØTER .....   | 6        |
| 7.2 PERIODISKE RAPPORTER .....  | 6        |
| <b>8 PLANLAGT AVVIKSBEHANDLING .....</b>                              | <b>6</b> |
| <b>9 UTSTYRSBEHOV/FORUTSETNINGER FOR GJENNOMFØRING .....</b>          | <b>7</b> |
| <b>10 REFERANSER .....</b>  | <b>7</b> |
| <b>VEDLEGG .....</b>  | <b>7</b> |

## 1 INNLEDNING

Både Ålesund Kommune og NTNU har et felles mål om å utvikle arealet rundt universitetet og Norsk Maritim Kompetansesenter (NMK) til et område som skal være et utadrettet og tilgjengelig knutepunkt for alle brukergrupper og legge til rette for et miljøvennlig liv.

Det nye studenttorget er en del av et større planprogram for Campus Ålesund, og som en del av studenttorget skal det bygges et nytt bygg sør for dagens lab-bygg. Dette bygget skal inneholde bl.a. areal for studentaktiviteter som kulturscene og studenthus (Banken), lokaler for studentorganisasjonene og SIT, kafé, treningsrom, innovasjonshub og fem etasjer med 75 studenthybler.

Vår problemstilling ligger i valg av materialbruk, med massivtre (CLT) som hovedfokus. Arkitektene fra Lusparken Arkitekter har tegnet et forslag til bygget hvor det er brukt massivtre. Bygget skal modelleres og dimensjoneres. Vi vil finne ut av hva som er mest kostnadseffektivt av massivtre og betong.

Det er først på 90-tallet at massivtre virkelig begynte å bli tatt i bruk i husbygging, men som produkt har det vært produsert enda lengere. Massivtre er foreløpig et relativt ukjent byggemateriale, selv om det er stadig flere bygg som bygges i massivtre, enten deler av eller hele konstruksjonen.

Vi skal skrive for Norconsult. Norconsult er et av landets største rådgivende firma og en av de ledende tverrfaglige rådgiverbedrifter i Norden. De utfører prosjekterer og rådgiving innen industri, samferdsel, olje og gass.



*Illustrasjon Lusparken Arkitekter*

## 2 BEGREPER

**Bærekraft** omhandler framtidsrettede miljømessige tiltak.

**CLT** står for *Cross Laminated Timber*.

**POAP** står for *Plan on a page* og er en prosjektplan.

**Punktsky** er en innsamling bilder som omgjøres til georefererte punkt.

**Lameller** er tynne skiver som ligger tett i tett.

**Limtre** er konstruksjonselementer med sammenlagte lameller i fiberretningen.

**Massivtre** er konstruksjonselement av krysslagte eller parallelle og sammenførte lameller.

## 3 PROSJEKTORGANISASJON

### 3.1 Prosjektgruppe

| Studentnummer(e)                    |
|-------------------------------------|
| 476153 – Moeng, Per Øyvind          |
| 997482 – Sylte, Håvard              |
| 263631 – Thorsrud, Odin Strandkleiv |

#### 3.1.1 Oppgaver for prosjektgruppen - organisering

Gruppen organiserer seg med en flat struktur, uten en dedikert prosjektleder. Alle i gruppen vil få ansvar for å følge opp prosjektplanen gruppen har blitt enig om. Vi har også blitt enig om å jobbe mest mulig sammen, for å sikre at alle får omtrent like stor forståelse for både problemstillingene og løsningene.

Vi rullerer mellom tegning, beregning og rapportskrivning, slik at alle skal få en noenlunde lik innsikt i helheten og ha lik læringsprosess.

#### 3.1.2 Oppgaver for medlemmene i gruppen

- Modellering i Revit, evt detaljer i AutoCad. Gantt-diagram og 4D modell i Synchro 4D.
- Beregning i henhold NS-EN. Både manuelt ved hjelp av MathCad og/eller Excel og ved hjelp av dimensjoneringsprogrammer som EuroCode Express, FEM-Design, Calculatis.
- Innhenting av informasjon med hovedfokus om massivtre spesielt og betong generelt, samt lover, vedtekter og byggeforskrifter rundt temaene.
- Rapportskrivning.
- Korrekturlesing.
- Lage presentasjonsmateriale.

### 3.2 Styringsgruppe (veileder og kontaktperson oppdragsgiver, og oppgaver for disse)

- NTNU: Kristian Normann, universitetslektor.
  - Oppgaver for veileder NTNU:
    - Gi veiledning om oppgaven og kanskje spesielt på beregning og statiske system.

- Oppfølging og kontroll av framdrift av oppgaven.
- Norconsult: Christoffer Dahlstrøm Nilsen, seksjonsleder avdeling bygg.
  - Oppgaver for Norconsult:
    - Gi tilgang på Norconsults produktbibliotek (Revit).
    - Bidra med analytisk kunnskap og generell veiledning på det bygningstekniske.
    - Få tilgang til Norconsults landsdekkende nettverk av spesialkompetanse, spesielt innenfor massivtre.
    - Norconsult vil i tillegg stille med andre ressurser innenfor andre fagfelt ved behov.

### 3.3 Øvrige personer

- SIT: Lars Kristian Meland, byggherrerepresentant SIT.
  - Oppgaver: Svare på spørsmål vi har til detaljer rundt selve bygget.
- NTNU: Aleksander Hessen og Anders Oksavik, medstudenter.
  - Droneskanning av byggeområdet.

## 4 AVTALER

### 4.1 Avtale med oppdragsgiver

Se vedlegg: Avtale mellom oppdragsgiver (bedrift), student og NTNU i Ålesund

### 4.2 Arbeidssted og ressurser

Arbeidssted:

Norconsult Ålesund (Retirovegen 4, 6019 Ålesund)

NTNU i Ålesund (Larsgårdsvegen 2, 6009 Ålesund)

Det vil i perioden februar – mai være redusert tilgjengelighet for arbeidsplasser/grupperom på skolen da F-blokka skal renoveres. Dette berører bl.a. biblioteket og lesesalene. I tillegg deler vi kontorplass hos Norconsult med en annen bachelorgruppe fra Vann- og Miljøteknikk-klassen. Ved behov kan lokaler på NMK/ÅKP benyttes.

Ressurspersoner:

Christoffer Dahlstrøm Nilsen, seksjonsleder avd. bygg Norconsult

Terese Kvamme Ødegård, konstruksjonsingeniør Norconsult

Kristian Normann, universitetslektor NTNU

## 4.3 Gruppenormer – samarbeidsregler – holdninger

Normer:

- Møte opp til avtalt tid. Hvis noen av gruppemedlemmene ikke kan møte som avtalt er vedkommende pliktig til å informere de øvrige medlemmene i rimelig tid.
- Ved uenighet om løsninger, fremgangsmåte, etc., er det flertallet som bestemmer.
- Ved mulig overskridelse av plan (forsinkelser) må hele gruppen være innstilt på overtid (så langt det praktisk lar seg gjøre). Alternativt må omfanget av oppgaven revurderes.

Samarbeidsregler:

- Alle bidrar ca. like mye så langt det er mulig.
- Gruppen rullerer på arbeidsoppgavene slik at alle i gruppen får erfaring med alle elementene i oppgaven, som modellering, dimensjonering, rapportskrivning, etc.
- Hjelp hverandre, både på mengde og kunnskap.

Holdninger:

- Bærekraftig tilrettelegging angående konstruksjoner.
- Ha gode etiske verdier i forhold til ingeniøryrket.
- Åpen for nye lærdommer og impulser fra andre, også utenfor sitt eget fagfelt.
- Prøve å forstå helheten i et prosjekt, ikke bare sitt eget fag, men alle rollene involvert i et byggeprosjekt.

## 5 PROSJEKT BESKRIVELSE

### 5.1 Problemstilling - målsetting - hensikt

#### Problemstilling:

Hovedaktiviteten i denne oppgaven vil være å modellere og dimensjonere bygget i massivtre. Vi vil også som en del av oppgaven dimensjonere bygget ved bruk av mer tradisjonelle materialer som stål og betong, for så å sammenligne kostnadene ved forskjellig materialbruk; massivtreelementer i forhold til hulldekker.

Vil det være en kostnadsforskjell ved bruk av massivtre i forhold til hulldekker?

#### Målsetting:

Vi ønsker å fordype oss i massivtre for å lære om fordeler og ulemper.

##### Hovedmål:

- Læringsutbytte av prosjektet.
- Løse oppdragsgiver i forhold til oppgavens problemstilling.
- Prosjektet bidrar til å gjøre campus NTNU til et levende og miljøvennlig knutepunkt (hovedmål for campus Ålesund).

##### Milepæl:

- Definerer av problemstilling.
- Definerer av bæresystem.
- Modellering.
- Dimensjonering.

- Kontrollberegning.
- Ferdig rapport.

Resultatmål:

- Studentbygget skal være sju etasjer, hvorav fem etasjer er studenthybler. Til sammen 75 hybler.
- Prosjektet skal være levert innen 20. mai 2019.
- Bygget skal dimensjoneres etter Eurocode-normen.

Effektmål:

- Bedre tilbud om bosted for studenter med 75 nye studenthybler.
- Bedre arbeidsforhold for studenter og organisasjoner.

**Hensikt:**

Massivtre er i vinden som et miljøvennlig tiltak for bærekraftige konstruksjoner. Siden massivtre ikke er så vanlig å benytte i større konstruksjoner, ønsker vi å tilegne oss kunnskap om massivtre; hvordan konstruksjoner i massivtre dimensjoneres og beregnes.

## 5.2 Krav til løsning eller prosjektresultat – spesifikasjon

Vi ser på muligheten for å konstruere bygget i massivtre og konstruere i henhold til krav og forskrifter. I tillegg vil vi konstruere samme bygg ved bruk av stål og betong for å sammenligne kostnader.

Etasjene 3-7 har felles kjøkken/oppholdsrom samt ett HC-toalett per etasje. SIT har derfor valgt å definere hver etasje som ett bofellesskap og er derfor å regne for én boenhet. Det er i tillegg én HC-hybel per etasje.

Kjelleren er av betong og må nødvendigvis også dimensjoneres. Første og andre etasje er også i massivtre med store vindusflater, spesielt mot syd. Andre etasje har i tillegg store utkragede gulvareal.

## 5.3 Informasjonsinnsamling – utført og planlagt

- Utført:
  - Lånt fra skolebiblioteket: Treteknisk Håndbok – bygge med Massivtreelementer
  - Sette seg inn i massivtre som konstruksjonselementer og massivtreets egenskaper i forhold til styrke, brann, lyd og miljøavtrykk.
  - Pratet med Trond Egil Nyløkken fra Moelven.
  - Fått punktsky over byggeområdet fra Aleksander Hessen og Anders Oksavik.
  - SIT: Ønsker fra oppdragsgiver på evt. andre elementer oppgaven bør inneholde.
  - Prate med tidligere studenter som har skrevet bacheloroppgave om massivtre.
- Planlagt:
  - Teknisk spesifikasjon av limtreelementer (bøyestivhet, motstandsmoment, annet arealmoment, tyngdetetthet, etc.).
  - Dimensjoneringsprinsipp for massivtreelement.
  - Samtale med veiledere (NTNU & Norconsult).
  - Prate med leverandører og andre som har kunnskap om massivtrebygg.

- Prate med Per Olav Brekkan (fylkeskommunen) angående massivtre.
- Lese bacheloroppgaven fra mai 2018 om massivtre.

## 5.4 Vurdering – analyse av risiko

Suksesskriterier:

- At bygget blir modellert med et godt bæresystem
- At bygget blir dimensjonert i henhold til Eurocode-normen.

Risiko for prosjektet:

- Beregningsfeil.
- Frafall av én eller flere i gruppen på grunn av sykdom, alvorlig skade eller død.
- Norconsult ikke har tilgjengelige ressurser for prosjektet.
- At omfanget av oppgaven blir for stort til at alle ønskelige tema blir belyst på en tilfredsstillende måte.
- Finne et nettverksområde hvor man kan lagre en sentral Revit-fil slik at flere kan jobbe på samme modell. Uten denne muligheten er det bare én person som kan jobbe på modellen fra én PC. Dette vil kunne sinke modelleringen, redusere effektiviteten, øke feil i modellen og redusere læringen av Revit-modellering til de i gruppen som ikke får muligheten til å modellere.

## 5.5 Framdriftsplan – styring av prosjektet

### 5.5.1 Hovedplan

Se fremdriftsplanen *Plan on a Page (POAP)* under vedlegg; vedlegg 2. Her er prosjektet delt opp i arbeidsoppgaver med tilhørende tidsbruk og ansvarlig utførende. Planen er lagd i Excel, og er for stor til å settes inn i dette dokumentet. Planen er vedlagt som en separat fil.

Hovedpunktene i planen er:

- Forprosjekt
- Datainnsamling
- Modellering
- Dimensjonering
- Rapportskriving
  - Innledning, teoretisk grunnlag, material og metode
  - Resultat, drøfting og konklusjon
- Presentasjon av prosjektet

### 5.5.2 Styringshjelpemidler

- Plan on a Page (POAP)
- Fraværsoversikt/ferieplan
- Ressursliste
- Oversikt over arbeidsfordeling

### 5.5.3 Intern kontroll – evaluering

- Arbeidsinnsats loggføres etter hver arbeidsdag.
- Framdriftsplan hver mandag.
- Evalueringsmøte hver fredag, hvor framdriftsrapporten blir utfylt.
- Logg og framdriftsrapport sendes til veileder hver 14. dag.
- Møter med veiledere ved behov.

### 5.6 Beslutninger – beslutningsprosess

- Skaffe til veie nok informasjon til å kunne ta en beslutning. Om ikke informasjon finnes tilgjengelig vil beslutning tas i samråd med veilederne (NTNU & Norconsult).
- Ved uenigheter vil det være 2/3 flertall som avgjør.

## 6 DOKUMENTASJON

### 6.1 Rapporter og tekniske dokumenter

- Tegninger
  - Snitt-tegninger
  - Plantegninger
  - 3D modell
  - Fasadetegninger
  - Armeringsdetaljer.
  - Detaljtegninger
    - Overganger søyle/vegg/bjelke/dekke
- Beregningsgrunnlag – belastningsareal, reduksjonsfaktorer, etc
- Lastberegninger - håndberegning (MathCAD/Excel), rapporter (EuroCode Express/FEM-Design, etc)
- Dokumentasjon/tabeller/diagram på konstruksjonselementer (betong, stål, massivtre)

Arbeidsdokumentene, nevnt over, blir lagret i skyen på One Drive mens prosjektet pågår. Ingen av disse dokumentene distribueres/publiseres mens prosjektet pågår.

## 7 PLANLAGTE MØTER OG RAPPORTER

### 7.1 Møter

#### 7.1.1 Møter med styringsgruppen

Første planlagte møte var fredag 11. Januar 2019 kl. 12 i Norconsults lokaler. Inviterte er veileder Kristian Normann, Christoffer Nilsen samt prosjektgruppen.

Ytterligere møter med veilederne tas ved behov uten nærmere planlegging.



## 7.1.2 Prosjektmøter

Prosjektgruppen planlegger å jobbe i gruppe med alle tre til stede, enten ved Norconsults lokaler, på skolen eller på ÅKP (NMK2). Ved unntak kan man bli enig om å jobbe hjemmefra. Se også punkt 4.2.

## 7.2 Periodiske rapporter

### 7.2.1 Framdriftsrapporter (inkl. milepæl)

- Logg og framdriftsplan hver 14. dag

## 8 PLANLAGT AVVIKSBEHANDLING

- Ved mulig overskridelse av plan (forsinkelser) må hele gruppen være innstilt på overtid (så langt det praktisk lar seg gjøre). Alternativt må omfanget av oppgaven revurderes.
- Ved frafall på grunn av kortere tids sykdom vil arbeidet gå som normalt.
- Ved frafall på grunn av lengre tids sykdom må arbeidet omfordeles for å nå kommende milepæler.
- Ved frafall på grunn av alvorlig skade eller død må arbeidsmengden restruktureres, eventuelt avsluttes.
- Ved frafall av veileder eller nødvendige ressurser hos Norconsult må arbeidsmengden revurderes og evt. reduseres.

## 9 UTSTYRSBEHOV/FORUTSETNINGER FOR GJENNOMFØRING

- Drone for innsamling av punktsky for lab-bygget og området rundt.

## 10 REFERANSER

## VEDLEGG

Vedlegg 1     Avtale mellom oppdragsgiver (bedrift), student og NTNU i Ålesund  
Vedlegg 2     Plan on a Page. [Vedlegges som fil]

## VEDLEGG 1

# Bacheloroppgave 2019

I forbindelse med utførelse av Bacheloroppgave i bedrift.

## Avtale mellom oppdragsgiver (bedrift), student og NTNU i Ålesund

Generelt om bacheloroppgaven:

*Bacheloroppgaven gjennomføres fortrinnsvis i samarbeid med næringslivet, men kan også utformes i tilknytning til forskningsprosjekt skolens forskningsmiljø er involvert i. Oppgaveperioden deles i en forprosjektfase med egen innlevering og en prosjektfase som avsluttes med en offentlig framføring og rapport. Bacheloroppgaven kan også gjennomføres i bedrift. Oppgaven gjøres i grupper fortrinnsvis med 3 studenter og følges opp av oppnevnte veiledere. Bacheloroppgaven er på 20 studiepoeng som tilsvarer 2/3 av et semester i arbeidsmengde for studenten.*

Denne avtale er inngått mellom:

Bedrift:

NORCONSULT

NTNU i Ålesund:

Institutt IHB, Fagseksjon Bygg.

Studenter:

**Veileder** Christian Normann / vnc  
Pet. Østrem  
Odin Strandfelen Ølsvang  
Håvard Bykle

Forpliktelser NTNU i Ålesund:

- Fagseksjonen skal stille med ansvarlig veileder.
- Fagseksjon Bygg ved veileder skal godkjerne oppgaven etter beskrivelse gitt i studiehandboken.
- Veileder har ansvar for oppfølging og kontroll av fremdrift i bacheloroppgaven.

2 av 2

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

- NTNU i Ålesund ved veileder har ansvar for at vurdering av bacheloroppgaven blir utført i henhold til vedtatte retningslinjer.

Forpliktelser til studentene (studentgruppen(e)):

- Beskrive bacheloroppgaven gjennom forprosjekt og fremdriftsplan
- Levere rapportskjema til veileder hver 14. dag
- Levere og presentere bacheloroppgaven etter oppsatt mal og fremdriftsplan.

Forpliktelser oppdragsgiver (bedrift):

- Støtte studenten i utvelgelse og utforming/beskrivelse av bacheloroppgaven.
- Navngitt person, fra oppdragsgiver/firma, som kontaktperson/veileder for studentgruppen.
- Dekke alle nødvendige utgifter (ikke lønn) som reise, evt. kontorhold, kopiering, spesielle programvare etc.
- Forsikre studentene som om de var tilsatt i firmaet. (Spesielt ulykkesforsikring når studentene er ute på anlegg).

Generelt:

Bacheloroppgaven er NTNUs eiendom, men oppdragsgiver (firma) har rett til å benytte seg av resultatene i oppgaven. Er resultatene i bacheloroppgaven konfidensielle og må beskyttes, gjøres dette ved egen avtale mellom NTNU i Ålesund og oppdragsgiver (bedrift)

Dato: 11/1-19

  
NTNU i Ålesund

  
Oppdragsgiver (bedrift)  
NØRCONSULT

  
  
  
Student(ene)

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOGG I

### Utført arbeid i uke 2-3

| Etternavn | Fornavn          | Initial | Studentnummer |
|-----------|------------------|---------|---------------|
| Moeng,    | Per Øyvind       | [PØM]   | 476153        |
| Sylte,    | Håvard Toreli    | [HTS]   | 997482        |
| Thorsrud, | Odin Strandkleiv | [OST]   | 263631        |

**Navn på bedrift/organisasjon:** Norconsult AS

**Navn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Christoffer Dahlstrøm Nilsen

#### Aktivitetsplan

| Uke       | Dato | Gjennomført arbeid/Tema/Aktivitet                         | PØM | HTS  | OST |
|-----------|------|---|-----|------|-----|
| 2         | 8/1  | Forprosjekt   | 2,5 | 2,5  | 2,5 |
| 2         | 9/1  | Forprosjekt   | 7   | 7    | 7   |
| 2         | 10/1 | Forprosjekt: Innhenting av informasjon angående massivtre | 2   | 2    | 2   |
| 2         | 11/1 | Forprosjekt: Møte med Kristian, samt tenke ut akser       | 7   | 7    | 7   |
| 3         | 14/1 | Rapportskriving   | 8   | 8    | 8   |
| 3         | 15/1 | Rapportskriving   |     | 0,5  |     |
| 3         | 16/1 | Rapportskriving   | 8   | 8    | 8   |
| 3         | 17/1 | Forprosjekt   | 2   | 2    | 2   |
| 3         | 18/1 | Forprosjekt   | 7,5 | 7,5  | 7,5 |
| Sum timer |      |   | 44  | 44,5 | 44  |

| Uke | Dato | Plan for neste periode  |
|-----|------|---|
| 4-5 |      | Modellere bygget i Revit.   |
| 4-5 |      | Fortsette med rapporten.  |
| 4-5 |      | Ferdigstille forprosjektet.   |
| 4-5 |      | Fremføre om prosjektet i faget <i>Ingeniørfaglig systemteknikk og systemutvikling</i> . |
| 4-5 |      | Les mer om massivtre.   |

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOGG II

### Utført arbeid i uke 4-5

| Etternavn | Fornavn          | Initial | Studentnummer |
|-----------|------------------|---------|---------------|
| Moeng,    | Per Øyvind       | [PØM]   | 476153        |
| Sylte,    | Håvard Toreli    | [HTS]   | 997482        |
| Thorsrud, | Odin Strandkleiv | [OST]   | 263631        |

**Navn på bedrift/organisasjon:** Norconsult AS

**Navn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Christoffer Dahlstrøm Nilsen

#### Aktivitetsplan

| Uke       | Dato | Gjennomført arbeid/Tema/Aktivitet   | PØM  | HTS | OST  |
|-----------|------|---|------|-----|------|
| 4         | 21/1 | Rapportskriving, forprosjekt og koble Revit til en skybasert løsning                      | 5,5  | 7,5 | 7,5  |
| 4         | 23/1 | Rapportskriving, forprosjekt, koblet opp workshoring på Revit og selvopplæring FEM-design | 7    | 8   | 8    |
| 4         | 25/1 | Ferdigstille forprosjektet  | 6,5  | 6,5 | 6,5  |
| 5         | 28/1 | Rapportskriving, modellering og selvopplæring FEM-design                                  | 6,5  | 8   | 7,5  |
| 5         | 30/1 | «   | 8    | 8   | 8    |
| 5         | 31/1 | Rapportskriving, modellering, Powerpoint-presentasjon                                     | 1    | 1   | 1    |
| 5         | 01/2 | Modellering, lese om massivtre, rapportskriving   | 6    | 6   | 6    |
| Sum timer |      |   | 40,5 | 45  | 44,5 |

| Uke | Dato | Plan for neste periode  |
|-----|------|---|
| 6   | 4/2  | BM-Dagen / Smart City konferanse                              |
| 6   | 6/2  | Besøke Jostein Wengstad i MR Fylke og befarung av Romsdal VGS |
| 6   | 8/2  | Fortsette å modellere og skrive rapport                       |

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOGG III

### Utført arbeid i uke 6-7

| Etternavn | Fornavn          | Initial | Studentnummer |
|-----------|------------------|---------|---------------|
| Moeng,    | Per Øyvind       | [PØM]   | 476153        |
| Sylte,    | Håvard Toreli    | [HTS]   | 997482        |
| Thorsrud, | Odin Strandkleiv | [OST]   | 263631        |

**Navn på bedrift/organisasjon:** Norconsult AS

**Navn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Christoffer Dahlstrøm Nilsen

#### Aktivitetsplan

| Uke       | Dato | Gjennomført arbeid/Tema/Aktivitet                                 | PØM  | HTS | OST  |
|-----------|------|---|------|-----|------|
| 6         | 5/2  | Scanning av tidligere bacheloroppg., rapportskrivning, FEM-Design | 3    | 4,5 | 5    |
| 6         | 6/2  | Befaring til Romsdal VGS  | Syk  | 8   | 8    |
| 6         | 8/2  | Hjemmekontor – modellering av bygning, befaringsrapport           | 4    | 3   | 4    |
| 7         | 11/2 | Vanlig arbeidsdag   | 7    | 7   | 7    |
| 7         | 13/2 | Vanlig arbeidsdag   | 7,5  | 4,5 | 7,5  |
| 7         | 22/2 | Hjemmekontor  | -    | 4   | -    |
| Sum timer |      |   | 21,5 | 31  | 31,5 |

| Uke | Dato | Plan for neste periode                    |
|-----|------|---|
| 8-9 |      | Møte med Christoffer angående bæresystem. |
| 8-9 |      | Fortsette med modellering og skriving.    |

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOGG IV

### Utført arbeid i uke 8-9

| Etternavn | Fornavn          | Initial | Studentnummer |
|-----------|------------------|---------|---------------|
| Moeng,    | Per Øyvind       | [PØM]   | 476153        |
| Sylte,    | Håvard Toreli    | [HTS]   | 997482        |
| Thorsrud, | Odin Strandkleiv | [OST]   | 263631        |

**Navn på bedrift/organisasjon:** Norconsult AS

**Navn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Christoffer Dahlstrøm Nilsen

#### Aktivitetsplan

| Uke       | Dato | Gjennomført arbeid/Tema/Aktivitet | PØM   | HTS  | OST   |
|-----------|------|-----------------------------------|-------|------|-------|
| 8         | 19/2 | Modellering og rapportskrivning.  | 7,5   | 7,5  | 7,5   |
| 8         | 20/2 | Modellering og rapportskrivning.  | 8     | 8    | 8     |
| 8         | 22/2 | Modellering og rapportskrivning.  | 7     | 7    | 7     |
| 9         | 25/2 | «                                 | 7,5   | 7,5  | 7,5   |
| 9         | 27/2 | «                                 | 7,75  | 7,5  | 7,75  |
| 9         | 28/2 | Befaring til Jendem skole.        | 8     | 8    | 8     |
| 9         | 1/3  | Diskutering om bæresystem.        | 7     | 7    | 7     |
| Sum timer |      |                                   | 52,75 | 52,5 | 52,75 |

| Uke   | Dato   | Plan for neste periode     |
|-------|--------|----------------------------|
| 10    | 4/3    | Fortsette som før.         |
| 10    | 5/3    | «                          |
| 10    | 6/3    | «                          |
| 10-11 | 7-14/3 | Eksamenslesing og eksamen. |
| 11    | 15/3   | Vi tar fri.                |

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOGG V

### Utført arbeid i uke 10-11

| Etternavn | Fornavn          | Initial | Studentnummer |
|-----------|------------------|---------|---------------|
| Moeng,    | Per Øyvind       | [PØM]   | 476153        |
| Sylte,    | Håvard Toreli    | [HTS]   | 997482        |
| Thorsrud, | Odin Strandkleiv | [OST]   | 263631        |

**Navn på bedrift/organisasjon:** Norconsult AS

**Navn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Christoffer Dahlstrøm Nilsen

#### Aktivitetsplan

| Uke       | Dato     | Gjennomført arbeid/Tema/Aktivitet              | PØM  | HTS | OST |
|-----------|----------|--|------|-----|-----|
| 10        | 4/3      | Befaringsrapport og vi begynner med beregning. | 5    | 6,5 | 7,5 |
| 10        | 5/3      | Dimensjonering                                 | 6,5  | 6,5 | 6,5 |
| 10        | 6/3      | Vi tar en dag tidligere fri.                   | Fri  | Fri | Fri |
| 10-11     | 7/3-14/3 | Eksamensperiode                                | Fri  | Fri | Fri |
| 11        | 15/3     | Hviledag                                       | Fri  | Fri | Fri |
| Sum timer |          |  | 11,5 | 13  | 14  |

| Uke   | Dato | Plan for neste periode  |
|-------|------|-------------------------|
| 12-13 |      | Dimensjonere bygningen. |



# IB303312 Bacheloroppgave

## LOGG VI

### Utført arbeid i uke 12-13

| Etternavn | Fornavn          | Initial | Studentnummer |
|-----------|------------------|---------|---------------|
| Moeng,    | Per Øyvind       | [PØM]   | 476153        |
| Sylte,    | Håvard Toreli    | [HTS]   | 997482        |
| Thorsrud, | Odin Strandkleiv | [OST]   | 263631        |

**Navn på bedrift/organisasjon:** Norconsult AS

**Navn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Christoffer Dahlstrøm Nilsen

#### Aktivitetsplan

| Uke       | Dato | Gjennomført arbeid/Tema/Aktivitet     | PØM  | HTS | OST |
|-----------|------|---------------------------------------|------|-----|-----|
| 12        | 18/3 | Vi kikker på beregning.               | 6,5  | 7,5 | 7,5 |
| 12        | 19/3 | Modellering og beregning.             | 5,5  | 5,5 | 5,5 |
| 12        | 20/3 | Hviledag.                             |      |     |     |
| 12        | 21/3 | Revit og FEM-Design                   |      | 7,5 | 7,5 |
| 12        | 22/3 | FEM-Design                            |      | 3,5 | 7   |
| 13        | 25/3 | FEM-Design, Revit, håndberegning      | 7,5  | 7,5 | 7,5 |
| 13        | 26/3 | FEM-Design, Revit, håndberegning      | 7,5  | 7,5 | 7,5 |
| 13        | 27/3 | «                                     | 7    | 3   | 9   |
| 13        | 28/3 | FEM-Design, beregning og veiledermøte | 7,5  | 2   | 7,5 |
| 13        | 29/3 | Betongdag på NTNU Ålesund             |      |     |     |
| Sum timer |      |                                       | 41,5 | 44  | 59  |

| Uke | Dato | Plan for neste periode                           |
|-----|------|--|
| 14  |      | Fortsette beregningen. (Helst gjøre den ferdig). |

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOGG VII

### Utført arbeid i uke 14-15

| Etternavn | Fornavn          | Initial | Studentnummer |
|-----------|------------------|---------|---------------|
| Moeng,    | Per Øyvind       | [PØM]   | 476153        |
| Sylte,    | Håvard Toreli    | [HTS]   | 997482        |
| Thorsrud, | Odin Strandkleiv | [OST]   | 263631        |

**Navn på bedrift/organisasjon:** Norconsult AS

**Navn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Christoffer Dahlstrøm Nilsen

#### Aktivitetsplan

| Uke       | Dato | Gjennomført arbeid/Tema/Aktivitet             | PØM   | HTS  | OST  |
|-----------|------|---|-------|------|------|
| 14        | 1/4  | Vindlast, fundamentplan, bedriftspresentasjon | 8     | 8    | 8    |
| 14        | 2/4  | Ulike beregninger                             | 6     | 8    | 8    |
| 14        | 3/4  | «   | 2,5   | 8    | 8    |
| 14        | 4/4  | Ulike beregninger og veiledningsmøte          | 8     | 8    | 8    |
| 14        | 5/4  | Ulike beregninger                             | 6,5   | 8    | 6,5  |
| 15        | 8/4  | Beregninger og Focus.                         | 9     | 7,5  | 9    |
| 15        | 9/4  | Jordskjelv, Focus, dimensjonering             | 8,25  | 9    | 9    |
| 15        | 10/4 |   |       | 5    |      |
| 15        | 11/4 | Regner på fagverk.                            |       |      | 5    |
| 15        | 12/4 | Regner på fagverk.                            |       |      | 4    |
| Sum timer |      |   | 48,25 | 61,5 | 65,5 |

| Uke | Dato | Plan for neste periode |
|-----|------|------------------------|
| 16  |      | Påskeferie.            |

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOGG VIII

### Utført arbeid i uke 16-17

| Etternavn | Fornavn          | Initial | Studentnummer |
|-----------|------------------|---------|---------------|
| Moeng,    | Per Øyvind       | [PØM]   | 476153        |
| Sylte,    | Håvard Toreli    | [HTS]   | 997482        |
| Thorsrud, | Odin Strandkleiv | [OST]   | 263631        |

**Navn på bedrift/organisasjon:** Norconsult AS

**Navn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Christoffer Dahlstrøm Nilsen

#### Aktivitetsplan

| Uke       | Dato | Gjennomført arbeid/Tema/Aktivitet           | PØM   | HTS   | OST   |
|-----------|------|---|-------|-------|-------|
| 17        | 23/4 | Redigerer dokument                          |       |       | 3     |
| 17        | 24/4 | Redigerer dokument, dimensjonering, tegning | 8,25  | 8,25  | 8,25  |
| 17        | 25/4 | « + veiledningsmøte                         | 8     | 10    | 10    |
| 17        | 26/4 | Dimensjonering og tegning                   | 7     | 7     | 7     |
| 17        | 28/4 | Regner ut fundament                         |       |       | 4     |
| Sum timer |      |   | 23,75 | 25,75 | 32,25 |

| Uke | Dato | Plan for neste periode |
|-----|------|------------------------|
|     |      | Gjøre klar tegninger.  |
|     |      | Ferdiggjøre rapporten. |
|     |      | Regne ferdig.          |

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOGG IX

### Utført arbeid i uke 18-19

| Etternavn | Fornavn          | Initial | Studentnummer |
|-----------|------------------|---------|---------------|
| Moeng,    | Per Øyvind       | [PØM]   | 476153        |
| Sylte,    | Håvard Toreli    | [HTS]   | 997482        |
| Thorsrud, | Odin Strandkleiv | [OST]   | 263631        |

**Navn på bedrift/organisasjon:** Norconsult AS

**Navn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Christoffer Dahlstrøm Nilsen

#### Aktivitetsplan

| Uke       | Dato | Gjennomført arbeid/Tema/Aktivitet                  | PØM    | HTS   | OST   |
|-----------|------|--|--------|-------|-------|
| 18        | 29/4 | Regning og tegning.                                | 9,25   | 5,5   | 9,25  |
| 18        | 30/4 | Regning og tegning.                                | 9,25   | 10    | 9,25  |
| 18        | 1/5  | Regning, tegning og legger inn Befaringsvedlegga.  | 10,45  | 12    | 8,45  |
| 18        | 2/5  | Regning, tegning, skriver forord og sammendrag.    | 9      | 9     | 11    |
| 18        | 3/5  | Ordner vedlegg og detaljtegner                     | 7,5    | 12    | 9,5   |
| 18        | 4/5  | Ordner notasjon og begreper og BIM-modell          | -      | 8     | 3,5   |
| 18        | 5/5  | Forklaring til lastberegningene, notasjon, kostnad | 2      | 6     | 4     |
| 19        | 6/5  | Tegning, Synchro og rapportskrivning, kostnad      | 10     | 10    | 11    |
| 19        | 7/5  | Bestemmer snitt i massivtrebygninga, kostnad       | 10,5   | 10,5  | 10,5  |
| 19        | 8/5  | Snutt i Synchro Pro, kostnad, tegning              | 10,5   | 12    | 9,5   |
| 19        | 9/5  | Detaljtegninger                                    | 11     | 9,5   | 9     |
| 19        | 10/5 | Detaljtegninger og kontroll av Calculatis.         | 8      | 8     | 8     |
| 19        | 11/5 | Ordner kontroll av Calculatis-vedlegg.             | 1,5    | 5     | 4,25  |
| 19        | 12/5 | Sammendrag, redigering og detaljtegninger          | 4      | 4     | 5     |
| Sum timer |      |  | 102,95 | 121,5 | 112,2 |

| Uke | Dato | Plan for neste periode |
|-----|------|------------------------|
| 20  | 20/5 | Leverer prosjektet.    |
| 20  | 21/5 | Fremføre prosjektet.   |

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOGG X

### Utført arbeid i uke 20-21

| Etternavn | Fornavn          | Initial | Studentnummer |
|-----------|------------------|---------|---------------|
| Moeng,    | Per Øyvind       | [PØM]   | 476153        |
| Sylte,    | Håvard Toreli    | [HTS]   | 997482        |
| Thorsrud, | Odin Strandkleiv | [OST]   | 263631        |

**Navn på bedrift/organisasjon:** Norconsult AS

**Navn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Christoffer Dahlstrøm Nilsen

#### Aktivitetsplan

| Uke       | Dato | Gjennomført arbeid/Tema/Aktivitet               | PØM   | HTS   | OST   |
|-----------|------|---|-------|-------|-------|
| 20        | 13/5 | Henvisninger til skissene                       | 10    | 10    | 10    |
| 20        | 14/5 | Ferdigstillelse av tegninger, rapport og plakat | 12    | 9     | 11    |
| 20        | 15/5 | -----«-----                                     | 8     | 8     | 9,5   |
| 20        | 16/5 | Korrekturleser rapporten                        | 7     | 7     | 7     |
| 20        | 17/5 | Skriver manus til fremføring                    |       |       | 2,5   |
| 20        | 19/5 | Korrekturleser + print + øving                  | 5     | 5     | 5     |
| 21        | 20/5 | Leverer papirversjon + fremfører for Norconsult | 5     | 5     | 5     |
| 21        | 21/5 | Fremfører presentasjonen                        | 0,33  | 0,33  | 0,33  |
| Sum timer |      |   | 47,33 | 44,33 | 50,33 |

Totalt antall timer:

|      | Uke   | Kjennetegn/hovedaktivitet | PØM     | HTS    | OST    | Sum 14. døgn |
|------|-------|---------------------------|---------|--------|--------|--------------|
| I    | 2-3   | Forprosjekt               | 44      | 44,5   | 44     | 132,5        |
| II   | 4-5   | Worksharing i Revit       | 40,5    | 45     | 44,5   | 130          |
| III  | 6-7   | Befaring til Romsdal VGS  | 21,5    | 31     | 31,5   | 84           |
| IV   | 8-9   | Befaring til Jendem skole | 52,75   | 52,5   | 52,75  | 158          |
| V    | 10-11 | Eksamensperiode           | 11,5    | 13     | 14     | 38,5         |
| VI   | 12-13 | Beregning                 | 41,5    | 44     | 59     | 144,5        |
| VII  | 14-15 | Beregning                 | 48,25   | 61,5   | 65,5   | 175,25       |
| VIII | 16-17 | Påskeferie                | 23,75   | 25,75  | 32,25  | 81,75        |
| IX   | 18-19 | Siste innspurt            | 102,95  | 121,5  | 112,2  | 336,65       |
| X    | 20-21 | Avslutning                | 47,33   | 44,33  | 50,33  | 141,99       |
|      |       | Sum timer                 | 434,03  | 483,08 | 506,03 |              |
|      |       | Sum totalt                | 1423,14 |        |        |              |

|                            |                |                                    |                        |          |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|----------|
| <b>IB303312</b>            | Prosjekt       | Antall møter denne periode 1).     | Firma – Oppdragsgiver  | Side     |
| <b>Bacheloroppgave</b>     | Studenttorget  | Ett.                               | Norconsult AS          | i av 275 |
| <b>Rapport fra prosess</b> | Periode/uke(r) | Antall timer denne per. (fra logg) | Prosjektgruppe (navn)  | Dato     |
| <b>Framdriftsrapport</b>   | Uke 2-3        | 44,5                               | Moeng, Sylte, Thorsrud | 18.01.19 |

|   |
|---|
| <p>Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden</p> <p>Hensikten har vært å komme i gang med prosjektet. Vi har fokusert på å hente inn informasjon og sette oss inn i stoffet. Strukturen på bæresystemet til bygget er også noe vi har sett på.</p> |
| <p>Planlagte aktiviteter i denne perioden</p> <p>Ingen spesifikke.</p>  |
| <p>Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden</p> <p>Innsamling av informasjon, samt skriving av rapport og forprosjekt.</p>  |
| <p>Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter</p> <p>Ingen.</p>  |
| <p>Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen</p> <p>Ingen.</p>   |
| <p>Erfaring fra denne perioden</p> <p>Dette er en annen måte å jobbe på enn det vi gjør på skolen. Vi må forholde oss til bedriften og være selvstendige.</p>   |
| <p>Hovedhensikt/fokus neste periode</p> <p>Ferdigstillelse av forprosjektet.<br/>Fortsette med rapportskriving.<br/>Begynne å modellere.<br/>Lese mer om massivtre.</p>   |
| <p>Planlagte aktiviteter neste periode</p> <p>Rapportskriving.<br/>Modellering.<br/>Lesing.</p>   |
| <p>Annet</p> <p>Intet.</p>  |
| <p>Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers</p> <p>Ønsker veiledning av det statiske systemet for bygget.</p>  |

|                            |                |                                    |                        |           |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|-----------|
| <b>IB303312</b>            | Prosjekt       | Antall møter denne periode 1).     | Firma – Oppdragsgiver  | Side      |
| <b>Bacheloroppgave</b>     | Studenttorget  | Ett.                               | Norconsult AS          | ii av 275 |
| <b>Rapport fra prosess</b> | Periode/uke(r) | Antall timer denne per. (fra logg) | Prosjektgruppe (navn)  | Dato      |
| <b>Framdriftsrapport</b>   | Uke 4-5        | 130 timer totalt                   | Moeng, Sylte, Thorsrud | 01.02.19  |

|   |
|---|
| <p>Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden</p> <p>Jobbet videre med både oppgaven og ferdigstillelse av forprosjektrapporten og presentasjon til forprosjektet. Gjort mer undersøkelser om massivtre og dens egenskaper. Vi har også begynt å modellere bygget i Revit. Vi har i tillegg begynt å lære oss FEM-Design.</p> |
| <p>Planlagte aktiviteter i denne perioden</p> <p>Se over</p>  |
| <p>Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden</p> <p>Se over</p>  |
| <p>Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter</p> <p>Per Øyvind fikk mindre arbeidstimer siden han hadde møte med linjeforeningen (Aqua Tecta) og måtte holde en presentasjon om linjeforeningen for første klasse.</p>  |
| <p>Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen</p> <p>Ingen.</p>   |
| <p>Erfaring fra denne perioden</p> <p>Det tar lang tid å modellere i Revit. Vi har satt av seks uker i planen for modelleringen. Å lære seg FEM-Design er også krevende, håper det blir lettere når vi begynner på selve dimensjoneringen.</p>  |
| <p>Hovedhensikt/fokus neste periode</p> <p>Fortsette med rapportskrivning.<br/>Fortsette å modellere.<br/>Lese mer om massivtre.</p>  |
| <p>Planlagte aktiviteter neste periode</p> <p>Rapportskrivning.<br/>Modellering.<br/>Lesing.<br/>Besøke Romsdalen videregående skole, som er bygd i massivtre. Høre om erfaringer rundt prosjektet, prosjekteringen, byggefasesen og drift.</p>   |
| <p>Annet</p> <p>Intet.</p>  |
| <p>Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers</p> <p>Ønsker veiledning om det statiske systemet for bygget.</p>  |



|                            |                |                                    |                        |            |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|------------|
| <b>IB303312</b>            | Prosjekt       | Antall møter denne periode 1).     | Firma – Oppdragsgiver  | Side       |
| <b>Bacheloroppgave</b>     | Studenttorget  | 4                                  | Norconsult AS          | iii av 275 |
| <b>Rapport fra prosess</b> | Periode/uke(r) | Antall timer denne per. (fra logg) | Prosjektgruppe (navn)  | Dato       |
| <b>Framdriftsrapport</b>   | Uke 6-7        | Totalt 84 timer                    | Moeng, Sylte, Thorsrud | 19.02.19   |

|  |
|--|
| Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden<br>Lære om massivtre ved å dra til Molde på befaring.   |
| Planlagte aktiviteter i denne perioden<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- Befaring til Molde.</li> <li>- Rapportskriving og modellering.</li> <li>- Møte med Christoffer angående bæresystem.</li> </ul>  |
| Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- Befaring til Molde.</li> <li>- Rapportskriving og modellering.</li> </ul>   |
| Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter<br><p>4/2: Byggseminaret «Smart City» ble arrangert og vi måtte flytte planlagt arbeidsdag.<br/>         6/2: Per Øyvind ble syk og kunne ikke bli med til Molde.<br/>         8/2: Per Øyvind fortsatt syk og vi valgte å gjennomføre hjemmekontor.<br/>         22/2: Per Øyvind dro til Oslo og Odin skulle på tannlegen. Vi gjennomførte hjemmekontor igjen.</p> |
| Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen<br><p>Ingen.</p>  |
| Erfaring fra denne perioden<br><p>Erfaring fra befaring.</p>   |
| Hovedhensikt/fokus neste periode<br><p>Fortsette som vanlig med modellering og rapportskriving. Muligens å sette oss inn i beregning.</p>  |
| Planlagte aktiviteter neste periode<br><p>Ingen spesifikke.</p>  |
| Annet<br><p>Forstår «Antall møter denne perioden 1)» som hvor mange møter gruppen har hatt.</p>  |
| Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers<br><p>Ingen.</p>   |

|                            |                |                                    |                        |           |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|-----------|
| <b>IB303312</b>            | Prosjekt       | Antall møter denne periode 1).     | Firma – Oppdragsgiver  | Side      |
| <b>Bacheloroppgave</b>     | Studenttorget  | 7                                  | Norconsult AS          | iv av 275 |
| <b>Rapport fra prosess</b> | Periode/uke(r) | Antall timer denne per. (fra logg) | Prosjektgruppe (navn)  | Dato      |
| <b>Framdriftsrapport</b>   | Uke 8-9        | Totalt 158                         | Moeng, Sylte, Thorsrud | 01.03.19  |

|   |
|---|
| <p>Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden</p> <p>Hovedsakelig fokuserte vi på å fortsette skriveingen og gjøre modellen ferdig i Revit. Vi fikk en mulighet til å besøke Jendem skole og dro dit. Vi fikk til slutt i perioden tenkt ferdig bæresystemet.</p> |
| <p>Planlagte aktiviteter i denne perioden</p> <p>Ingen utover modellering og rapportskrivning.</p>  |
| <p>Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden</p> <p>Modellering og rapportskrivning.<br/>Befaring til Jendem skole.</p>  |
| <p>Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter</p> <p>Muligheten for å besøke Jendem skole dukket opp og vi slo til.</p>  |
| <p>Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen</p> <p>Ingen.</p>   |
| <p>Erfaring fra denne perioden</p> <p>Vi har fått innblikk i bygging med massivtre.</p>   |
| <p>Hovedhensikt/fokus neste periode</p> <p>Muligens begynne å se på beregning.</p>  |
| <p>Planlagte aktiviteter neste periode</p> <p>Modellering og rapportskrivning.</p>  |
| <p>Annet</p> <p>Vi setter av 7.-14. mars for eksamenslesing og eksamen. 15. mars tar vi fri.<br/>Vi er ferdig med undervisningen til Max og vil jobbe med bacheloroppgava hver ukedag fremover.</p>   |
| <p>Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers</p> <p>Ingen.</p>  |

|                            |                |                                    |                        |          |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|----------|
| <b>IB303312</b>            | Prosjekt       | Antall møter denne periode 1).     | Firma – Oppdragsgiver  | Side     |
| <b>Bacheloroppgave</b>     | Studenttorget  | 2                                  | Norconsult AS          | v av 275 |
| <b>Rapport fra prosess</b> | Periode/uke(r) | Antall timer denne per. (fra logg) | Prosjektgruppe (navn)  | Dato     |
| <b>Framdriftsrapport</b>   | Uke 10-11      | 38,5                               | Moeng, Sylte, Thorsrud | 05.03.19 |

|  |
|--|
| Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden<br><b>Tenke ut bæresystemet.</b>  |
| Planlagte aktiviteter i denne perioden<br><b>Skrive befaringsrapport og beregne bæresystem.</b>  |
| Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- Skrive befaringsrapport,</li> <li>- Beregne bæresystem,</li> <li>- Modellere bæresystemet inn i Revit.</li> </ul>                 |
| Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter<br><b>Vi føler eksamenspresset og ønsker å ta en dag tidligere fri. Eksamensperioden blir fra onsdag 6. mars til torsdag 14. mars.</b> |
| Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen<br><b>Ingen.</b>  |
| Erfaring fra denne perioden<br><b>Vi har sett litt på Stora Enso sitt beregningsprogram Calculatis.</b>  |
| Hovedhensikt/fokus neste periode<br><b>Dimensjonere bygget.</b>  |
| Planlagte aktiviteter neste periode<br><b>Ingen spesifikke.</b>  |
| Annet<br><b>Intet.</b>   |
| Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers<br><b>Hjelp til beregning.</b>   |

|                            |                |                                    |                        |           |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|-----------|
| <b>IB303312</b>            | Prosjekt       | Antall møter denne periode 1).     | Firma – Oppdragsgiver  | Side      |
| <b>Bacheloroppgave</b>     | Studenttorget  | 8+1 veiledning                     | Norconsult AS          | vi av 275 |
| <b>Rapport fra prosess</b> | Periode/uke(r) | Antall timer denne per. (fra logg) | Prosjektgruppe (navn)  | Dato      |
| <b>Framdriftsrapport</b>   | Uke 12-13      | Totalt 144,5                       | Moeng, Sylte, Thorsrud | 01.04.19  |

|   |
|---|
| <p>Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden</p> <p><b>Beregning av bygget.</b></p>  |
| <p>Planlagte aktiviteter i denne perioden</p> <p><b>Veiledermøte med Kristian.</b></p>  |
| <p>Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden</p> <p><b>Modellering i FEM-Design.<br/>Beregning i Calcutatis.</b></p>   |
| <p>Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter</p> <p><b>Både Per Øyvind og Håvard har tatt tester på henholdsvis sjukehuset og legekantoret.<br/>Arbeidsmengden har dermed blitt mindre.</b></p>               |
| <p>Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen</p> <p><b>Etter veiledningsmøte med Kristian trenger vi ikke å dimensjonere etter brann og lydkrav.</b></p> |
| <p>Erfaring fra denne perioden</p> <p><b>FEM-Design er vanskelig.</b></p>   |
| <p>Hovedhensikt/fokus neste periode</p> <p><b>Fortsette beregningen.</b></p>  |
| <p>Planlagte aktiviteter neste periode</p> <p><b>Prøve å fullføre beregningen.</b></p>  |
| <p>Annet</p> <p><b>Antall møter:<br/>[Møter innad i gruppen] + [veiledningsmøte]</b></p>  |
| <p>Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers</p> <p><b>Ingen utenom planlagte.</b></p>  |

|                            |                |                                    |                        |            |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|------------|
| <b>IB303312</b>            | Prosjekt       | Antall møter denne periode 1).     | Firma – Oppdragsgiver  | Side       |
| <b>Bacheloroppgave</b>     | Studenttorget  | 7+1                                | Norconsult AS          | vii av 275 |
| <b>Rapport fra prosess</b> | Periode/uke(r) | Antall timer denne per. (fra logg) | Prosjektgruppe (navn)  | Dato       |
| <b>Framdriftsrapport</b>   | Uke 14-15      | 175,25                             | Moeng, Sylte, Thorsrud | 12.04.19   |

|  |
|--|
| Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden<br><b>Vi har fokusert på beregningen og programvaren Focus.</b>   |
| Planlagte aktiviteter i denne perioden<br><b>Veiledningsmøte med Kristian.</b>   |
| Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden<br><b>Veiledningsmøte.<br/>Ulike beregninger.<br/>Egenopplæring i Focus.</b>  |
| Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter<br><b>Påskeferien startet 10. april med Håvard til Dubai og Per Øyvind til Karasjok dagen etter. Derfor ble det mindre jobbing enn ellers.</b> |
| Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen<br><b>Ingen.</b>  |
| Erfaring fra denne perioden<br><b>Ingen.</b>   |
| Hovedhensikt/fokus neste periode<br><b>Påskeferie.</b>   |
| Planlagte aktiviteter neste periode<br><b>Slappe av.</b>   |
| Annet<br><b>Intet.</b>   |
| Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers<br><b>Ingen utenom planlagte.</b>  |

|                            |                |                                    |                        |             |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|-------------|
| <b>IB303312</b>            | Prosjekt       | Antall møter denne periode 1).     | Firma – Oppdragsgiver  | Side        |
| <b>Bacheloroppgave</b>     | Studenttorget  | 3 + 1                              | Norconsult AS          | viii av 275 |
| <b>Rapport fra prosess</b> | Periode/uke(r) | Antall timer denne per. (fra logg) | Prosjektgruppe (navn)  | Dato        |
| <b>Framdriftsrapport</b>   | Uke 16-17      | 81,75                              | Moeng, Sylte, Thorsrud | 29.04.19    |

|   |
|---|
| Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden<br><b>Vi har fokusert på beregninga.</b>   |
| Planlagte aktiviteter i denne perioden<br><b>Utenom det vanlige: Veiledningsmøte.</b>   |
| Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden<br><b>Dimensjonering og tegning.</b>   |
| Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter<br><b>Påskeferie.</b>   |
| Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen<br><b>Ingen.</b> |
| Erfaring fra denne perioden<br><b>Ingen særlige.</b>  |
| Hovedhensikt/fokus neste periode<br><b>Vi skal fortsette dimensjoneringen.</b>  |
| Planlagte aktiviteter neste periode<br><b>Beregning.</b>  |
| Annet<br><b>Intet.</b>  |
| Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers<br><b>Ingen utenom planlagte.</b>   |

|                            |                |                                    |                        |           |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|-----------|
| <b>IB303312</b>            | Prosjekt       | Antall møter denne periode 1).     | Firma – Oppdragsgiver  | Side      |
| <b>Bacheloroppgave</b>     | Studenttorget  | 9                                  | Norconsult AS          | ix av 275 |
| <b>Rapport fra prosess</b> | Periode/uke(r) | Antall timer denne per. (fra logg) | Prosjektgruppe (navn)  | Dato      |
| <b>Framdriftsrapport</b>   | Uke 18-19      | 336,65                             | Moeng, Sylte, Thorsrud | 13.05.19  |

|  |
|--|
| Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden<br><b>Dette er siste innsjutt før vi må avslutte prosjektet. Vi fokuserer på å gjøre ferdig beregningene, få inn vedleggene i rapporten og skrive ferdig.</b> |
| Planlagte aktiviteter i denne perioden<br><b>Ingen spesielle.</b>  |
| Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden<br><b>Vanlig arbeid.</b>  |
| Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter<br><b>Det snødde natt til 3. mai. Sommerdekkene var allerede på, så vi holdt hjemmekontor.</b>                         |
| Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen<br><b>Ingen.</b>  |
| Erfaring fra denne perioden<br><b>Vi jobber overtid for å bli ferdig.</b>  |
| Hovedhensikt/fokus neste periode<br><b>Avslutte prosjektet.</b>  |
| Planlagte aktiviteter neste periode<br><b>Lage plakat. Lage powerpointpresentasjon. Øve på fremføring. Levere prosjektet.</b>  |
| Annet<br><b>Intet.</b>   |
| Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers<br><b>Ingen.</b>   |

|                            |                |                                    |                        |          |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------|----------|
| <b>IB303312</b>            | Prosjekt       | Antall møter denne periode 1).     | Firma – Oppdragsgiver  | Side     |
| <b>Bacheloroppgave</b>     | Studenttorget  | 7                                  | Norconsult AS          | x av 275 |
| <b>Rapport fra prosess</b> | Periode/uke(r) | Antall timer denne per. (fra logg) | Prosjektgruppe (navn)  | Dato     |
| <b>Framdriftsrapport</b>   | Uke 20-21      | 141,99                             | Moeng, Sylte, Thorsrud | 19.05.19 |

|  |
|--|
| Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden<br><b>Vi avslutter oppgaven.</b>  |
| Planlagte aktiviteter i denne perioden<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- Lage plakat</li> <li>- Gjøre ferdig tegninger</li> <li>- Korrekturlesing</li> <li>- Presentasjon</li> </ul> |
| Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden<br><b>Se ovenfor.</b>   |
| Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter<br><b>Ingen.</b>   |
| Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen<br><b>Ingen.</b>                                |
| Erfaring fra denne perioden<br><b>Å jobbe jevnt og trutt gjennom semesteret fører til en rolig avslutningsprosess.</b>   |
| Hovedhensikt/fokus neste periode<br><b>Sommerferie.</b>  |
| Planlagte aktiviteter neste periode<br><b>Ferie.</b>   |
| Annet<br><b>Takk for følget.</b>   |
| Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers<br><b>Ingen.</b>   |



|                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| <h1>Møtereferat</h1> | Moeng, Sylte, Thorsrud |
|                      | 28.03.2019             |

**Type referat:** Veiledermøte  
**Prosjekt:** Studenttorget NTNU Ålesund  
**Tidspunkt:** 09:30 – 10:25  
**Sted:** G328c, Fagskolen

| Tilstede                  | Forkortelse | Firma   |
|---------------------------|-------------|---------|
| Per Øyvind Moeng          | PØM         | Student |
| Odin Strandkleiv Thorsrud | OST         | Student |
| Kristian Normann          | KN          | NTNU    |

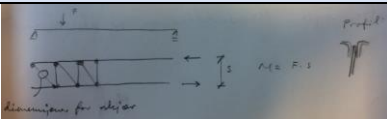
| Sammendrag   |   |  |
|--|---|--|
| Vårt første veiledermøte. Vi er interessert i å vite hvordan vi ligger an og har forberedt fem spørsmål. |   |  |
| Spørsmål   | Svar  |  |
| 1  | Brannklasse og branndimensjonering (hvilke dimensjoneringskrav gjelder for et slikt bygg i massivtre).                  |  |
| 2  | Dimensjonering av lydkrav.  |  |
| 3  | Skal bjelke i 2. et. over trapp dimensjoneres som om den går over to felt (tre søyler) eller fra søyle til søyle?       |  |
| 4  | Tegninger; se pkt. 3.   |  |
| 5  | Hvordan dimensjonere heissjakt?   |  |
| <b>Generelle punkter</b>   |   |  |
| 1  | Fundamenteringen er viktig.<br>→ Lag en fundamentplan.  |  |
| 2  | Spør om geoteknisk undersøkelse.<br>→ Hør med SiT.  |  |
| 3  | Trenger ikke dimensjonere heissjakt.<br>→ Muligens se på aksialkraften som overføres fra momentet i dekket.             |  |
| 4  | Trenger ikke fokusere på sjakt og bad.  |  |
| 5  | Detaljtegninger er viktig.<br>→ Hvordan ser det ut mellom elementene (dekket)?<br>→ Innfesting dekke/bjelke?            |  |
| 6  | KN er mest interessert i om lastene er riktig utregnet.   |  |
| 7  | KN vektlegger: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Treets egenskaper (sprøtt materiale)</li> <li>- Pris</li> </ul> |  |

**Neste møte: 04.04.2019**

|                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| <h1>Møtereferat</h1> | Moeng, Sylte, Thorsrud |
|                      | 04.04.2019             |

**Type referat:** Veiledermøte  
**Prosjekt:** Studenttorget NTNU Ålesund  
**Tidspunkt:** 12:00 – 13:15  
**Sted:** G328c, Fagskolen

| Tilstede                  | Forkortelse | Firma   |
|---------------------------|-------------|---------|
| Per Øyvind Moeng          | PØM         | Student |
| Håvard Toreli Sylte       | HTS         | Student |
| Odin Strandkleiv Thorsrud | OST         | Student |
| Kristian Normann          | KN          | NTNU    |

| Sammendrag   |  |
|--|--|
| Vi har med PC-ene våre og viser Kristian hva vi har gjort. |  |
| Spørsmål   | Svar   |
| 1  | Hvordan beregne punktlast på fagverksbjelke?<br> |
| 2  | Påstøp på dekke? Hvordan kan dekke fungere som en skive?   |
| 3  | Fagverksbjelke: Hvordan beregne med både pkt.last og stripelast?   |
| 4  | Hvor mye skal man ta hensyn til? Lettvegg, parkett, osv.   |
| 5  | Avstivning for vindkraft.  |
| Generelle punkter  |  |
| 1  | Må alltid ha m/fundamentering og avstivning. Resten kan man egentlig velge selv.   |
| 2  | Særlig for betongbygget: Vis at vi har tenkt på avstivning om vi ikke får tid til å regne. Holder å vise prinsippet.               |
| 3  | Må skrive i bacheloroppgava at vi ikke ser på arbeidstida (mht. kostnad).  |
| 4  | Kan beregne fagverksbjelken i Eurocode Express.<br>→ Over- og undergurt gjøres kontinuerlig.<br>→ Ledd mellom elementene imellom.  |
| 5  | Kristian er mere interessert i råbygget (søyler, dekke, bjelke).   |
| 6  | Må ikke komme med søyledimensjonering uten å regne med moment!!  |
| 7  | Tegninger: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantegning</li> <li>- Fundamentplan</li> <li>- Etasjeplan</li> </ul>          |
| 8  | Ved plantegning: Stå oppå og <b>se ned</b> .   |
| 9  | Interessert i ved programmer:<br>Inndata, momentdiagram og for søyler aksialkraft i tillegg.                                       |

**Neste møte: 25.04.2019**

|                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| <h1>Møtereferat</h1> | Moeng, Sylte, Thorsrud |
|                      | 25.04.2019             |

**Type referat:** Veiledermøte  
**Prosjekt:** Studenttorget NTNU Ålesund  
**Tidspunkt:** 09:30 – 10:23  
**Sted:** A433, NTNU Ålesund

| Tilstede                  | Forkortelse | Firma   |
|---------------------------|-------------|---------|
| Per Øyvind Moeng          | PØM         | Student |
| Håvard Toreli Sylte       | HTS         | Student |
| Odin Strandkleiv Thorsrud | OST         | Student |
| Kristian Normann          | KN          | NTNU    |

| Sammendrag  |   |
|---|---|
| Vi ønsker å vite om tankegangen vår for beregningene er korrekte. |   |
| Generelle punkter   |   |
| 1   | Kristian mener at bjelkene og betongplata til lab-bygget ikke kan henge i lufta. Han mener vi bør tegne inn et feste i 3D-modellen (altså sørveggen til lab-bygget). Få i tillegg med fyllinga.   |
| 2   | Fundamentlinjene som er på utsida av bygningen i fundamentplanen skal være heltrukken. Om golv-på-grunn ligger over skal fundamentlinjene være stipla. Dvs. at så lenge et bygningselement ligger over fundamentlinjene, skal de være hele. |
| 3   | Ved endring på forprosjektet: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gjøre det penere: Trenger ingen revisjon.</li> <li>- Endre problemstillinga: Noter en revisjon (gjørne på framsida av forprosjektet).</li> </ul>                     |
| 4   | For påstøpet vi skal ha på dekkene: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vi slipper å noe med dem utenom å tegne dem.</li> </ul>  |
| 5   | Beregning av skrueforbindelser er fint å ha. Vi må derimot se an hvor mye tid vi har.   |
| 6   | <b>Kristian anbefaler oss å ikke forklare så mye i tekst. Det mye bedre med tegninger!</b>  |
| 7   | Er Focus/FEM-Design viktig for Kristian? Svar: Nei.   |
| 8   | Til Per Øyvind: Husk å skravere på tegningene til Excel.<br><br>Altså vis på tegningene hvor de fortsetter.   |
| 9   | Kristian er interessert i håndkontroll, f.eks. av bjelke. Sjekk f.eks. nedbøyningen. Dette for å kontrollere Calculatis. Evt. kan en plate kontrolleres (finn annet arealmoment, ...)   |
| 10  | Kristian er interessert i hvordan man regner nedbøyning for massivtre. Og hvorfor regner Calculatis nedbøyning for L/300, L/250 og L/150. (L/150?!).<br><br>Velg L/250 ifølge Kristian.   |
| 11  | Til oss: Sjekk grensa for nedbøyning for massivtre i Trefokus sine hefter.  |
| 12  | Tidspunkt for framføring: Oppsatt tid (21. og 22. sier Terje).  |

**Neste møte: 10.05.2019\***

**\*Vi avtalte med Kristian å holde et møte om vi trengte det. Hvis ikke kan vi avlyse.**

## Befaring til Romsdal videregående skole

Onsdag 6. februar 2019 forlot vi Ålesund og dro nordover mot Molde. Der skulle vi møte Jostein Wengstad og få en befaring på Romsdal videregående skole. Jostein jobber som prosjektleder for større skolebygg for fylkeskommunen og er svært positiv når vi spør om vi kan besøke det største massivtreprosjektet i Møre og Romsdal. Skolen ble overlevert fylkeskommunen i 2017 og totalentreprenøren for prosjektet var Betonmast Røsand.



*Ankomst Romsdal VGS.*

Skolen ligger noen minutters kjøring nordover fra fergekaia med idyllisk utsikt over Romsdalsfjorden. Den tilbyr yrkesrettet undervisning med en kapasitet på vel 950 elever og har et bruttoareal på 12.000 m<sup>2</sup>. Hele prosjektet, fra rivning til oppsetting, kostet 520 millioner kroner.

Vi ankommer skolen rundt 10:00 og blir mottatt av Jostein som har gjort klar en PowerPoint-presentasjon. Vi stiller flere spørsmål og Jostein svarer velvillig på dem. Etter innføringen får vi en guidet tur rundt i bygningen og Jostein både viser og forteller oss så mye han kan.

Skolen er prosjektert for å ha 20 % mindre driftskostnader enn standard løsninger. Dette gjøres blant annet ved et «LowTech»-ventilasjonsystem som utnytter kombinasjonen mellom mekanisk og naturlig ventilasjon. Systemet bruker mest mulig desentraliserte



*Jostein forteller fra presentasjonen sin.*

ventilasjonsaggregat med korte føringsveger og enkle styringssystemer. I tillegg får skolen vannbåren

varme fra 32 energibrønner boret 250 meter ned i fjellet. Strategien har enn så lenge gitt gode resultater: Bygget har et energiforbruk på 55 kWh/m<sup>2</sup> per år, godt under passivhusnivået på 70 kWh/m<sup>2</sup>.

I Stortingsmeldinga 28 (2011-2012) fremhever regjering Stoltenberg II at offentlige bygg skal være framtidsretta og kostnadseffektive, samt at offentlige tjenester skal være en pådriver for ny utvikling i byggenæringa. De legger vekt på at flere bygg skal lages i tre. Derfor var det aldri noe spørsmål om hvilket byggemateriale nye Romsdal videregående skole skulle konstrueres i – svaret var fra første stund massivtre.

Faktisk er alle elementer som kan være i trevirke, bygget i enten massivtre eller limtre. Elementer som ikke er utført i trevirke er blant annet fundamentet og fagverk for å holde glasstaket oppe. Å være tro til trevirket kunne føre til store dimensjoner på enkelte elementer. På det største var blant annet etasjeskillerne 55 cm høye med steg av massivtre (med hulrom) pluss trinnlydsmatte og åtte cm betong for å ta lydtransmisjonen. Å kun gjøre alt i massivtre kunne også føre til enkelte krokete sammenføyninger.

Det store spørsmålet rundt bygg i massivtre er kostnaden. Entreprenørbransjen er en konservativ næring og påbeløper seg stor risiko når de tar på seg ansvar for ukjente byggematerialer. Jostein forteller blant annet om kommentarer de fikk fra et konkurrerende selskap som gratulerte for å ha bidratt til å slå vinneren av anbudskonkurransen konkurs når de hadde priset seg mye lavere enn konkurrentene. Betonmast Røsand lå på et tidspunkt hele fire måneder foran tidsplan og kunne tilslutt innkassere et flott overskudd for oppdraget.

Jostein fremhever at en suksessfaktor var en tidlig avtale med massivtreleverandøren.

Fylkeskommunen gjorde en avtale med Woodcon om å importere østerriksk massivtre fra Stora Enso før entreprenøren var på plass. Dette gjorde logistikken enklere, og entreprenøren slapp å lete selv på markedet. Derimot skal man være obs på valutasingninger ved utenlandskjøp, men der foreslår Jostein å kjøpe opp utenlandsk valuta og legge det i en bank til kontrakten er signert.



*Stålfagverket er noe av det eneste bærende ikke i massivtre.*



*Krokete detaljer mellom vegg, etasjeskiller og bjelke.*

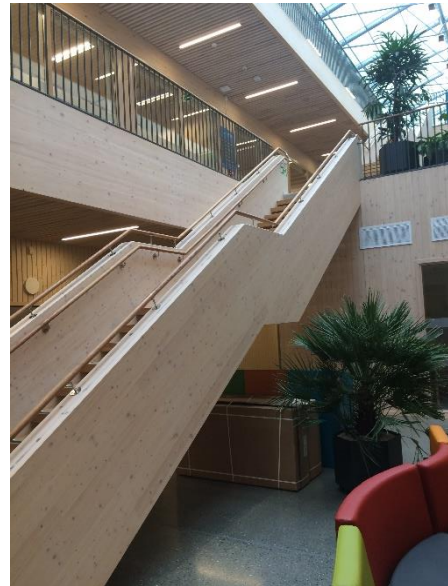


Brannrådgiveren tilfører at synlige massivtreelementer måtte lakeres for å opprettholde tilfredsstillende brannmotstand. Dette var noe uheldig siden det nulltet ut elementenes hygroskopiske effekt og gjorde overflatene hermetisk lukket, men utseendemessig opplevde både elevene og de ansatte byggverket fortsatt som varmt og trivelig. Ifølge Jostein er det gjort en tysk studie som viser at hjerteslagene til elever i et undervisningsrom med treoverflater kontra gips sank med 8.600 slag om dagen!

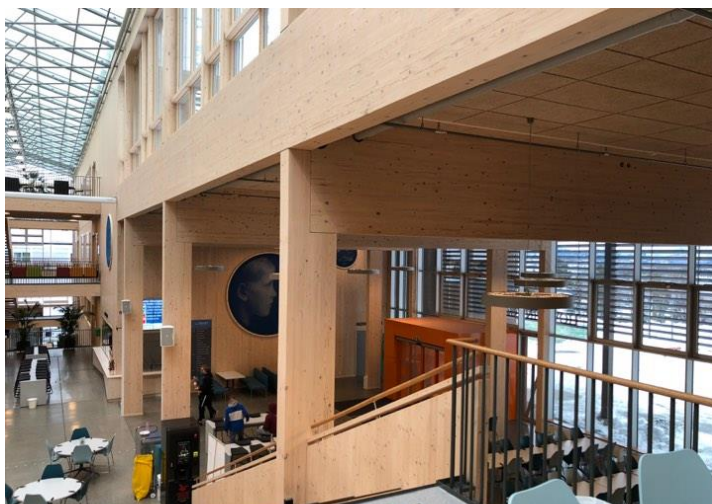
Et av hovedelementene med nye offentlige bygg er å konstruere dem miljøvennlig. I presentasjonen viser Jostein en oversikt over antall trær brukt til bygningen. Totalt ble 11.070 trær hogd. Av dette ble 60 % brukt til massivtreelementer og de resterende 40 % til papir, emballasje og energi. Det fantastiske er at det kun tar 3,6 timer for denne mengden trær å vokse i den østerrikske skogen på en sommerdag! Dette gir et bilde på størrelsen av skogen i Østerrike og ressursutnyttelsen man har med bygg av tre. Det er altså null svinn på råvarene og man fjerner omkring 9.000 tonn karbondioksid fra atmosfæren.

Ved miljøberegningen regner man også med produksjonen og fraktingen av materialene. Derfor kom massivtreelementene med tog fra Østerrike til Åndalsnes, hvorpå de ble fraktet med lastebil akkurat i tide til montering i Molde. Det at entreprenøren opererer med et «just-in-time»-prinsipp gjør at det kreves stor logistisk evne, men om alt går etter planen sparer de inn mye kostnader for å slippe lagringsplasser.

Det at byggingen er modulbasert gjør, i tillegg til rask fremgang, at montørene får en renligere byggeplass. En renlig byggeplass fører til økt trivsel og større oversiktighet. På 182.600 arbeidstimer var det kun registrert to arbeidsuhell som medførte fravær; begge fall fra gardintrapp. Et annet aspekt ved modulbygging er at festemidler utgjør en større del av totalprisen. Dette er fordi alt må være helt i vater under montering. Et lite avvik kan føre til store skjevheter, og festemidler utgjør ca. 5% av totalkostnaden for massivtreleveransen.



*Hvitlaserte elementer.*



*Heftige bjelker over kantina.*

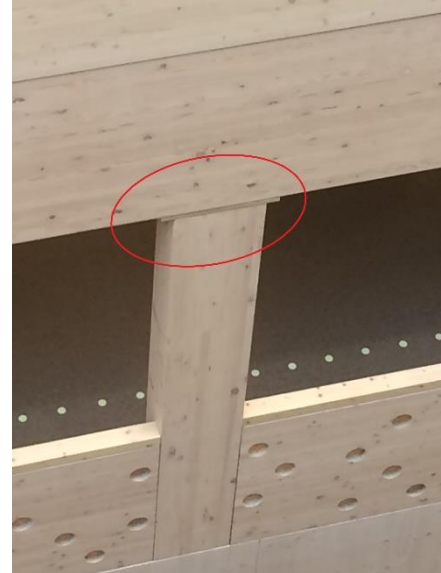


*Skråavstiver på nordsiden av bygget.*

Det var tidligere vanlig praksis å dekke til konstruksjonen under bygging. Grunnet dyre kostnader er dette ikke lenger vanlig. Ved regnskurer sørget man for å skyve vannet vekk fra horisontale flater manuelt. Siden ingen værbeskyttelsessystem ble brukt, ble fasaden misfarget. Jostein forteller at det var raskt å rette opp i misfargingen ved å slippe det ytterste laget på elementene. Dette ble kun gjort på innsiden av bygget siden utsiden uansett skulle kles inn i fasade.

Selv om det aldri var noe spørsmål fra fylkeskommunen om de skulle bygge i andre materialer enn massivtre, har det heller aldri vært noen anger på valget. Jostein trekker fram kort byggetid og lave driftskostnader som gode gevinster ved bygging med massivtre. Minussidene ligger i utfordrende lyddempingsløsninger, lang transport, liten dokumentasjon på lyd og brann og konservativ bransje. Et par dårlige løsninger, i tillegg til knotete sammenføyninger, er stålplater montert oppå søyler: Det er en fare for at limtresøylene presser seg inn i limtrebjelkene, og for å fordele belastningen monteres en stålplate oppå. Platene bør helst freses inn i bjelken, så de ikke er synlige. Det ble ikke gjort denne gangen og entreprenørene endte med å male over platen.

Poenget med turen har for oss vært å lære om gode og dårlige sider ved massivtrebygninger. Ved å dra til Molde har vi fått sett hvordan entreprenøren har løst ulike problem, samt fått pratet med prosjektlederen for bygget om miljøaspekt, kostnader og generelt. Det er vi svært takknemlige for.



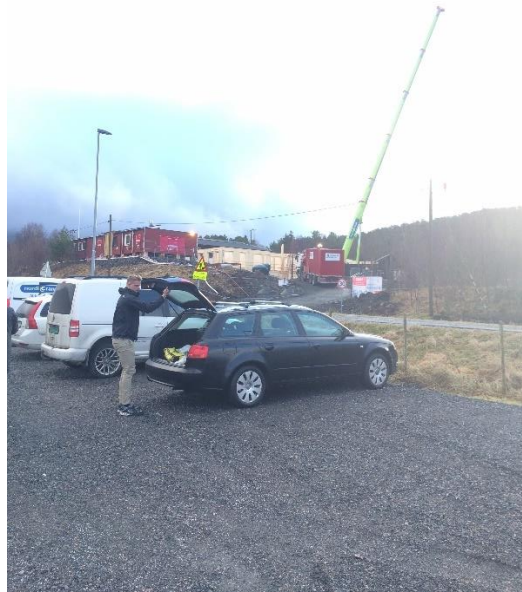
*Stålplate malt over for å ikke skulle seg ut.*



*Håvard, Jostein og Odin*

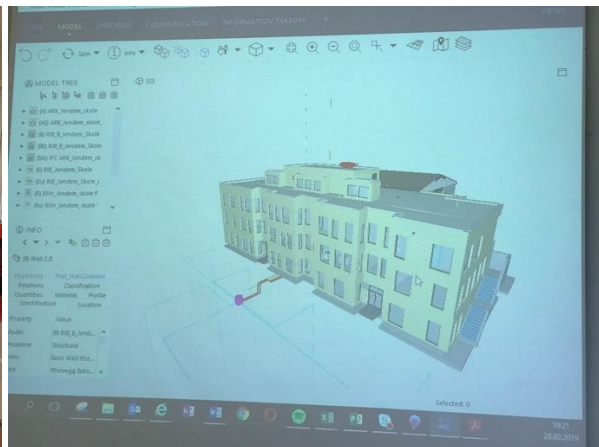
## Befaring til Jendem skole

Vi avtalte å møte Aleksander Male den 28. februar. Han er anleggsleder for Veidekke og gir oss en befaring på massivtre-prosjektet deres: Jendem skole. Skolen ligger på Fræna kommune, omtrent 20 minutter fra Molde sentrum. Veidekke har fått i oppgave å utvide skolen ved å koble sammen et eksisterende bygg med et nytt.



*Ankomst Jendem skole.*

Vi troppet opp på anleggskontoret og ble mottatt av Aleksander. Her ga han oss en innføring i prosjektet ved å vise oss en BIM-modell. Aleksander fortalte at elementene ble levert av Woodcon og produsert av Stora Enso i Østerrike. Elementene ble deretter fraktet med tog til Drammen og kjørt videre til Fræna med lastebil. Totalt forventet de 13 lastebillass. I motsetning til befaringen vår ved Romsdal videregående skole ble elementene fraktet med tog helt til Åndalsnes. Dessverre ble godstogene til Åndalsnes lagt ned i desember 2018.





Byggingen startet 1. oktober 2018 med å sprengte bort fjell. Første uka i februar begynte de å legge massivtreelementene på plass og de planlegger fem uker på dette arbeidet. Overtakelsen skal skje i midten av november. De forventer en kostnad på 50 millioner kroner, inkludert ombygging av det eksisterende skolebygget.


Elementene måtte mellomlagres på byggeplassen. De opererte altså ikke med et «just-in-time»-prinsipp hvor konstruksjonselementene ankommer akkurat i tide til å monteres. Elementene var derimot godt inndekket i plast, så fukt og råte blir neppe et problem. Konstruksjonen var heller ikke dekket inn i et typisk værbeskyttelsessystem. Det hadde regnet litt før vi kom til Jendem og elementene lå våte, men de anså ikke fukten som noe stort problem.



Elementer heises av lastebilen.

Skolen ble utvidet fordi to skoler skulle slås sammen. Utvidelsen var ment å kunne holde i ti år før eventuelt kapasiteten måtte utvides på ny. Det ironiske derimot var at noen kilometer lenger borte, i Aukra kommune, var en ny skole nettopp blitt bygget. Det tyder vel på ingen samarbeid mellom kommunene.

Et krevende aspekt ved bygging i massivtre er at all detaljeringen må være på plass før massivtre-elementene produseres. Dette fører til at plantegningene må sendes frem og tilbake noen ganger for å sikre at alt er på plass. Men som Aleksander forteller er det ikke noen større forskjell om bygget lages i prefabrikkerte betongelementer. Alle detaljene må være på plass da også.

|            |                  |                        |           |                |                   |                                  |  |
|--|------------------|------------------------|-----------|----------------|-------------------|----------------------------------|--|
| Leveringsplan CLT og Limtre - Jendem Skole   Adresse: Åndalsbakken 950, 6409 Molde             |                  |                        |           |                |                   |                                  |  |
| Kontaktperson på byggeplass: Eugenius Kedzior tlf: 463 81 102 / Mikkel Engvoll tlf: 415 71 956 |                  |                        |           |                |                   |                                  |  |
| storaenso  | Rail Cargo Group | H. Strom AS            |           | WOODCON        |                   | VEIDEKKE                         |  |
| >Loadingnummer   | Rail wagonnummer | Delivery building spot | Time      | Packages/Lifts | Info buildingsite | Andre leveranser TE?             |  |
| UKE 7  | 1                | 2181 4395 146-3        | ons 13.02 | 07:00          | 5/79              | Limtre                           |  |
|  | 2                | 2181 4395 146-3        | fre 15.02 | 07:00          | 5/45              | Vegger E1 og trapp E1            |  |
| UKE 8  | 3                | 2181 4395 016-8        | tir 19.02 | 07:00          | 4/12              | Vegger E1 og DO1                 |  |
|  | 4                | 2181 4395 016-8        | tor 21.02 | 07:00          | 3/94              | DO1                              |  |
| UKE 9  | 5                |                        | ons 27.02 | 07:00          | 4/92              | Vegger E2 og "trappevanger" amfi |  |
|  | 6                |                        | man 04.03 | 07:00          | 4/17              | Vegger E2, DO2 og trinn amfi     |  |
| UKE 10   | 7                |                        | tir 05.03 | 07:00          | 4/13              | DO 2                             |  |
|  | 8                |                        | ons 06.03 | 07:00          | 4/85              | DO 2                             |  |
| UKE 11   | 9                |                        | fre 08.03 | 07:00          | 6/56              | Vegger E3                        |  |
|  | 10               |                        | tir 12.03 | 07:00          | 3/11              | Vegger E3 og DO3                 |  |
| UKE 12   | 11               |                        | ons 13.03 | 07:00          | 3/10              | DO 3                             |  |
|  | 12               |                        | tor 14.03 | 07:00          | 4/28              | DO 3                             |  |
|  |                  |                        |           |                |                   | Tek. rom på tak                  |  |

Leveringsplan for massivtre-elementene fra fabrikk.

## Befaring på byggeplassen

Etter introduksjonen fikk vi oss en befaring rundt i det nye skolebygget. Bygget er på tre etasjer, hvor underetasjen har en bakvegg mot grunn i plasstøpt betong, og resten av veggene i massivtre, også i heissjakt i 1. og 2. etasje. Både inner- og ytterveggene er bærende. På byggeplassen fikk vi følge av monteringsleder Mikkel Engvoll fra massivtre-leverandøren Woodcon. Bygget var av entreprenøren definert med følgende etasjer; underetasje, 1. etasje og 2. etasje.

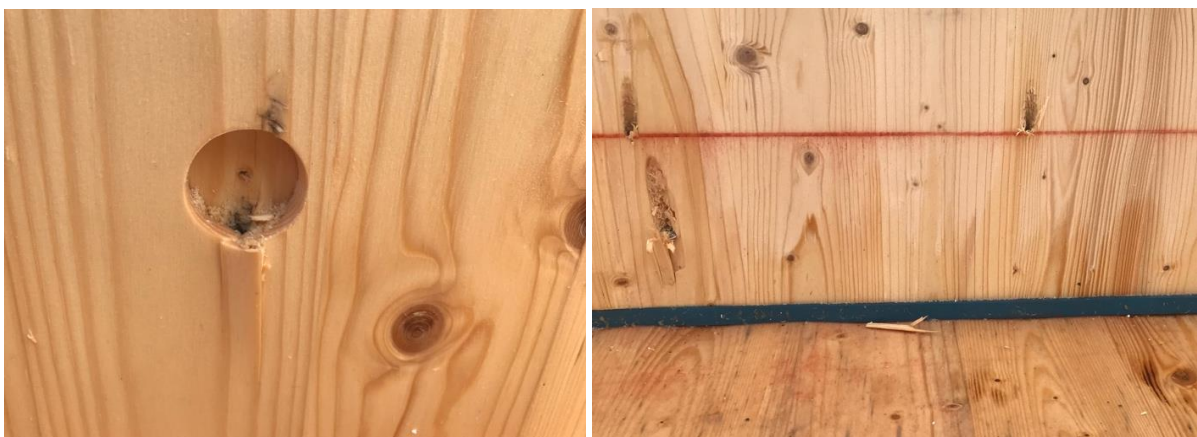




Vi begynte befaringen i 1. etasje, hvor Woodcon var godt i gang med å montere veggene. Det var et arbeidslag på fire mann samt monteringslederen, pluss en kranfører. I tillegg hadde Veidekke på dette stadiet 3-4 mann, som hadde begynt å montere utforinger på ytterveggene rundt vinduene. Ytterveggene blir isolert på utsiden av massivtre-elementene med 20 cm isolasjon, så vindsperreplate, lekt og til slutt kledning. Dette ville de bruke mye tid på, ifølge Aleksander. Veidekke hadde erfaringer fra en skole bygd i massivtre i Lillehammer-området, hvor de hadde brukt kun søyler og bjelker i limtre til bæring på yttervegger. Da kan fasadene også pre-fabrikeres på fabrikk og monteres på plass, noe som gjør byggetiden enda kortere. Hvis Veidekke skulle prosjektert Jendem skole på nytt ville de brukt samme metode også her. Ifølge Aleksander var det lang leveringstid på vinduene, så bygget blir i første omgang gjort tett med plast slik at det innvendige arbeidet kan begynne selv om vinduene ikke er montert.



På innerveggene blir massivtreet synlig på ene siden av vegg, mens andre siden blir kledd inn, dels for lydisolasjon og dels for å skjule installasjoner og monteringsskruer. Under ser man hvordan vegg-elementene blir festet i gulvet, først oppå en gummilist så skrudd fast i gulvet med 30 cm lange skruer.



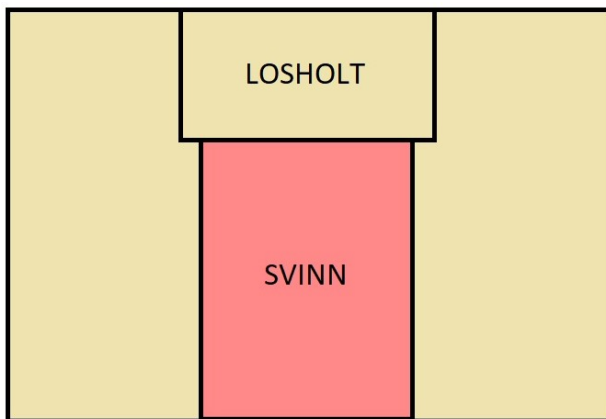
Aleksander fortelle at de hadde brukt mye tid på innfestningsløsningene for massivtre-veggene til fundament. Stålplater er støpt inn i fundamentene hvorpå det er sveiset fast vertikale stålplater som veggene blir skrudd fast i. Vegg-elementene kommer med ferdig spor til innfestningsplatene.



Det er lagt inn glipper mellom veggene for å forhindre lydtransmisjon. Det blir isolert på utsiden av ytterveggene så det er ikke fare for kuldegjennomtrenging.



Mikkel fra Woodcon kunne også forklare hvordan vegg-elementene er satt sammen for å optimalisere produksjonen. Hvis vindus- eller døråpnings-utsparingen er stor så blir veggen delt opp i tre elementer; et element på hver side av åpning og ett element over, som så blir skrudd sammen på byggeplassen. Vi har lenge vært interessert i å vite hvorfor man bruker losholter over utsparinger. Vår teori har vært at det stiver av veggen og reduserer nedbøyningen. Det viser seg derimot at man bruker losholter også for å slippe svinn. Om man bestiller en hel vegg med en utsparing i, må man fortsatt betale for kappet. Derfor blir det mer økonomisk å bestille en vegg i tre elementer når utsparingen blir stor. Mikkel kunne også fortelle at hvis etasjehøyden er over 2,95 meter så blir vegg-elementene plassert stående, men er da bare i en bredde på 2,95 meter. Panelstørrelsene fra produsenten er 2,95 meter bredde og opp mot 16 meter lengde. Etasjehøyder over 2,95 meter vil med andre ord gjøre ett bygg dyrere.



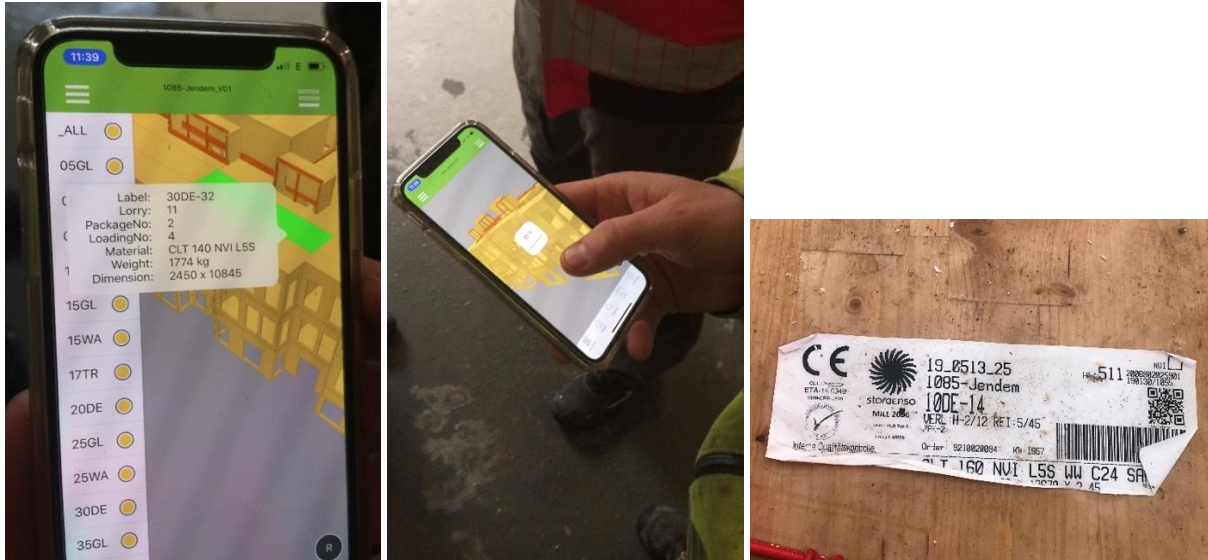
*Prinsippet med losholter og et eksempel.*

Alle utsparinger til vinduer, dører, ventilasjon og øvrige kabelføringer over  $\varnothing 5-7$  cm blir gjort under produksjon av elementene på fabrikken. Dette gjør at detaljprosjekteringen for alle fag må være mer eller mindre ferdig før panelene settes i produksjon, både når det gjelder vegger og etasjeskiller.





Vi spør hvordan de på byggeplassen klarer å holde orden på alle elementene, altså med tanke på hvor elementene skal plasseres i bygget. «Jo» svarer Mikkel, «vi har en app.» Det viser seg at Stora Enso har laget en app til entreprenørene med informasjon om alle elementene. Appen inneholder en 3D-modell av bygningen og man får opp alt man trenger å vite om man klikker på et element. Informasjonen er blant annet elementets etikett, lastebillass, vekt, dimensjon og plassering. I tillegg er selvsagt alle elementene merket.



Vi har allerede vært på befaring på Romsdal videregående skole hvor vi fikk innblikk i et ferdig bygget massivtrehus. Denne gangen fikk vi se et bygg i oppsetting og dermed fikk vi større forståelse av tekniske detaljer. Dette ga oss stor hjelp i vårt videre arbeid med bacheloroppgaven.

Flere bilder fra beferingen:



*Fra venstre: Aleksander Male, Odin Thorsrud, Mikkel Engvoll, Per Ø. Moeng*









Lastberegning i akse E

**Denne rapporten er en lastberegning av Studenttorget, i akse E mellom akse 3a og 14, fra 7. etasje til kjeller, for å beregne dimensjonene av massivtredekker, massivtrevegger, limtresøyler og limtre- og HEM-bjelker. Snitt av seksjonen er vist ved tegning.**

Lastene blir beregnet fortløpende nedover etasjene samtidig som de forskjellige elementene; søyler, vegger, bjelker og dekker, blir beregnet i programmet Stora Enso Calculatis. Calculatis bruker lastfaktorene 1,35 for egenvekt, 1,5 for nyttelast og 1,5 for snølast, samt 1,25 for materialfaktor i beregning av elementene. Lastfaktor for egenvekt er normalt 1,2 i formel B2 i henhold til Eurokoden for lastberegning, men Calculatis bruker 1,35 for limtre og massivtre, noe vi også har sett Eurocode Express gjør. Dette er beregning til sikker side og vi har valgt og ikke korrigerer dette til 1,2.

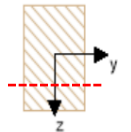
Søylene, veggene, bjelkene og dekkene blir beregnet i Calculatis med lastene som oppgitt i regnearkene under. Når riktig dimensjon i Calculatis er valgt benyttes egenvekten av elementet videre i beregningen i etasjene nedover. Disse lastene er da uten lastfaktorer.

Det er ikke benyttet arealreduksjonsfaktor da belastningsarealet ikke overskrider 30 kvm, men etasjereduksjonsfaktor er benyttet fortløpende i etasjer hvor det er mer enn to etasjer over beregnede søyler/vegger. Etasjereduksjonen er regnet ut etter følgende formel:

$$\alpha_n = \frac{2+(n-2)*0,7}{n}$$

Etasjereduksjonsfaktoren er så benyttet for å redusere nyttelasten i de gjeldene etasjene for søyler og vegger.

For søyler er det lagt på en eksentrisitet som tilsvarer ca. halve avstanden fra senter og ut til kant i z-retning. Det er i denne retningen bjelkene er opplagt oppå søylene. På enkelte søyler i andre etasje er det også lagt på en eksentrisitet i y-retning da disse søylene også må ta last fra bjelkene som holder takhagen oppe.



Dekkene er beregnet i Calculatis for både jevnt fordelt last og punktlast. Det er den jevnt fordelte lasten som gir størst belastning. Beregningene av begge lasttypene i Calculatis er vedlagt denne rapporten.

Beregningene er delt inn i seksjoner; første beregning er i aksene 3a til 5, så 5 til 8, så 8a til 10 også 11 til 14. Dette er gjort for å få plass på utskrift. Beregningene må ses i sammenheng med hverandre og laster er i enkelte tilfeller overført fra én akse i én beregning til en annen akse i en senere beregning.

Forklaring for Excel-oppsettet og hvordan utregningen er gjort:

Utdrag av en beregning:

|     |                                   | Dimensjoner |                   |  | Akse     |       |          |        |       |       |
|-----|-----------------------------------|-------------|-------------------|--|----------|-------|----------|--------|-------|-------|
|     |                                   | x [m]       | y [m]             | z [m]  | 5        |       |          | 6      |       |       |
|     |                                   |             |                   |  | 3,8      |       |          | 3,8    |       |       |
|     |                                   |             |                   |  | Egenvekt | $q_k$ | Egenvekt | $q_k$  |       |       |
| Eta | Element                           | Verdi       | Enhet             | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse | [kN/m]   | [kN]  | [kN]     | [kN/m] | [kN]  | [kN]  |
| 6   | Overført fra etasjen over         |             |                   |  |          | 27,64 | 14,82    |        | 27,64 | 14,82 |
| 6   | Dekke m/påstøp - betong           | 25          | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 2,44     | 9,26  |          | 2,44   | 9,26  |       |
| 6   | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61        | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 1,26     | 4,78  |          | 1,26   | 4,78  |       |
| 6   | Bjelke - limtre GL32h             | 5           | kN/m <sup>3</sup> | 0,14   | 0,19     | 0,72  |          | 0,19   | 0,72  |       |
| 6   | Last på søyle/vegg                |             |                   |  |          | 42,41 | 14,82    |        | 42,41 | 14,82 |
| 6   | Nyttelast $q_k$ - kat. A - gulv   | 2           | kN/m <sup>2</sup> | 1,95   |          |       |          |        |       |       |
| 6   | Nyttelast $q_k$ - kat. C1         | 3           | kN/m <sup>2</sup> | 1,95   |          |       |          |        |       |       |
| 6   | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3         | kN/m <sup>2</sup> |  | 0,90     | 3,43  |          | 0,90   | 3,43  |       |
| 6   | Vegg CLT                          | 4,61        | kN/m <sup>3</sup> | 3,9  |          | 2,65  |          |        | 2,65  |       |
| 6   | Aksialkraft fra etasje            |             |                   |  |          | 48,49 | 29,64    |        | 48,49 | 29,64 |

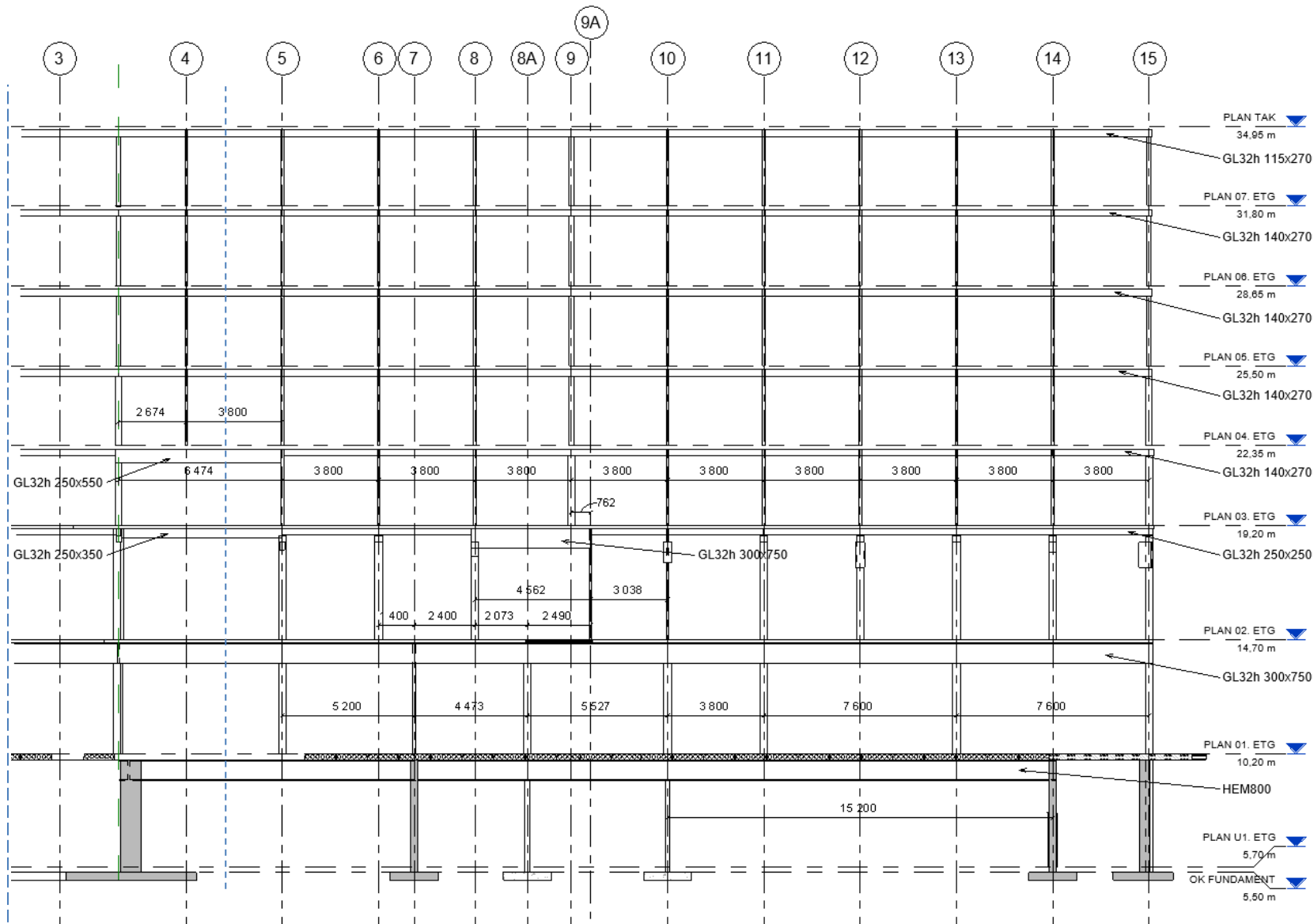
Forklaring til arket

- Eta: Etasjen det beregnes for
- Element: viser hvilket element som er med i beregningen. Disse er prøvd listet i den rekkefølgen de eksisterer i bygget, fra toppen og ned.
- Verdi og Enhet: viser elementets egenvekt samt enhet egenvekten er oppgitt i, som oftest i m<sup>3</sup> eller m<sup>2</sup>.
- Dimensjoner: Elementenes dimensjoner som blir brukt i beregningen av dens egenvekt. Dimensjonene til de beregnede elementene; dekker, bjelker, søyler og vegger er dimensjoner som etter beregning i Calculatis tilsier er tilstrekkelig for at konstruksjonen skal stå i bruddgrensetilstand.
  - x: elementets dimensjon i x-retning, stort sett lengde på elementet. For søyle er x-retningen høyden på søylen.
  - y: angir bredde på bjelke og søyle når sett i snitt. For dekker, tak og nyttelast er y-verdien avstanden inn i planet og angir belastningsarealet.
  - z: for bjelker og søyler er dette høyden når sett i snitt. For dekker er det tykkelsen. For vindu og vegg er det høyden.
- Aksenummer, f.eks. 5, angir i hvilken akse beregningen gjelder. Bjelkelengden angir hvor langt det er fra forrige akse frem til denne akse.
- Egenvekt:
  - Egenvekt i kN/m er først en beregning av elementet fra enten kN/m<sup>3</sup> eller kN/m<sup>2</sup>. Her brukes verdien oppgitt for elementet multiplisert med dimensjonene.
  - Egenvekt i kN angir belastningen elementet gir med de oppgitte dimensjonene. Denne beregnes fra kN/m og den oppgitte bjelkelengden. Har denne akse og neste akse to forskjellige lengder settes de to lengdene sammen og deles på to. Søyler og vegg beregnes direkte til kN. For vegger deles den totale belastningen fra elementet med to da veggene er opplagt i hver sin ende.

- Etasjereduksjon  $\alpha_n$ : etasjereduksjonen er beregnet for etasjer hvor det er tre eller flere etasjer over den etasjen beregningen gjelder og brukes for å redusere nyttelasten. I kolonnen for  $\alpha_n$  i tabellen er etasjereduksjonsfaktoren beregnet ut fra formelen under, hvor n er antallet etasjer over gjeldende etasje. Reduksjonsfaktoren er igjen multiplisert med nyttelasten til de påvirkede etasjene over, og nyttelasten blir så redusert på søyler og vegger. Etasjereduksjonen gjelder kun for vertikale bæreelementer.

- Formel for etasjereduksjonsfaktoren:  $\alpha_n = \frac{2+(n-2)*0,7}{n}$

Snitt av akse E (sørfasaden) med mål som er brukt i beregningene av søyler, vegger, bjelker og dekker. Dimensjonene til bjelkene er påført.

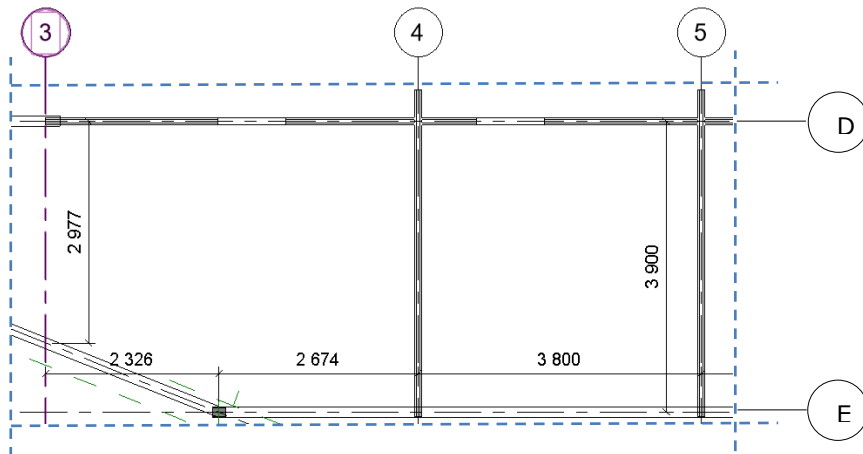


Utsnitt av plan i akse D-E og 3-5, etasje 4 til 7.

Ved beregning av dimensjon på søyle i akse 3a er det tatt avstand til akse 2 og antatt at belastningsarealet er kvadratisk. Dette gir det et noe større belastningsareal og er derfor beregning til sikker side. Dette er gjort for å forenkle beregningen.

Dekkene ligger i nord-sør retning, dvs. fra D til E. Målene er påført tegningen under.

Nyttelast for området er kategori A;  $2,0 \text{ kN/m}^2$ .



I tredje etasje er det en takhage på sørsiden som gir belastning på søylene i akse E i første og andre etasje.

Plantegning med mål på dekker og bjelker som er brukt i beregningen av belastningen fra takhagen.

Laster:

Nyttelast kategori C1: 3,0 kN/m<sup>2</sup>

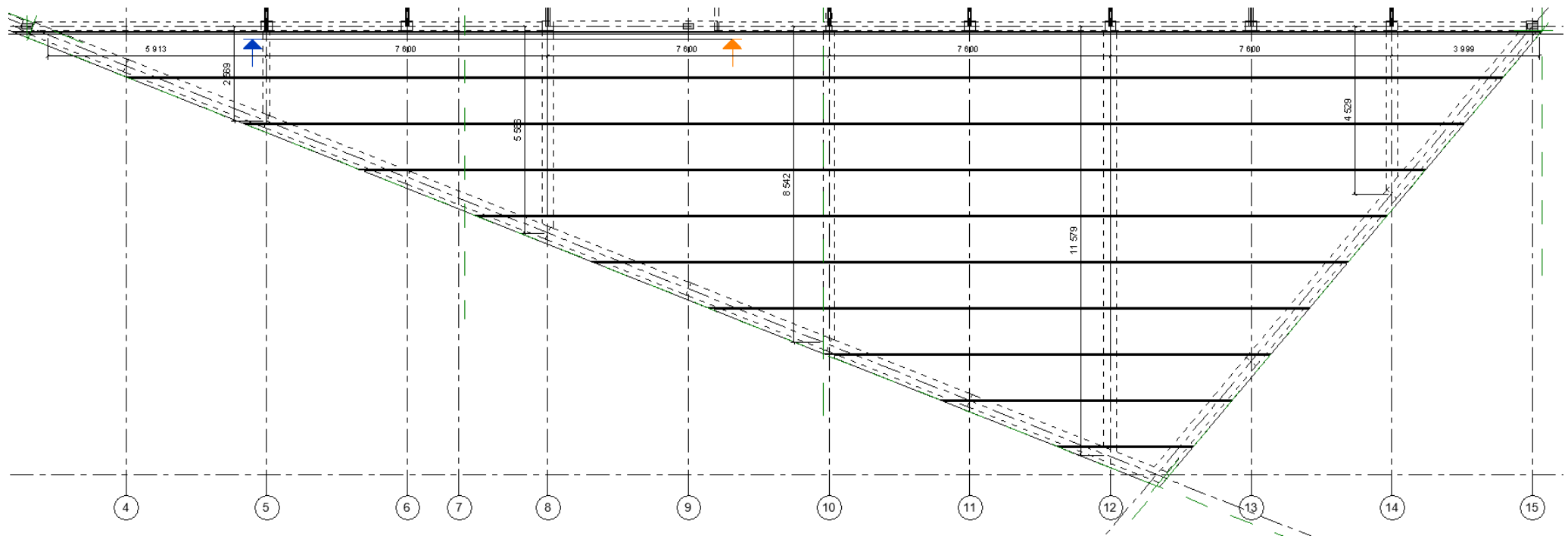
Jord for belatning: 0,65 kN/m<sup>2</sup>

Hulldেকে HD265: 3,9 kN/m<sup>2</sup>

Bjelke GL32h: Avhengig av akse, forskjellige dimensjoner for forskjellige spennlengder. Se beregningene.

Plantegning over takhagen:

(NB: bjelkelengdene angitt på tegningen under fraviker noe fra beregningene. Dette skyldes målsettingen i Revit. Bjelkelengdene brukt i beregningene skal være de riktige)



Sjuende etasje – akse E3a – 5:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                           | Verdi | Enhet | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |       |      |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|--|-------|------|
|     |                                   |       |       |  |       |      |
| 7   | Snølast på tak                    | 2,4   | kN/m2 |  | 1,49  |      |
| 7   | Snølast på tak                    | 2,4   | kN/m2 |  | 1,95  |      |
| 7   | Tak - Lett-tak                    | 0,43  | kN/m2 |  | 1,49  |      |
| 7   | Tak - Lett-tak                    | 0,43  | kN/m2 |  | 1,95  |      |
| 7   | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 |  | 0,115 | 0,27 |
| 7   | Last på søyle/vegg                |       |       |  |       |      |
| 7   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |  | 1,49  |      |
| 7   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |  | 1,95  |      |
| 7   | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2 |  |       | 3,01 |
| 7   | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3 | 3,9  | 0,1   | 2,95 |
| 7   | Søyle - limtre GL32h              | 5     | kN/m3 | 2,74   | 0,115 | 0,18 |
| 7   | Aksialkraft fra etasje            |       |       |  |       |      |

| Akse     |                |          |                |          |                |        |       |       | $\alpha_n$ |
|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|--------|-------|-------|------------|
| 3a       |                | 4        |                | 5        |                |        |       |       |            |
| 4,87     |                | 2,67     |                | 3,8      |                |        |       |       |            |
| Egenvekt | q <sub>k</sub> | Egenvekt | q <sub>k</sub> | Egenvekt | q <sub>k</sub> |        |       |       |            |
| [kN/m]   | [kN]           | [kN]     | [kN/m]         | [kN]     | [kN]           | [kN/m] | [kN]  | [kN]  |            |
| 3,58     | 13,48          |          |                |          |                |        |       |       |            |
|          |                | 4,68     | 15,14          |          |                | 4,68   | 17,78 |       |            |
| 0,64     | 2,42           |          |                |          |                |        |       |       |            |
|          |                | 0,84     | 2,71           |          |                | 0,84   | 3,19  |       |            |
| 0,16     | 0,59           | 0,16     | 0,50           |          |                | 0,16   | 0,59  |       |            |
|          | 16,48          |          | 18,35          |          |                |        | 21,56 |       |            |
| 2,98     |                | 11,23    |                |          |                |        |       |       |            |
|          |                | 3,90     |                | 12,62    |                | 3,90   |       | 14,82 |            |
|          |                | 0,90     | 2,92           |          |                | 0,90   | 3,43  |       |            |
|          |                |          |                |          |                |        | 2,65  |       |            |
|          | 0,28           |          | 0,28           |          |                |        |       |       |            |
|          | 16,77          | 11,23    |                | 21,56    | 12,62          |        | 27,64 | 14,82 |            |

Sjette etasje – akse E3a – 5:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                           | Verdi | Enhet | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |       |      |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|--|-------|------|
|     |                                   |       |       |  |       |      |
| 6   | Overført fra etasjen over         |       |       |  |       |      |
| 6   | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |  | 1,49  | 0,05 |
| 6   | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |  | 1,95  | 0,05 |
| 6   | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |  | 1,49  | 0,14 |
| 6   | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |  | 1,95  | 0,14 |
| 6   | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 |  | 0,14  | 0,27 |
| 6   | Last på søyle/vegg                |       |       |  |       |      |
| 6   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |  | 1,49  |      |
| 6   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |  | 1,95  |      |
| 6   | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2 |  |       | 3,01 |
| 6   | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3 | 3,9  | 0,1   | 2,95 |
| 6   | Søyle - limtre GL32h              | 5     | kN/m3 | 2,74   | 0,115 | 0,18 |
| 6   | Aksialkraft fra etasje            |       |       |  |       |      |

| Akse     |              |                |        |              |              |                |              |              | $\alpha_n$ |
|----------|--------------|----------------|--------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|------------|
| 3a       |              | 4              |        | 5            |              |                |              |              |            |
| 4,87     |              | 2,67           |        | 3,8          |              |                |              |              |            |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |        | Egenvekt     |              | q <sub>k</sub> |              |              |            |
| [kN/m]   | [kN]         | [kN]           | [kN/m] | [kN]         | [kN]         | [kN/m]         | [kN]         | [kN]         |            |
|          | 16,77        | 11,23          |        | 21,56        | 12,62        |                | 27,64        | 14,82        |            |
| 1,86     | 7,02         |                |        |              |              |                |              |              |            |
|          |              |                | 2,44   | 7,89         |              | 2,44           | 9,26         |              |            |
| 0,96     | 3,63         |                |        |              |              |                |              |              |            |
|          |              |                | 1,26   | 4,07         |              | 1,26           | 4,78         |              |            |
| 0,19     | 0,71         |                | 0,19   | 0,61         |              | 0,19           | 0,72         |              |            |
|          | 28,13        | 11,23          |        | 34,13        | 12,62        |                | 42,41        | 14,82        |            |
| 2,98     |              | 11,23          |        |              |              |                |              |              |            |
|          |              |                | 3,9    |              | 12,62        | 3,9            |              | 14,82        |            |
|          |              |                | 0,90   | 2,92         |              | 0,90           | 3,43         |              |            |
|          |              |                |        |              |              |                | 2,65         |              |            |
|          | 0,28         |                |        | 0,28         |              |                |              |              |            |
|          | <b>28,41</b> | <b>22,47</b>   |        | <b>37,33</b> | <b>25,23</b> |                | <b>48,49</b> | <b>29,64</b> |            |



Femte etasje – akse E3a – 5:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                           | Verdi | Enhet | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|------------|--------------------|----------------------|
| 5   | Overført fra etasjen over         |       |       |            |                    |                      |
| 5   | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |            | 1,49               | 0,05                 |
| 5   | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |            | 1,95               | 0,05                 |
| 5   | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |            | 1,49               | 0,14                 |
| 5   | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |            | 1,95               | 0,14                 |
| 5   | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 |            | 0,14               | 0,27                 |
| 5   | Last på søyle/vegg                |       |       |            |                    |                      |
| 5   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |            | 1,49               |                      |
| 5   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |            | 1,95               |                      |
| 5   | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2 |            |                    | 3,01                 |
| 5   | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3 | 3,9        | 0,1                | 2,95                 |
| 5   | Søyle - limtre GL32h              | 5     | kN/m3 | 2,74       | 0,14               | 0,18                 |
| 5   | Aksialkraft fra etasje            |       |       |            |                    |                      |

| Akse     |              |                |          |              |                |          |              |                |            |
|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|------------|
| 3a       |              |                | 4        |              |                | 5        |              |                | $\alpha_n$ |
| 4,87     |              |                | 2,67     |              |                | 3,8      |              |                |            |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |            |
| [kN/m]   | [kN]         | [kN]           | [kN/m]   | [kN]         | [kN]           | [kN/m]   | [kN]         | [kN]           |            |
|          | 28,41        | 22,47          |          | 37,33        | 25,23          |          | 48,49        | 29,64          |            |
| 1,86     | 7,02         |                |          |              |                |          |              |                |            |
|          |              |                | 2,44     | 7,89         |                | 2,44     | 9,26         |                |            |
| 0,96     | 3,63         |                |          |              |                |          |              |                |            |
|          |              |                | 1,26     | 4,07         |                | 1,26     | 4,78         |                |            |
| 0,19     | 0,71         |                | 0,19     | 0,61         |                | 0,19     | 0,72         |                |            |
|          | 39,77        | 22,47          |          | 49,90        | 25,23          |          | 63,25        | 29,64          |            |
| 2,98     |              | 11,23          |          |              |                |          |              |                |            |
|          |              |                | 3,9      |              | 12,62          | 3,9      |              | 14,82          |            |
|          |              |                | 0,90     | 2,92         |                | 0,90     | 3,43         |                |            |
|          |              |                |          |              |                |          | 2,65         |                |            |
|          | 0,35         |                |          | 0,35         |                |          |              |                |            |
|          | <b>40,11</b> | <b>33,70</b>   |          | <b>53,17</b> | <b>37,85</b>   |          | <b>69,34</b> | <b>44,46</b>   |            |

Fjerde etasje – akse E3a – 5:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                           | Verdi | Enhet | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|------------|--------------------|----------------------|
| 4   | Overført fra etasjen over         |       |       |            |                    |                      |
| 4   | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |            | 1,49               | 0,05                 |
| 4   | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |            | 1,95               | 0,05                 |
| 4   | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |            | 1,49               | 0,14                 |
| 4   | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |            | 1,95               | 0,14                 |
| 4   | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 |            | 0,14               | 0,27                 |
| 4   | Etasjereduksjon n =               | 3     |       |            |                    |                      |
| 4   | Last på søyle/vegg                |       |       |            |                    |                      |
| 4   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |            | 1,49               |                      |
| 4   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |            | 1,95               |                      |
| 4   | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2 |            |                    | 3,01                 |
| 4   | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3 | 3,9        | 0,1                | 2,95                 |
| 4   | Søyle - limtre GL32h              | 5     | kN/m3 | 2,74       | 0,14               | 0,18                 |
| 4   | Aksialkraft fra etasje            |       |       |            |                    |                      |

| Akse     |       |                |        |          |       |                |       |            |     |                |
|----------|-------|----------------|--------|----------|-------|----------------|-------|------------|-----|----------------|
| 3a       |       | 4              |        |          | 5     |                |       | $\alpha_n$ |     |                |
| 4,87     |       | 2,67           |        |          | 3,8   |                |       |            |     |                |
| Egenvekt |       | q <sub>k</sub> |        | Egenvekt |       | q <sub>k</sub> |       | Egenvekt   |     | q <sub>k</sub> |
| [kN/m]   | [kN]  | [kN]           | [kN/m] | [kN]     | [kN]  | [kN/m]         | [kN]  | [kN]       |     |                |
|          | 40,11 | 33,70          |        | 53,17    | 37,85 |                | 69,34 | 44,46      |     |                |
| 1,86     | 7,02  |                |        |          |       |                |       |            |     |                |
|          |       |                | 2,44   | 7,89     |       | 2,44           | 9,26  |            |     |                |
| 0,96     | 3,63  |                |        |          |       |                |       |            |     |                |
|          |       |                | 1,26   | 4,07     |       | 1,26           | 4,78  |            |     |                |
| 0,19     | 0,71  |                | 0,19   | 0,61     |       | 0,19           | 0,72  |            |     |                |
|          |       | -3,37          |        |          | -3,78 |                |       | -4,45      | 0,9 |                |
|          | 51,47 | 30,33          |        | 65,73    | 34,06 |                | 84,10 | 40,01      |     |                |
| 2,98     |       | 11,23          |        |          |       |                |       |            |     |                |
|          |       |                | 3,9    |          | 12,62 | 3,9            |       | 14,82      |     |                |
|          |       |                | 0,90   | 2,92     |       | 0,90           | 3,43  |            |     |                |
|          |       |                |        |          |       |                | 2,65  |            |     |                |
|          | 0,35  |                |        | 0,35     |       |                |       |            |     |                |
|          | 51,82 | 41,57          |        | 69,00    | 46,68 |                | 90,18 | 54,83      |     |                |

Tredje etasje – akse E3a – 5:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta      | Element                           | Verdi | Enhet | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|----------|-----------------------------------|-------|-------|------------|--------------------|----------------------|
| 3        | Overført fra etasjen over         |       |       |            |                    |                      |
| 3        | Fordeling av krefter              |       |       |            |                    |                      |
| 3        | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |            | 1,49               | 0,05                 |
| 3        | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |            | 1,95               | 0,05                 |
| 3        | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |            | 1,49               | 0,14                 |
| 3        | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |            | 1,95               | 0,14                 |
| 3        | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 |            | 0,25               | 0,55                 |
| 3        | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 |            | 0,14               | 0,27                 |
| 3        | Etasjereduksjon n =               | 4     |       |            |                    |                      |
| 3        | Last på søyle/vegg                |       |       |            |                    |                      |
| 3        | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |            | 1,49               |                      |
| 3        | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |            | 1,95               |                      |
| 3        | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2 |            |                    | 3,01                 |
| 3        | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3 | 3,9        | 0,1                | 2,95                 |
| 3        | Søyle - limtre GL32h              | 5     | kN/m3 | 2,74       | 0,25               | 0,25                 |
| <b>3</b> | <b>Aksialkraft fra etasje</b>     |       |       |            |                    |                      |

| Akse     |               |                |          |       |                |          |               |                |            |
|----------|---------------|----------------|----------|-------|----------------|----------|---------------|----------------|------------|
| 3a       |               |                | 4        |       |                | 5        |               |                | $\alpha_n$ |
| 4,87     |               |                |          |       |                | 6,474    |               |                |            |
| Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |       | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> |            |
| [kN/m]   | [kN]          | [kN]           | [kN/m]   | [kN]  | [kN]           | [kN/m]   | [kN]          | [kN]           |            |
|          | 51,82         | 41,57          |          | 69,00 | 46,68          |          | 90,18         | 54,83          |            |
|          | 92,32         | 68,97          |          |       |                |          | 118,64        | 74,09          |            |
| 1,86     | 10,56         |                |          |       |                |          |               |                |            |
|          |               |                |          |       |                | 2,44     | 12,52         |                |            |
| 0,96     | 5,45          |                |          |       |                |          |               |                |            |
|          |               |                |          |       |                | 1,26     | 6,47          |                |            |
| 0,69     | 2,23          |                |          |       |                | 0,69     | 2,23          |                |            |
| 0,19     | 0,46          |                |          |       |                | 0,19     | 0,36          |                |            |
|          |               | -10,35         |          |       |                |          |               | -11,11         | 0,85       |
|          | 110,56        | 58,62          |          |       |                |          | 140,21        | 62,97          |            |
| 2,98     |               | 16,90          |          |       |                |          |               |                |            |
|          |               |                |          |       |                | 3,9      |               | 20,03          |            |
|          |               |                |          |       |                | 0,90     | 4,64          |                |            |
|          |               |                |          |       |                |          | 2,65          |                |            |
|          | 0,86          |                |          |       |                |          |               |                |            |
|          | <b>111,42</b> | <b>75,53</b>   |          |       |                |          | <b>147,50</b> | <b>83,01</b>   |            |

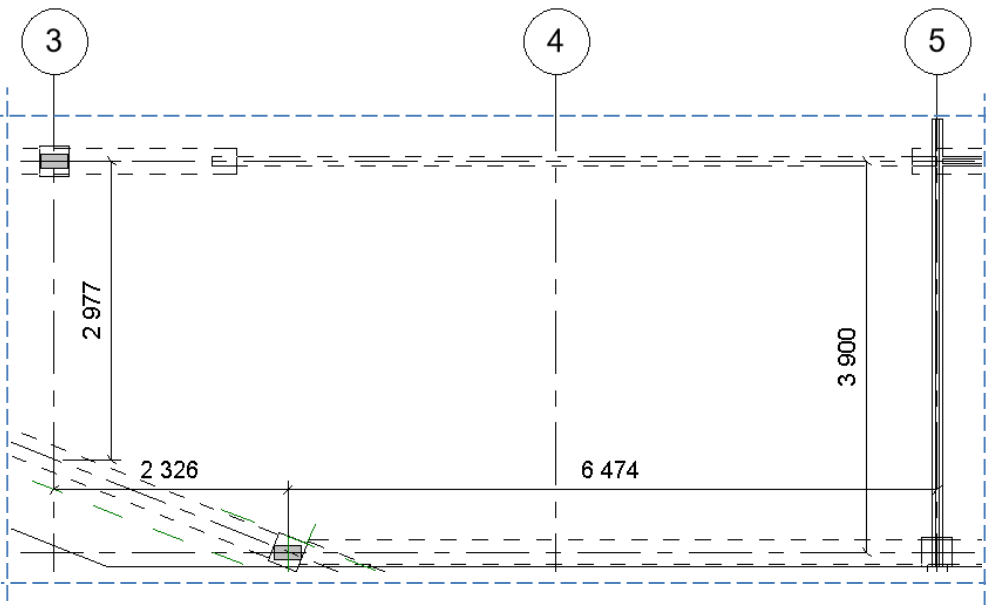
Legg merke til at her er aksialkraften i akse 4 fordelt ned på søylen i akse 3a og vegg i akse 5. I denne etasjen er det utgang til takhagen i dette området, derfor det lange spennet på bjelken, 6,474 meter.

Fordeling av krefter er gjort etter følgende formler:

$$R_{3a} = \frac{P_4 * b}{l}$$

$$R_5 = \frac{P_4 * a}{l}$$

Utsnitt av plantegning for tredje etasje for aksene D – E og 3 – 5. Målene er påført tegningen under:



Andre etasje – akse E3a – 5:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                   | Verdi | Enhet | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|---------------------------|-------|-------|------------|--------------------|----------------------|
| 2   | Overført fra etasjen over |       |       |            |                    |                      |
| 2   | Dekke m/påstøp - betong   | 25    | kN/m3 |            | 1,49               | 0,05                 |
| 2   | Dekke m/påstøp - betong   | 25    | kN/m3 |            | 1,95               | 0,05                 |
| 2   | Dekke m/påstøp - CLT      | 4,61  | kN/m3 |            | 1,49               | 0,14                 |
| 2   | Dekke m/påstøp - CLT      | 4,61  | kN/m3 |            | 1,95               | 0,14                 |
| 2   | Bjelke - limtre GL32h     | 5     | kN/m3 |            | 0,14               | 0,27                 |
| 2   | Bjelke - limtre GL32h     | 5     | kN/m3 |            | 0,25               | 0,35                 |
| 2   | Bjelke - limtre GL32h     | 5     | kN/m3 |            | 0,25               | 0,25                 |
| 2   | Etasjereduksjon n =       | 5     |       |            |                    |                      |
| 2   | Last fra takhagen         |       |       |            |                    |                      |
| 2   | Last på søyle/vegg        |       |       |            |                    |                      |
| 2   | Nyttelast qk - kat. C1    | 3     | kN/m2 |            | 1,49               |                      |
| 2   | Nyttelast qk - kat. C1    | 3     | kN/m2 |            | 1,95               |                      |
| 2   | Vindu - sikkerhetsglass   | 0,3   | kN/m2 |            |                    | 3,5                  |
| 2   | Søyle - limtre GL32h      | 5     | kN/m3 | 4,11       | 0,3                | 0,3                  |
| 2   | Søyle - limtre GL32h      | 5     | kN/m3 | 4,01       | 0,3                | 0,3                  |
| 2   | Aksialkraft fra etasje    |       |       |            |                    |                      |

| Akse     |               |                |          |      |                |          |               |                |            |
|----------|---------------|----------------|----------|------|----------------|----------|---------------|----------------|------------|
| 3a       |               |                | 4        |      |                | 5        |               |                | $\alpha_n$ |
| 4,87     |               |                |          |      |                | 6,474    |               |                |            |
| Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> |            |
| [kN/m]   | [kN]          | [kN]           | [kN/m]   | [kN] | [kN]           | [kN/m]   | [kN]          | [kN]           |            |
|          | 111,42        | 75,53          |          |      |                |          | 147,50        | 83,01          |            |
| 1,86     | 10,56         |                |          |      |                |          |               |                |            |
|          |               |                |          |      |                | 2,44     | 12,52         |                |            |
| 0,96     | 5,45          |                |          |      |                |          |               |                |            |
|          |               |                |          |      |                | 1,26     | 6,47          |                |            |
| 0,19     | 0,46          |                |          |      |                |          |               |                |            |
| 0,44     | 1,42          |                |          |      |                | 0,44     | 1,42          |                |            |
|          |               |                |          |      |                | 0,31     | 1,01          |                |            |
|          |               | -13,59         |          |      |                |          |               | -14,94         | 0,82       |
|          |               |                |          |      |                |          | 39,52         | 25,81          |            |
|          | 129,32        | 61,93          |          |      |                |          | 208,44        | 93,88          |            |
| 4,47     |               | 25,35          |          |      |                |          |               |                |            |
|          |               |                |          |      |                | 5,85     |               | 30,05          |            |
|          |               |                |          |      |                | 1,05     | 5,39          |                |            |
|          |               |                |          |      |                |          | 1,85          |                |            |
|          | 1,80          |                |          |      |                |          |               |                |            |
|          | <b>129,32</b> | <b>87,28</b>   |          |      |                |          | <b>215,68</b> | <b>123,93</b>  |            |

Beregning av belastningen fra takhagen:

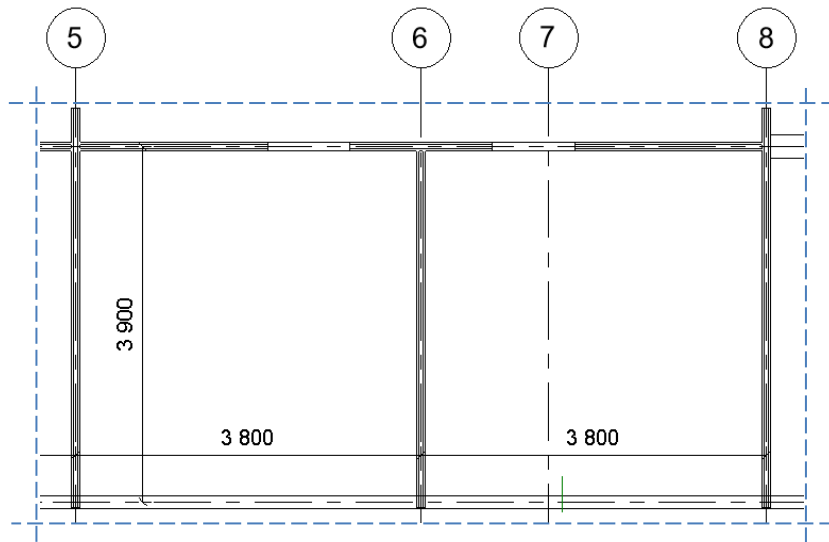
|   |                                     |      |                   |  |      |     |  |  |  | Akse     |      |                |              |              |
|---|-------------------------------------|------|-------------------|--|------|-----|--|--|--|----------|------|----------------|--------------|--------------|
|   |                                     |      |                   |  |      |     |  |  |  | 2,512    |      |                |              |              |
|   |                                     |      |                   |  |      |     |  |  |  | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> |              |              |
|   |                                     |      |                   |  |      |     |  |  |  | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           |              |              |
| 2 | <b>Takhagen</b>                     |      |                   |  |      |     |  |  |  |          |      |                |              |              |
| 2 | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C1  | 3    | kN/m <sup>2</sup> |  | 6,85 |     |  |  |  |          |      | 20,55          |              | 51,62        |
| 2 | Jord                                | 0,65 | kN/m <sup>2</sup> |  | 6,85 |     |  |  |  |          |      | 4,45           | 11,18        |              |
| 2 | Hulldekke HD265                     | 3,9  | kN/m <sup>2</sup> |  | 6,85 |     |  |  |  |          |      | 26,72          | 67,11        |              |
| 2 | Bjelke - limtre GL32h               | 5    | kN/m <sup>3</sup> |  | 0,2  | 0,3 |  |  |  |          |      | 0,30           | 0,75         |              |
| 2 | Aksialkraft fra takhagen            |      |                   |  |      |     |  |  |  |          |      |                | 79,05        | 51,62        |
| 2 | <b>Belastning på søyle i akse E</b> |      |                   |  |      |     |  |  |  |          |      |                | <b>39,52</b> | <b>25,81</b> |

For denne seksjonen er det kun gjort beregninger ned til andre etasje. Det antas at bjelker og søyler i første etasje er i samme dimensjon som beregninger for første etasjen i senere beregninger for andre seksjoner.

Utsnitt av plan i akse D – E og 5 – 8, etasje 3. til 7.

Dekkene ligger i nord-sør retning, dvs. fra D til E. Målene er påført tegningen under.

Nyttelast for området er kategori A;  $2,0 \text{ kN/m}^2$ .



Sjuende etasje – akse E5 – 8:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta      | Element                                  | Verdi | Enhet             | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |       |      |
|----------|--|-------|-------------------|--|-------|------|
|          |  |       |                   |  |       |      |
| 7        | Snølast på tak                           | 2,4   | kN/m <sup>2</sup> |  | 1,95  |      |
| 7        | Tak - Lett-tak                           | 0,43  | kN/m <sup>2</sup> |  | 1,95  |      |
| 7        | Bjelke - limtre GL32h                    | 5     | kN/m <sup>3</sup> |  | 0,115 | 0,27 |
| 7        | Last på søyle/vegg                       |       |                   |  |       |      |
| 7        | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. A - gulv | 2     | kN/m <sup>2</sup> |  | 1,95  |      |
| 7        | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C1       | 3     | kN/m <sup>2</sup> |  | 1,95  |      |
| 7        | Fasadevindu - energiglass 3. lags        | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |  |       | 3,01 |
| 7        | Vegg CLT                                 | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9  | 0,1   | 2,95 |
| <b>7</b> | <b>Aksialkraft fra etasje</b>            |       |                   |  |       |      |

| Akse     |              |                |          |              |                |          |      |                |          |              |                | α <sub>n</sub> |
|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|------|----------------|----------|--------------|----------------|----------------|
| 5        |              |                | 6        |              |                | 7        |      |                | 8        |              |                |                |
| 3,8      |              |                | 3,8      |              |                |          |      |                | 3,8      |              |                |                |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |                |
| 4,68     | 17,78        |                | 4,68     | 17,78        |                |          |      |                | 4,68     | 17,78        |                |                |
| 0,84     | 3,19         |                | 0,84     | 3,19         |                |          |      |                | 0,84     | 3,19         |                |                |
| 0,16     | 0,59         |                | 0,16     | 0,59         |                |          |      |                | 0,16     | 0,59         |                |                |
|          | 21,56        |                |          | 21,56        |                |          |      |                |          | 21,56        |                |                |
| 3,90     |              | 14,82          | 3,90     |              | 14,82          |          |      |                | 1,95     |              | 7,41           |                |
|          |              |                |          |              |                |          |      |                | 2,93     |              | 11,12          |                |
| 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                |          |      |                | 0,90     | 3,43         |                |                |
| 2,65     | 2,65         |                |          | 2,65         |                |          |      |                |          | 2,65         |                |                |
|          | <b>27,64</b> | <b>14,82</b>   |          | <b>27,64</b> | <b>14,82</b>   |          |      |                |          | <b>27,64</b> | <b>18,53</b>   |                |



Sjette etasje – akse E5 – 8:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                                  | Verdi | Enhet             | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|--|-------|-------------------|------------|--------------------|----------------------|
| 6   | Overført fra etasjen over                |       |                   |            |                    |                      |
| 6   | Dekke m/påstøp - betong                  | 25    | kN/m <sup>3</sup> |            | 1,95               | 0,05                 |
| 6   | Dekke m/påstøp - CLT                     | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> |            | 1,95               | 0,14                 |
| 6   | Bjelke - limtre GL32h                    | 5     | kN/m <sup>3</sup> |            | 0,14               | 0,27                 |
| 6   | Last på søyle/vegg                       |       |                   |            |                    |                      |
| 6   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. A - gulv | 2     | kN/m <sup>2</sup> |            | 1,95               |                      |
| 6   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C1       | 3     | kN/m <sup>2</sup> |            | 1,95               |                      |
| 6   | Fasadevindu - energiglass 3. lags        | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |            |                    | 3,01                 |
| 6   | Vegg CLT                                 | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9        | 0,1                | 2,95                 |
| 6   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>            |       |                   |            |                    |                      |

| Akse     |              |                |          |              |                |          |      |                |          |              |                | α <sub>n</sub> |
|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|------|----------------|----------|--------------|----------------|----------------|
| 5        |              |                | 6        |              |                | 7        |      |                | 8        |              |                |                |
| 3,8      |              |                | 3,8      |              |                |          |      |                | 3,8      |              |                |                |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |                |
|          | 27,64        | 14,82          |          | 27,64        | 14,82          |          |      |                |          | 27,64        | 18,53          |                |
| 2,44     | 9,26         |                | 2,44     | 9,26         |                |          |      |                | 2,44     | 9,26         |                |                |
| 1,26     | 4,78         |                | 1,26     | 4,78         |                |          |      |                | 1,26     | 4,78         |                |                |
| 0,19     | 0,72         |                | 0,19     | 0,72         |                |          |      |                | 0,19     | 0,72         |                |                |
|          | 42,41        | 14,82          |          | 42,41        | 14,82          |          |      |                |          | 42,41        | 18,53          |                |
| 3,9      |              | 14,82          | 3,9      |              | 14,82          |          |      |                | 1,95     |              | 7,41           |                |
|          |              |                |          |              |                |          |      |                | 2,93     |              | 11,12          |                |
| 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                |          |      |                | 0,90     | 3,43         |                |                |
|          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |          |      |                |          | 2,65         |                |                |
|          | <b>48,49</b> | <b>29,64</b>   |          | <b>48,49</b> | <b>29,64</b>   |          |      |                |          | <b>48,49</b> | <b>37,05</b>   |                |

Femte etasje – akse E5 – 8:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                                  | Verdi | Enhet             | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |      |      |
|-----|--|-------|-------------------|--|------|------|
|     |  |       |                   |  |      |      |
| 5   | Overført fra etasjen over                |       |                   |  |      |      |
| 5   | Dekke m/påstøp - betong                  | 25    | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 0,05 |      |
| 5   | Dekke m/påstøp - CLT                     | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 0,14 |      |
| 5   | Bjelke - limtre GL32h                    | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,14   | 0,27 |      |
| 5   | Last på søyle/vegg                       |       |                   |  |      |      |
| 5   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. A - gulv | 2     | kN/m <sup>2</sup> | 1,95   |      |      |
| 5   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C1       | 3     | kN/m <sup>2</sup> | 1,95   |      |      |
| 5   | Fasadevindu - energiglass 3. lags        | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |  | 3,01 |      |
| 5   | Vegg CLT                                 | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9  | 0,1  | 2,95 |
| 5   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>            |       |                   |  |      |      |

| Akse     |              |                |          |              |                |          |      |                |          |              |                | α <sub>n</sub> |
|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|------|----------------|----------|--------------|----------------|----------------|
| 5        |              |                | 6        |              |                | 7        |      |                | 8        |              |                |                |
| 3,8      |              |                | 3,8      |              |                |          |      |                | 3,8      |              |                |                |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |                |
|          | 48,49        | 29,64          |          | 48,49        | 29,64          |          |      |                |          | 48,49        | 37,05          |                |
| 2,44     | 9,26         |                | 2,44     | 9,26         |                |          |      |                | 2,44     | 9,26         |                |                |
| 1,26     | 4,78         |                | 1,26     | 4,78         |                |          |      |                | 1,26     | 4,78         |                |                |
| 0,19     | 0,72         |                | 0,19     | 0,72         |                |          |      |                | 0,19     | 0,72         |                |                |
|          | 63,25        | 29,64          |          | 63,25        | 29,64          |          |      |                |          | 63,25        | 37,05          |                |
| 3,9      |              | 14,82          | 3,9      |              | 14,82          |          |      |                | 1,95     |              | 7,41           |                |
|          |              |                |          |              |                |          |      |                | 2,93     |              | 11,12          |                |
| 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                |          |      |                | 0,90     | 3,43         |                |                |
|          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |          |      |                |          | 2,65         |                |                |
|          | <b>69,34</b> | <b>44,46</b>   |          | <b>69,34</b> | <b>44,46</b>   |          |      |                |          | <b>69,34</b> | <b>55,58</b>   |                |

Fjerde etasje – akse E5 – 8:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                                  | Verdi | Enhet             | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|--|-------|-------------------|------------|--------------------|----------------------|
| 4   | Overført fra etasjen over                |       |                   |            |                    |                      |
| 4   | Dekke m/påstøp - betong                  | 25    | kN/m <sup>3</sup> |            | 1,95               | 0,05                 |
| 4   | Dekke m/påstøp - CLT                     | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> |            | 1,95               | 0,14                 |
| 4   | Bjelke - limtre GL32h                    | 5     | kN/m <sup>3</sup> |            | 0,14               | 0,27                 |
| 4   | Etasjereduksjon n =                      | 3     |                   |            |                    |                      |
| 4   | Last på søyle/vegg                       |       |                   |            |                    |                      |
| 4   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. A - gulv | 2     | kN/m <sup>2</sup> |            | 1,95               |                      |
| 4   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C1       | 3     | kN/m <sup>2</sup> |            | 1,95               |                      |
| 4   | Fasadevindu - energiglass 3. lags        | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |            |                    | 3,01                 |
| 4   | Vegg CLT                                 | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9        | 0,1                | 2,95                 |
| 4   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>            |       |                   |            |                    |                      |

| Akse     |              |                |          |              |                |          |      |                |          |              |                |                |
|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|------|----------------|----------|--------------|----------------|----------------|
| 5        |              |                | 6        |              |                | 7        |      |                | 8        |              |                | α <sub>n</sub> |
| 3,8      |              |                | 3,8      |              |                |          |      |                | 3,8      |              |                |                |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |                |
|          | 69,34        | 44,46          |          | 69,34        | 44,46          |          |      |                |          | 69,34        | 55,58          |                |
| 2,44     | 9,26         |                | 2,44     | 9,26         |                |          |      |                | 2,44     | 9,26         |                |                |
| 1,26     | 4,78         |                | 1,26     | 4,78         |                |          |      |                | 1,26     | 4,78         |                |                |
| 0,19     | 0,72         |                | 0,19     | 0,72         |                |          |      |                | 0,19     | 0,72         |                |                |
|          |              | -4,45          |          |              | -4,45          |          |      |                |          |              | -5,56          | 0,9            |
|          | 84,10        | 40,01          |          | 84,10        | 40,01          |          |      |                |          | 84,10        | 50,02          |                |
| 3,9      |              | 14,82          | 3,9      |              | 14,82          |          |      |                | 1,95     |              | 7,41           |                |
|          |              |                |          |              |                |          |      |                | 2,93     |              | 11,12          |                |
| 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                |          |      |                | 0,90     | 3,43         |                |                |
|          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |          |      |                |          | 2,65         |                |                |
|          | <b>90,18</b> | <b>54,83</b>   |          | <b>90,18</b> | <b>54,83</b>   |          |      |                |          | <b>90,18</b> | <b>68,54</b>   |                |

Tredje etasje – akse E5 – 8:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta      | Element                           | Verdi | Enhet | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |      |      |
|----------|-----------------------------------|-------|-------|--|------|------|
|          |                                   |       |       |  |      |      |
| 3        | Overført fra etasjen over         |       |       |  |      |      |
| 3        | Fordeling av krefter              | 0     | 0     |  |      |      |
| 3        | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 | 1,95   | 0,05 |      |
| 3        | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 | 1,95   | 0,14 |      |
| 3        | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 | 0,25   | 0,55 |      |
| 3        | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 | 0,14   | 0,27 |      |
| 3        | Etasjereduksjon n =               | 4     |       |  |      |      |
| 3        | Last på søyle/vegg                |       |       |  |      |      |
| 3        | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 | 1,95   |      |      |
| 3        | Nyttelast qk - kat. C1            | 3     | kN/m2 | 1,95   |      |      |
| 3        | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2 |  | 3,01 |      |
| 3        | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3 | 3,9  | 0,1  | 2,95 |
| <b>3</b> | <b>Aksialkraft fra etasje</b>     |       |       |  |      |      |

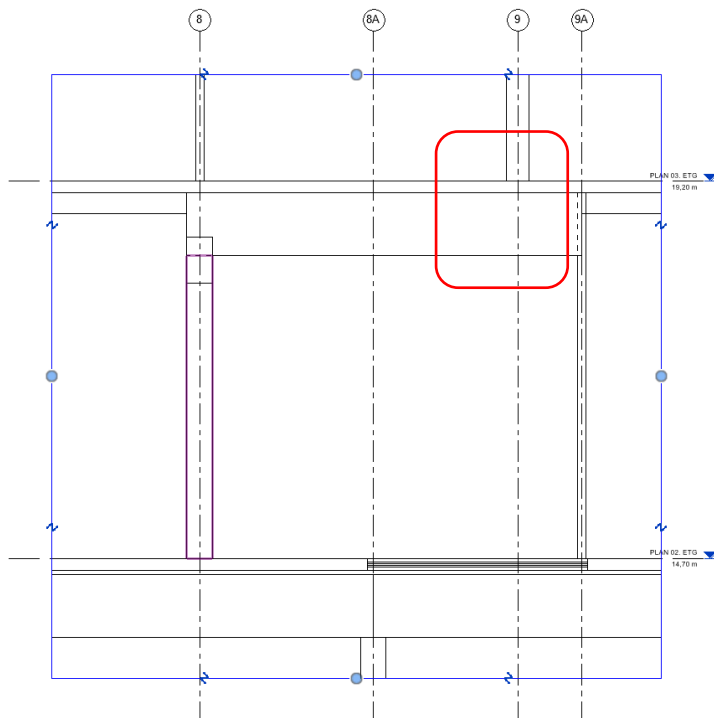
| Akse     |               |                |          |               |                |          |      |                |          |               |                | $\alpha_n$ |
|----------|---------------|----------------|----------|---------------|----------------|----------|------|----------------|----------|---------------|----------------|------------|
| 5        |               |                | 6        |               |                | 7        |      |                | 8        |               |                |            |
| 6,474    |               |                | 3,8      |               |                |          |      |                | 3,8      |               |                |            |
| Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> |            |
| [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           |            |
|          | 90,18         | 54,83          |          | 90,18         | 54,83          |          |      |                |          | 90,18         | 68,54          |            |
|          | 118,64        | 74,09          |          |               |                |          |      |                |          |               |                |            |
| 2,44     | 12,52         |                | 2,44     | 9,26          |                |          |      |                | 2,44     | 9,26          |                |            |
| 1,26     | 6,47          |                | 1,26     | 4,78          |                |          |      |                | 1,26     | 4,78          |                |            |
| 0,69     | 2,23          |                |          |               |                |          |      |                |          |               |                |            |
| 0,19     | 0,36          |                | 0,19     | 0,72          |                |          |      |                | 0,19     | 0,72          |                |            |
|          |               | -11,11         |          |               | -8,23          |          |      |                |          |               | -10,28         | 0,85       |
|          | 140,21        | 62,97          |          | 104,95        | 46,61          |          |      |                |          | 104,95        | 58,26          |            |
| 3,9      |               | 20,03          | 3,9      |               | 14,82          |          |      |                | 1,95     |               | 7,41           |            |
|          |               |                |          |               |                |          |      |                | 2,93     |               | 11,12          |            |
| 0,90     | 4,64          |                | 0,90     | 3,43          |                |          |      |                | 0,90     | 3,43          |                |            |
|          | 2,65          |                |          | 2,65          |                |          |      |                |          | 2,65          |                |            |
|          | <b>147,50</b> | <b>83,01</b>   |          | <b>111,03</b> | <b>61,43</b>   |          |      |                |          | <b>111,03</b> | <b>76,79</b>   |            |

### Andre etasje

Lasten fra tredje etasje i akse 9 fordeles ned på søylen i akse 8 og veggen i akse 9a i andre etter samme formler som nevnt tidligere.

Nyttelasten for hele andre etasje er satt til kategori C1:  $3,0 \text{ kN/m}^2$ .

### Snittegning



Andre etasje – akse E5 – 8:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta      | Element                       | Verdi | Enhet             | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |      |     |
|----------|-------------------------------|-------|-------------------|--|------|-----|
|          |                               |       |                   |  |      |     |
| 2        | Overført fra etasjen over     |       |                   |  |      |     |
| 2        | Fordeling av krefter          |       |                   |  |      |     |
| 2        | Dekke m/påstøp - betong       | 25    | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 0,05 |     |
| 2        | Dekke m/påstøp - CLT          | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 0,14 |     |
| 2        | Bjelke - limtre GL32h         | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,25   | 0,35 |     |
| 2        | Bjelke - limtre GL32h         | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,25   | 0,25 |     |
| 2        | Bjelke - limtre GL32h         | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,3  | 0,75 |     |
| 2        | Etasjereduksjon n =           | 5     |                   |  |      |     |
| 2        | Last fra takhagen             |       |                   |  |      |     |
| 2        | Last på søyle/vegg            |       |                   |  |      |     |
| 2        | Nyttelast qk - kat. C1        | 3     | kN/m <sup>2</sup> | 1,95   |      |     |
| 2        | Vindu - sikkerhetsglass       | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |  | 3,5  |     |
| 2        | Søyle - limtre GL32h          | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 4,11   | 0,3  | 0,3 |
| 2        | Søyle - limtre GL32h          | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 3,61   | 0,3  | 0,3 |
| <b>2</b> | <b>Aksialkraft fra etasje</b> |       |                   |  |      |     |

| Akse     |               |                |          |               |                |          |      |                |          |               |                | α <sub>n</sub> |
|----------|---------------|----------------|----------|---------------|----------------|----------|------|----------------|----------|---------------|----------------|----------------|
| 5        |               |                | 6        |               |                | 7        |      |                | 8        |               |                |                |
| 6,474    |               |                | 3,8      |               |                |          |      |                | 3,8      |               |                |                |
| Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           |                |
|          | 147,50        | 83,01          |          | 111,03        | 61,43          |          |      |                |          | 111,03        | 76,79          |                |
|          |               |                |          |               |                |          |      |                |          | 127,7         | 92,18          |                |
| 2,44     | 12,52         |                | 2,44     | 9,26          |                |          |      |                | 2,44     | 10,29         |                |                |
| 1,26     | 6,47          |                | 1,26     | 4,78          |                |          |      |                | 1,26     | 5,31          |                |                |
| 0,44     | 1,42          |                | 0,44     | 1,66          |                |          |      |                | 0,44     | 1,83          |                |                |
| 0,31     | 1,01          |                | 0,31     | 1,19          |                |          |      |                | 0,31     | 1,31          |                |                |
|          |               |                |          |               |                |          |      |                | 1,13     | 2,57          |                |                |
|          |               | -14,94         |          |               | -11,06         |          |      |                |          |               | -16,59         |                |
|          | 39,52         | 25,81          |          |               |                |          |      |                |          | 97,86         | 63,02          |                |
|          | 208,44        | 93,88          |          | 127,92        | 50,37          |          |      |                |          | 246,84        | 138,60         |                |
| 5,85     |               | 30,05          | 5,85     |               | 22,23          |          |      |                | 5,85     |               | 24,70          |                |
| 1,05     | 5,39          |                | 1,05     | 3,99          |                |          |      |                | 1,05     | 4,43          |                |                |
|          | 1,85          |                |          | 1,85          |                |          |      |                |          |               |                |                |
|          |               |                |          |               |                |          |      |                |          | 1,62          |                |                |
|          |               |                |          |               |                |          |      |                |          |               |                |                |
|          | <b>215,68</b> | <b>123,93</b>  |          | <b>133,76</b> | <b>72,60</b>   |          |      |                |          | <b>252,90</b> | <b>163,30</b>  |                |

Beregning av belastningen fra takhagen:

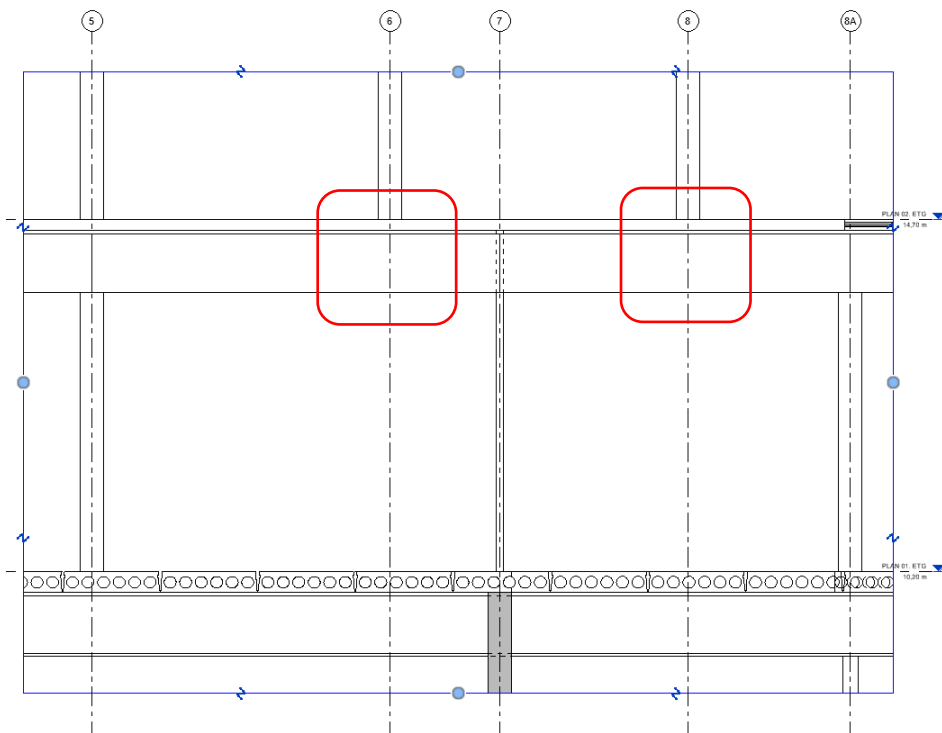
|   |                                     |  |      |                   |      |     |  |  |  | Akse     |              |                |  |     |          |              |                |        |
|---|-------------------------------------|--|------|-------------------|------|-----|--|--|--|----------|--------------|----------------|--|-----|----------|--------------|----------------|--------|
|   |                                     |  |      |                   |      |     |  |  |  | 5        |              |                |  |     |          | 8            |                |        |
|   |                                     |  |      |                   |      |     |  |  |  | 2,512    |              |                |  |     |          | 5,528        |                |        |
|   |                                     |  |      |                   |      |     |  |  |  | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |  |     | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |        |
|   |                                     |  |      |                   |      |     |  |  |  | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |  |     | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |        |
| 2 | Takhagen                            |  |      |                   |      |     |  |  |  |          |              |                |  |     |          |              |                |        |
| 2 | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C1  |  | 3    | kN/m <sup>2</sup> | 6,85 |     |  |  |  | 20,55    |              | 51,62          |  |     | 7,6      | 22,8         |                | 126,04 |
| 2 | Jord                                |  | 0,65 | kN/m <sup>2</sup> | 6,85 |     |  |  |  | 4,45     | 11,18        |                |  | 7,6 | 4,94     | 27,31        |                |        |
| 2 | Hulldekke HD265                     |  | 3,9  | kN/m <sup>2</sup> | 6,85 |     |  |  |  | 26,72    | 67,11        |                |  | 7,6 | 29,64    | 163,85       |                |        |
| 2 | Bjelke - limtre GL32h               |  | 5    | kN/m <sup>3</sup> | 0,2  | 0,3 |  |  |  | 0,30     | 0,75         |                |  | 0,3 | 0,55     | 0,83         | 4,56           |        |
| 2 | Aksialkraft fra takhagen            |  |      |                   |      |     |  |  |  |          | 79,05        | 51,62          |  |     |          | 195,72       | 126,04         |        |
| 2 | <b>Belastning på søyle i akse E</b> |  |      |                   |      |     |  |  |  |          | <b>39,52</b> | <b>25,81</b>   |  |     |          | <b>97,86</b> | <b>63,02</b>   |        |

### Første etasje

Lasten fra andre etasje i akse 6 fordeles ned på søylen i akse 5 og veggen i akse 7 og lasten i akse 8 fordeles ned på veggen i akse 7 og søylen i akse 8a i første etter samme formler som nevnt tidligere.

Nyttelasten for hele første etasjen er satt til kategori C5:  $5,0 \text{ kN/m}^2$ .

### Snittegning





Første etasje – akse E5 – 8:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta      | Element                            | Verdi | Enhet             | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |      |      |
|----------|------------------------------------|-------|-------------------|--|------|------|
| 1        | Overført fra etasjen over          |       |                   |  |      |      |
| 1        | Fordeling av krefter               |       |                   |  |      |      |
| 1        | Dekke m/påstøp - betong            | 25    | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 0,05 |      |
| 1        | Dekke m/påstøp - CLT               | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 0,14 |      |
| 1        | Bjelke - limtre GL32h              | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,3  | 0,75 |      |
| 1        | Etasjereduksjon n =                | 6     |                   |  |      |      |
| 1        | Last på søyle/vegg                 |       |                   |  |      |      |
| 1        | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C5 | 5     | kN/m <sup>2</sup> | 1,95   |      |      |
| 1        | Vegg CLT                           | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9  | 0,1  | 4,36 |
| 1        | Søyle - limtre GL32h               | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 3,61   | 0,3  | 0,35 |
| <b>1</b> | <b>Aksialkraft fra etasje</b>      |       |                   |  |      |      |

| Akse     |              |                |          |        |                |          |               |                |          |        |                |            |
|----------|--------------|----------------|----------|--------|----------------|----------|---------------|----------------|----------|--------|----------------|------------|
| 5        |              |                | 6        |        |                | 7        |               |                | 8        |        |                | $\alpha_n$ |
| 6,474    |              |                |          |        |                | 5,2      |               |                |          |        |                |            |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> |            |
| [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           |            |
|          | 215,68       | 123,93         |          | 133,76 | 72,60          |          |               |                |          | 252,90 | 163,30         |            |
|          | 251,7        | 143,47         |          |        |                |          | 214,96        | 128,74         |          |        |                |            |
| 2,44     | 14,23        |                |          |        |                | 2,44     | 11,79         |                |          |        |                |            |
| 1,26     | 7,35         |                |          |        |                | 1,26     | 6,09          |                |          |        |                |            |
| 1,13     | 6,57         |                |          |        |                | 1,13     | 5,44          |                |          |        |                |            |
|          |              | -28,69         |          |        |                |          |               | -25,75         |          |        |                | 0,8        |
|          | 279,8        | 114,78         |          |        |                |          | 238,27        | 102,99         |          |        |                |            |
| 9,75     |              | 56,91          |          |        |                | 9,75     |               | 48,25          |          |        |                |            |
|          |              |                |          |        |                |          | 3,92          |                |          |        |                |            |
|          | 1,90         |                |          |        |                |          |               |                |          |        |                |            |
|          | <b>281,7</b> | <b>171,69</b>  |          |        |                |          | <b>242,19</b> | <b>151,24</b>  |          |        |                |            |

Kjeller – akse E5 – 8:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

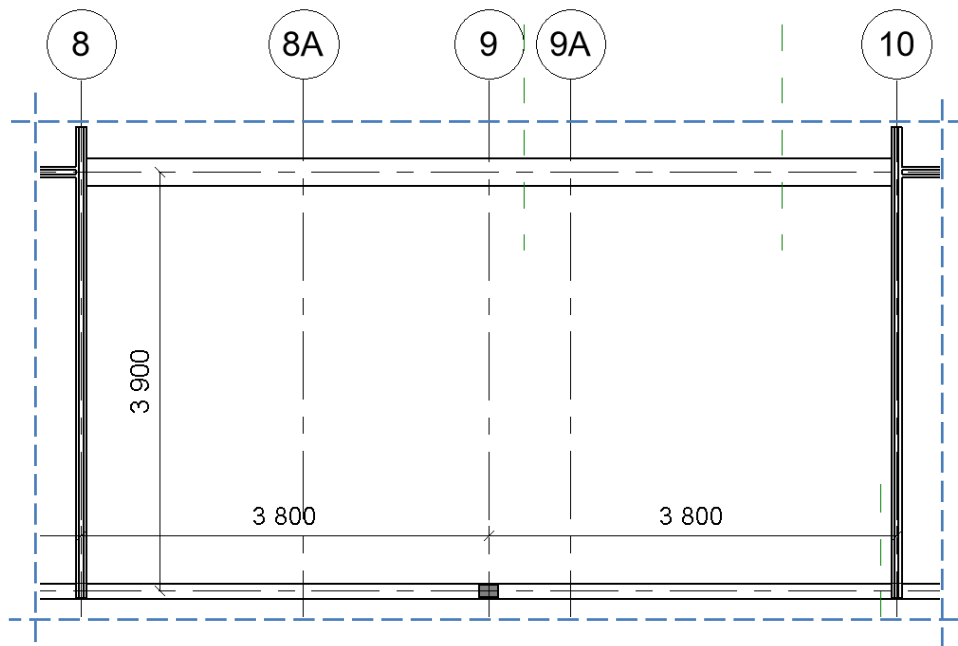
| Eta | Element                   | Verdi | Enhet             | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|---------------------------|-------|-------------------|------------|--------------------|----------------------|
| 0   | Overført fra etasjen over |       |                   |            |                    |                      |
| 0   | Fordeling av krefter      |       |                   |            |                    |                      |
| 0   | Dekke m/påstøp - betong   | 25    | kN/m <sup>3</sup> |            | 1,95               | 0,05                 |
| 0   | Hulldekke HD265           | 3,9   | kN/m <sup>2</sup> |            | 1,95               |                      |
| 0   | Etasjereduksjon n =       | 7     |                   |            |                    |                      |
| 0   | Last på søyle/vegg        |       |                   |            |                    |                      |

| Akse     |        |                |          |      |                |          |        |                |          |        |                |            |
|----------|--------|----------------|----------|------|----------------|----------|--------|----------------|----------|--------|----------------|------------|
| 5        |        |                | 6        |      |                | 7        |        |                | 8        |        |                | $\alpha_n$ |
|          |        |                |          |      |                | 11,674   |        |                |          |        |                |            |
| Egenvekt |        | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> | Egenvent |        | q <sub>k</sub> |            |
| [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           |            |
|          | 281,73 | 171,69         |          |      |                | 242,19   | 151,24 |                |          |        |                |            |
|          |        |                |          |      |                | 398,43   | 246,46 |                |          |        |                |            |
|          |        |                |          |      |                | 2,44     | 19,68  |                |          |        |                |            |
|          |        |                |          |      |                | 7,61     | 61,40  |                |          |        |                |            |
|          |        |                |          |      |                |          |        |                |          | -52,81 |                | 0,79       |
|          |        |                |          |      |                | 479,51   | 193,64 |                |          |        |                |            |

Utsnitt av plan i akse D – E og 8a – 10, etasje 3. til 7.

Dekkene ligger i nord-sør retning, dvs. fra D til E. Målene er påført tegningen under.

Nyttelast for området mellom akse 8 og 10 er kategori C1:  $3,0 \text{ kN/m}^2$ . Området er fellesområde, dvs. kjøkken og oppholdsrom for boligene i hver etasje.



Sjuende etasje – akse E8a – 10:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                           | Verdi | Enhet | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |       |      |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|--|-------|------|
|     |                                   |       |       |  |       |      |
| 7   | Snølast på tak                    | 2,4   | kN/m2 |  | 1,95  |      |
| 7   | Tak - Lett-tak                    | 0,43  | kN/m2 |  | 1,95  |      |
| 7   | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 |  | 0,115 | 0,27 |
| 7   | Last på søyle/vegg                |       |       |  |       |      |
| 7   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |  | 1,95  |      |
| 7   | Nyttelast qk - kat. C1            | 3     | kN/m2 |  | 1,95  |      |
| 7   | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2 |  |       | 3,01 |
| 7   | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3 | 3,9  | 0,1   | 2,95 |
| 7   | Søyle - limtre GL32h              | 5     | kN/m3 | 2,74   | 0,115 | 0,18 |
| 7   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>     |       |       |  |       |      |

| Akse     |      |                |          |              |                |          |      |                |          |              |                | $\alpha_n$ |
|----------|------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|------|----------------|----------|--------------|----------------|------------|
| 8a       |      | 9              |          |              | 9a             |          |      | 10             |          |              |                |            |
|          |      | 3,8            |          |              |                |          |      | 3,8            |          |              |                |            |
| Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |            |
| [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |            |
|          |      |                | 4,68     | 17,78        |                |          |      |                | 4,68     | 17,78        |                |            |
|          |      |                | 0,84     | 3,19         |                |          |      |                | 0,84     | 3,19         |                |            |
|          |      |                | 0,16     | 0,59         |                |          |      |                | 0,16     | 0,59         |                |            |
|          |      |                |          | 21,56        |                |          |      |                |          | 21,56        |                |            |
|          |      |                |          |              |                |          |      |                | 1,95     |              | 7,41           |            |
|          |      |                | 5,85     |              | 22,23          |          |      |                | 2,93     |              | 11,12          |            |
|          |      |                | 0,90     | 3,43         |                |          |      |                | 0,90     | 3,43         |                |            |
|          |      |                |          |              |                |          |      |                |          | 2,65         |                |            |
|          |      |                |          | 0,28         |                |          |      |                |          |              |                |            |
|          |      |                |          | <b>25,28</b> | <b>22,23</b>   |          |      |                |          | <b>27,64</b> | <b>18,53</b>   |            |

Sjette etasje – akse E8a – 10:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                           | Verdi | Enhet | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |      |      |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|--|------|------|
|     |                                   |       |       |  |      |      |
| 6   | Overført fra etasjen over         |       |       |  |      |      |
| 6   | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |  | 1,95 | 0,05 |
| 6   | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |  | 1,95 | 0,14 |
| 6   | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 |  | 0,14 | 0,27 |
| 6   | Last på søyle/vegg                |       |       |  |      |      |
| 6   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |  | 1,95 |      |
| 6   | Nyttelast qk - kat. C1            | 3     | kN/m2 |  | 1,95 |      |
| 6   | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2 |  |      | 3,01 |
| 6   | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3 | 3,9  | 0,1  | 2,95 |
| 6   | Søyle - limtre GL32h              | 5     | kN/m3 | 2,74   | 0,14 | 0,18 |
| 6   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>     |       |       |  |      |      |

| Akse     |      |                |          |              |                |          |      |                |          |              |                | $\alpha_n$ |
|----------|------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|------|----------------|----------|--------------|----------------|------------|
| 8a       |      | 9              |          | 9a           |                |          | 10   |                |          |              |                |            |
|          |      | 3,8            |          |              |                |          | 3,8  |                |          |              |                |            |
| Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |            |
| [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |            |
|          |      |                |          | 25,28        | 22,23          |          |      |                |          | 27,64        | 18,53          |            |
|          |      |                | 2,44     | 9,26         |                |          |      |                | 2,44     | 9,26         |                |            |
|          |      |                | 1,26     | 4,78         |                |          |      |                | 1,26     | 4,78         |                |            |
|          |      |                | 0,19     | 0,72         |                |          |      |                | 0,19     | 0,72         |                |            |
|          |      |                |          | 40,04        | 22,23          |          |      |                |          | 42,41        | 18,53          |            |
|          |      |                |          |              |                |          |      |                | 1,95     |              | 7,41           |            |
|          |      |                | 5,85     |              | 22,23          |          |      |                | 2,93     |              | 11,12          |            |
|          |      |                | 0,90     | 3,43         |                |          |      |                | 0,90     | 3,43         |                |            |
|          |      |                |          |              |                |          |      |                |          | 2,65         |                |            |
|          |      |                |          | 0,35         |                |          |      |                |          |              |                |            |
|          |      |                |          | <b>43,81</b> | <b>44,46</b>   |          |      |                |          | <b>48,49</b> | <b>37,05</b>   |            |

Femte etasje – akse E8a – 10:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                           | Verdi | Enhhet | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |      |      |
|-----|-----------------------------------|-------|--------|--|------|------|
|     |                                   |       |        |  |      |      |
| 5   | Overført fra etasjen over         |       |        |  |      |      |
| 5   | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3  |  | 1,95 | 0,05 |
| 5   | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3  |  | 1,95 | 0,14 |
| 5   | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3  |  | 0,14 | 0,27 |
| 5   | Last på søyle/vegg                |       |        |  |      |      |
| 5   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2  |  | 1,95 |      |
| 5   | Nyttelast qk - kat. C1            | 3     | kN/m2  |  | 1,95 |      |
| 5   | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2  |  |      | 3,01 |
| 5   | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3  | 3,9  | 0,1  | 2,95 |
| 5   | Søyle - limtre GL32h              | 5     | kN/m3  | 2,74   | 0,14 | 0,18 |
| 5   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>     |       |        |  |      |      |

| Akse     |      |                |        |              |              |                |      |          |        |                |              | $\alpha_n$ |
|----------|------|----------------|--------|--------------|--------------|----------------|------|----------|--------|----------------|--------------|------------|
| 8a       |      | 9              |        |              | 9a           |                |      | 10       |        |                |              |            |
|          |      | 3,8            |        |              |              |                |      | 3,8      |        |                |              |            |
| Egenvekt |      | q <sub>k</sub> |        | Egenvekt     |              | q <sub>k</sub> |      | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> |              |            |
| [kN/m]   | [kN] | [kN]           | [kN/m] | [kN]         | [kN]         | [kN/m]         | [kN] | [kN]     | [kN/m] | [kN]           | [kN]         |            |
|          |      |                |        | 43,81        | 44,46        |                |      |          |        | 48,49          | 37,05        |            |
|          |      |                | 2,44   | 9,26         |              |                |      |          | 2,44   | 9,26           |              |            |
|          |      |                | 1,26   | 4,78         |              |                |      |          | 1,26   | 4,78           |              |            |
|          |      |                | 0,19   | 0,72         |              |                |      |          | 0,19   | 0,72           |              |            |
|          |      |                |        | 58,58        | 44,46        |                |      |          |        | 63,25          | 37,05        |            |
|          |      |                |        |              |              |                |      |          | 1,95   |                | 7,41         |            |
|          |      |                | 5,85   |              | 22,23        |                |      |          | 2,93   |                | 11,12        |            |
|          |      |                | 0,90   | 3,43         |              |                |      |          | 0,90   | 3,43           |              |            |
|          |      |                |        |              |              |                |      |          |        | 2,65           |              |            |
|          |      |                |        | 0,35         |              |                |      |          |        |                |              |            |
|          |      |                |        | <b>62,35</b> | <b>66,69</b> |                |      |          |        | <b>69,34</b>   | <b>55,58</b> |            |

Fjerde etasje – akse E8a – 10:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                           | Verdi | Enhet | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|------------|--------------------|----------------------|
| 4   | Overført fra etasjen over         |       |       |            |                    |                      |
| 4   | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |            | 1,95               | 0,05                 |
| 4   | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |            | 1,95               | 0,14                 |
| 4   | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 |            | 0,14               | 0,27                 |
| 4   | Etasjereduksjon n =               | 3     |       |            |                    |                      |
| 4   | Last på søyle/vegg                |       |       |            |                    |                      |
| 4   | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |            | 1,95               |                      |
| 4   | Nyttelast qk - kat. C1            | 3     | kN/m2 |            | 1,95               |                      |
| 4   | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2 |            |                    | 3,01                 |
| 4   | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3 | 3,9        | 0,1                | 2,95                 |
| 4   | Søyle - limtre GL32h              | 5     | kN/m3 | 2,74       | 0,14               | 0,225                |
| 4   | Aksialkraft fra etasje            |       |       |            |                    |                      |

| Akse     |      |                |        |              |              |                |      |          |        |                |              |            |
|----------|------|----------------|--------|--------------|--------------|----------------|------|----------|--------|----------------|--------------|------------|
| 8a       |      | 9              |        |              |              | 9a             |      |          | 10     |                |              | $\alpha_n$ |
|          |      | 3,8            |        |              |              |                |      |          | 3,8    |                |              |            |
| Egenvekt |      | q <sub>k</sub> |        | Egenvekt     |              | q <sub>k</sub> |      | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> |              |            |
| [kN/m]   | [kN] | [kN]           | [kN/m] | [kN]         | [kN]         | [kN/m]         | [kN] | [kN]     | [kN/m] | [kN]           | [kN]         |            |
|          |      |                |        | 62,35        | 66,69        |                |      |          |        | 69,34          | 55,58        |            |
|          |      |                | 2,44   | 9,26         |              |                |      |          | 2,44   | 9,26           |              |            |
|          |      |                | 1,26   | 4,78         |              |                |      |          | 1,26   | 4,78           |              |            |
|          |      |                | 0,19   | 0,72         |              |                |      |          | 0,19   | 0,72           |              |            |
|          |      |                |        |              | -6,67        |                |      |          |        |                | -5,558       | 0,9        |
|          |      |                |        | 77,12        | 60,02        |                |      |          |        | 84,10          | 50,02        |            |
|          |      |                |        |              |              |                |      |          | 1,95   |                | 7,41         |            |
|          |      |                | 5,85   |              | 22,23        |                |      |          | 2,93   |                | 11,12        |            |
|          |      |                | 0,90   | 3,43         |              |                |      |          | 0,90   | 3,43           |              |            |
|          |      |                |        |              |              |                |      |          |        | 2,65           |              |            |
|          |      |                |        | 0,43         |              |                |      |          |        |                |              |            |
|          |      |                |        | <b>80,98</b> | <b>82,25</b> |                |      |          |        | <b>90,18</b>   | <b>68,54</b> |            |

Tredje etasje – akse E8a – 10:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta      | Element                           | Verdi | Enhet | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|----------|-----------------------------------|-------|-------|------------|--------------------|----------------------|
| 3        | Overført fra etasjen over         |       |       |            |                    |                      |
| 3        | Dekke m/påstøp - betong           | 25    | kN/m3 |            | 1,95               | 0,05                 |
| 3        | Dekke m/påstøp - CLT              | 4,61  | kN/m3 |            | 1,95               | 0,14                 |
| 3        | Bjelke - limtre GL32h             | 5     | kN/m3 |            | 0,14               | 0,27                 |
| 3        | Etasjereduksjon n =               | 4     |       |            |                    |                      |
| 3        | Last på søyle/vegg                |       |       |            |                    |                      |
| 3        | Nyttelast qk - kat. A - gulv      | 2     | kN/m2 |            | 1,95               |                      |
| 3        | Nyttelast qk - kat. C1            | 3     | kN/m2 |            | 1,95               |                      |
| 3        | Fasadevindu - energiglass 3. lags | 0,3   | kN/m2 |            |                    | 3,01                 |
| 3        | Vegg CLT                          | 4,61  | kN/m3 | 3,9        | 0,1                | 2,95                 |
| 3        | Søyle - limtre GL32h              | 5     | kN/m3 | 2,74       | 0,14               | 0,27                 |
| <b>3</b> | <b>Aksialkraft fra etasje</b>     |       |       |            |                    |                      |

| Akse     |      |                |        |              |              |                |      |          |        |                |              |            |
|----------|------|----------------|--------|--------------|--------------|----------------|------|----------|--------|----------------|--------------|------------|
| 8a       |      | 9              |        |              |              | 9a             |      |          | 10     |                |              | $\alpha_n$ |
|          |      | 3,8            |        |              |              |                |      |          | 3,8    |                |              |            |
| Egenvekt |      | q <sub>k</sub> |        | Egenvekt     |              | q <sub>k</sub> |      | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> |              |            |
| [kN/m]   | [kN] | [kN]           | [kN/m] | [kN]         | [kN]         | [kN/m]         | [kN] | [kN]     | [kN/m] | [kN]           | [kN]         |            |
|          |      |                |        | 80,98        | 82,25        |                |      |          |        | 90,18          | 68,54        |            |
|          |      |                | 2,44   | 9,26         |              |                |      |          | 2,44   | 9,26           |              |            |
|          |      |                | 1,26   | 4,78         |              |                |      |          | 1,26   | 4,78           |              |            |
|          |      |                | 0,19   | 0,72         |              |                |      |          | 0,19   | 0,72           |              |            |
|          |      |                |        |              | -12,34       |                |      |          |        |                | -10,28       | 0,85       |
|          |      |                |        | 95,74        | 69,91        |                |      |          |        | 104,95         | 58,26        |            |
|          |      |                |        |              |              |                |      |          | 1,95   |                | 7,41         |            |
|          |      |                | 5,85   |              | 22,23        |                |      |          | 2,93   |                | 11,12        |            |
|          |      |                | 0,90   | 3,43         |              |                |      |          | 0,90   | 3,43           |              |            |
|          |      |                |        |              |              |                |      |          |        | 2,65           |              |            |
|          |      |                |        | 0,52         |              |                |      |          |        |                |              |            |
|          |      |                |        | <b>99,69</b> | <b>92,14</b> |                |      |          |        | <b>111,03</b>  | <b>76,79</b> |            |

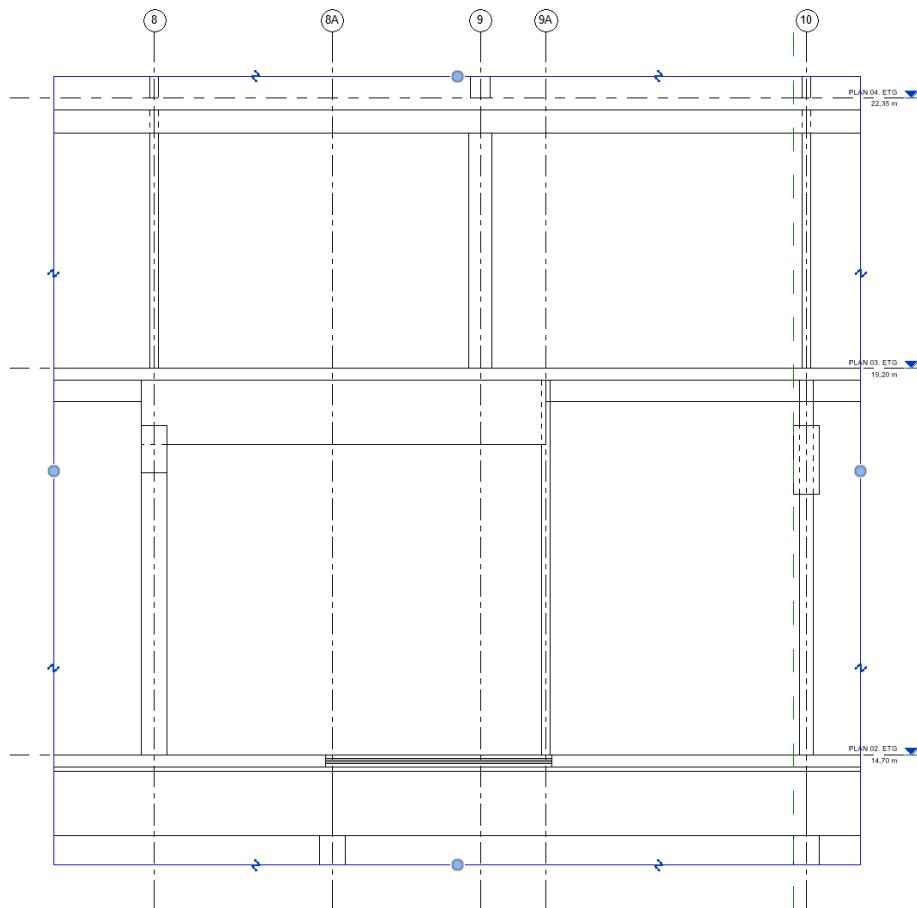


### Andre etasje

Lasten fra tredje etasje i akse 9 fordeles ned på søylen i akse 8 og vegg i akse 9a etter samme formler som nevnt tidligere.

Nyttelasten for hele andre etasjen er satt til kategori C1:  $3,0 \text{ kN/m}^2$ .

### Snittegning



Andre etasje – akse E8a – 10:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                            | Verdi | Enhet             | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|------------------------------------|-------|-------------------|------------|--------------------|----------------------|
| 2   | Overført fra etasjen over          |       |                   |            |                    |                      |
| 2   | Fordeling av krefter               |       |                   |            |                    |                      |
| 2   | Dekke m/påstøp - betong            | 25    | kN/m <sup>3</sup> | 1,95       | 0,05               |                      |
| 2   | Dekke m/påstøp - CLT               | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 1,95       | 0,14               |                      |
| 2   | Bjelke - limtre GL32h              | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,25       | 0,25               |                      |
| 2   | Bjelke - limtre GL32h              | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,3        | 0,75               |                      |
| 2   | Etasjereduksjon n =                | 5     |                   |            |                    |                      |
| 2   | Last fra takhagen                  |       |                   |            |                    |                      |
| 2   | Last på søyle/vegg                 |       |                   |            |                    |                      |
| 2   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C1 | 3     | kN/m <sup>2</sup> | 1,95       |                    |                      |
| 2   | Vindu - sikkerhetsglass            | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |            |                    | 3,5                  |
| 2   | Vegg CLT                           | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9        | 0,1                | 4,36                 |
| 2   | Aksialkraft fra etasje             |       |                   |            |                    |                      |

| Akse     |      |                |          |       |                |               |              |                |          |               |                |                |
|----------|------|----------------|----------|-------|----------------|---------------|--------------|----------------|----------|---------------|----------------|----------------|
| 8a       |      | 9              |          | 9a    |                |               | 10           |                |          |               |                | α <sub>n</sub> |
|          |      |                |          | 4,562 |                |               | 3,038        |                |          |               |                |                |
| Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |       | q <sub>k</sub> | Egenvekt      |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]  | [Kn]           | [kN/m]        | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           |                |
|          |      |                |          | 99,69 | 92,14          |               |              |                |          | 111,03        | 76,79          |                |
|          |      |                |          |       |                | 83,04         | 76,75        |                |          | 111,03        | 76,79          |                |
|          |      |                |          |       |                | 2,44          | 9,26         |                | 2,44     | 8,33          |                |                |
|          |      |                |          |       |                | 1,26          | 4,78         |                | 1,26     | 4,30          |                |                |
|          |      |                |          |       |                | 0,31          | 0,47         |                | 0,31     | 1,07          |                |                |
|          |      |                |          |       |                | 1,13          | 2,57         |                |          |               |                |                |
|          |      |                |          |       |                |               |              | -13,82         |          |               | -13,82         | 0,82           |
|          |      |                |          |       |                |               |              |                |          | 152,87        | 97,41          |                |
|          |      |                |          |       |                |               | 100,13       | 62,94          |          | 277,60        | 160,38         |                |
|          |      |                |          |       |                | 5,85          |              | 22,23          | 5,85     |               | 20,00          |                |
|          |      |                |          |       |                | 1,05          | 3,99         |                | 1,05     | 3,59          |                |                |
|          |      |                |          |       |                |               | 3,92         |                |          | 3,92          |                |                |
|          |      |                |          |       |                | <b>108,04</b> | <b>85,17</b> |                |          | <b>285,11</b> | <b>180,38</b>  |                |

Beregning av belastningen fra takhagen:

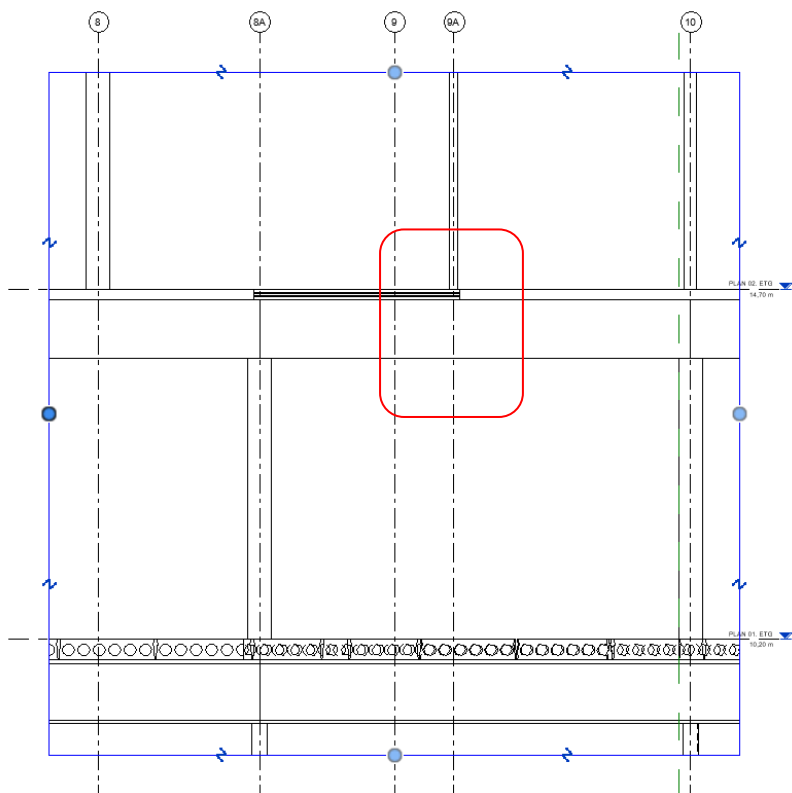
|                 |                                     |      |                   |     |     |  |  |  |  |  |  |  | <b>Akse</b> |      |                |               |              |
|-----------------|-------------------------------------|------|-------------------|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|-------------|------|----------------|---------------|--------------|
|                 |                                     |      |                   |     |     |  |  |  |  |  |  |  | <b>10</b>   |      |                |               |              |
|                 |                                     |      |                   |     |     |  |  |  |  |  |  |  | 8,545       |      |                |               |              |
|                 |                                     |      |                   |     |     |  |  |  |  |  |  |  | Egenvekt    |      | q <sub>k</sub> |               |              |
| <b>Takhagen</b> |                                     |      |                   |     |     |  |  |  |  |  |  |  | [kN/m]      | [kN] | [Kn]           |               |              |
| 2               | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C1  | 3    | kN/m <sup>2</sup> | 7,6 |     |  |  |  |  |  |  |  |             |      | 22,8           |               | 194,83       |
| 2               | Jord                                | 0,65 | kN/m <sup>2</sup> | 7,6 |     |  |  |  |  |  |  |  |             |      | 4,94           | 42,21         |              |
| 2               | Hulldekke HD265                     | 3,9  | kN/m <sup>2</sup> | 7,6 |     |  |  |  |  |  |  |  |             |      | 29,64          | 253,27        |              |
| 2               | Bjelke - limtre GL32h               | 5    | kN/m <sup>3</sup> | 0,3 | 0,8 |  |  |  |  |  |  |  |             |      | 1,20           | 10,25         |              |
| 2               | Aksialkraft fra takhagen            |      |                   |     |     |  |  |  |  |  |  |  |             |      |                | 305,74        | 194,83       |
| 2               | <b>Belastning på søyle i akse E</b> |      |                   |     |     |  |  |  |  |  |  |  |             |      |                | <b>152,87</b> | <b>97,41</b> |

### Første etasje

Lasten fra andre etasje i akse 9a fordeles ned på søylen i akse 8a og i akse 10 etter samme formler som nevnt tidligere.

Nyttelasten for hele første etasjen er satt til kategori C5: 5,0 kN/m<sup>2</sup>.

### Snittegning



Første etasje – akse E8a – 10:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                            | Verdi | Enhet             | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |      |      |
|-----|------------------------------------|-------|-------------------|--|------|------|
| 1   | Overført fra etasjen over          |       |                   |  |      |      |
| 1   | Fordeling av krefter               |       |                   |  |      |      |
| 1   | Dekke m/påstøp - betong            | 25    | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 0,05 |      |
| 1   | Dekke m/påstøp - CLT               | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 0,14 |      |
| 1   | Bjelke - limtre GL32h              | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,3  | 0,75 |      |
| 1   | Etasjereduksjon n =                | 6     |                   |  |      |      |
| 1   | Last på søyle/vegg                 |       |                   |  |      |      |
| 1   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C5 | 5     | kN/m <sup>2</sup> | 1,95   |      |      |
| 1   | Vegg CLT                           | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9  | 0,1  | 4,36 |
| 1   | Søyle - limtre GL32h               | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 3,61   | 0,3  | 0,3  |
| 1   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>      |       |                   |  |      |      |

| Akse     |               |                |          |      |                |          |        |                |          |               |                |     |
|----------|---------------|----------------|----------|------|----------------|----------|--------|----------------|----------|---------------|----------------|-----|
| 8a       |               | 9              |          |      | 9a             |          |        | 10             |          |               | α <sub>n</sub> |     |
| 4,473    |               |                |          |      |                |          |        | 5,527          |          |               |                |     |
| Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> |     |
| [kN/m]   | [kN]          | [kN]           | [kN/m]   | [kN] | [kN]           | [kN/m]   | [kN]   | [kN]           | [kN/m]   | [kN]          | [kN]           |     |
|          |               |                |          |      |                |          | 108,04 | 85,17          |          | 285,11        | 180,38         |     |
|          | 195,08        | 134,43         |          |      |                |          |        |                |          | 333,77        | 218,73         |     |
| 2,44     | 12,19         |                |          |      |                |          |        |                | 2,44     | 11,37         |                |     |
| 1,26     | 6,29          |                |          |      |                |          |        |                | 1,26     | 5,87          |                |     |
| 1,13     | 5,63          |                |          |      |                |          |        |                | 1,13     | 5,25          |                |     |
|          |               | -26,89         |          |      |                |          |        |                |          |               | -43,75         | 0,8 |
|          | 219,18        | 107,55         |          |      |                |          |        |                |          | 356,25        | 174,99         |     |
| 9,75     |               | 48,75          |          |      |                |          |        |                | 9,75     |               | 45,47          |     |
|          | 1,62          |                |          |      |                |          |        |                |          | 1,62          |                |     |
|          | <b>220,81</b> | <b>156,30</b>  |          |      |                |          |        |                |          | <b>357,87</b> | <b>220,46</b>  |     |

Kjeller – akse E8a – 10:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

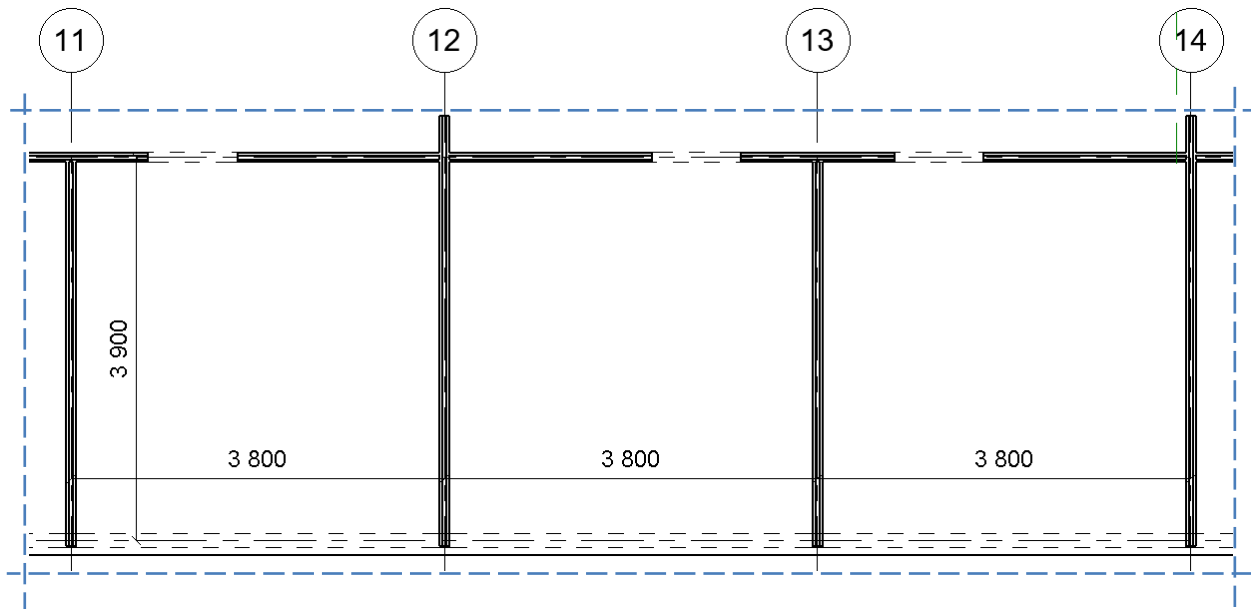
| Eta | Element                   | Verdi | Enhet             | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |
|-----|---------------------------|-------|-------------------|--|
| 0   | Overført fra etasjen over |       |                   |  |
| 0   | Fordeling av krefter      |       |                   |  |
| 0   | Dekke m/påstøp - betong   | 25    | kN/m <sup>3</sup> | 1,95 0,05  |
| 0   | Hulldekke HD265           | 3,9   | kN/m <sup>2</sup> | 1,95   |
| 0   | Bjelke – HEM800           | 3,01  | kN/m              |  |
| 0   | Etasjereduksjon n =       | 7     |                   |  |
| 0   | Last på søyle/vegg        |       |                   |  |

| Akse     |        |                |          |      |                |          |      |                |          |        |                |            |
|----------|--------|----------------|----------|------|----------------|----------|------|----------------|----------|--------|----------------|------------|
| 8a       |        |                | 9        |      |                | 9a       |      |                | 10       |        |                | $\alpha_n$ |
| 4,473    |        |                |          |      |                |          |      |                | 5,527    |        |                |            |
| Egenvekt |        | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> |            |
| [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           |            |
|          | 220,81 | 156,30         |          |      |                |          |      |                |          | 357,87 | 220,46         |            |
|          | 220,81 | 156,30         |          |      |                |          |      |                |          | 716,48 | 431,66         |            |
| 2,44     | 12,19  |                |          |      |                |          |      |                | 2,44     | 25,26  |                |            |
| 7,61     | 38,03  |                |          |      |                |          |      |                | 7,61     | 78,81  |                |            |
| 3,01     | 8,32   |                |          |      |                |          |      |                | 3,01     | 31,19  |                |            |
|          |        | -33,49         |          |      |                |          |      |                |          |        | -92,50         | 0,79       |
|          | 279,34 | 122,80         |          |      |                |          |      |                |          | 851,75 | 339,16         |            |

Utsnitt av plan i akse D – E og 11 – 14, etasje 3. til 7.

Dekkene ligger i nord-sør retning, dvs. fra D til E. Målene er påført tegningen under.

Nyttelast for området er kategori A;  $2,0 \text{ kN/m}^2$ .



Sjuende etasje – akse E11 – 14:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                                  | Verdi | Enhet             | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |       |      |
|-----|--|-------|-------------------|--|-------|------|
|     |  |       |                   |  |       |      |
| 7   | Snølast på tak                           | 2,4   | kN/m <sup>2</sup> |  | 1,95  |      |
| 7   | Tak - Lett-tak                           | 0,43  | kN/m <sup>2</sup> |  | 1,95  |      |
| 7   | Bjelke - limtre GL32h                    | 5     | kN/m <sup>3</sup> |  | 0,115 | 0,27 |
| 7   | Last på søyle/vegg                       |       |                   |  |       |      |
| 7   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. A - gulv | 2     | kN/m <sup>2</sup> |  | 1,95  |      |
| 7   | Fasadevindu - energiglass 3. lags        | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |  |       | 3,01 |
| 7   | Vegg CLT                                 | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9  | 0,1   | 2,95 |
| 7   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>            |       |                   |  |       |      |

| Akse     |              |                |          |              |                |          |              |                |          |              |                | α <sub>n</sub> |
|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------------|
| 11       |              |                | 12       |              |                | 13       |              |                | 14       |              |                |                |
| 3,8      |              |                | 3,8      |              |                | 3,8      |              |                | 3,8      |              |                |                |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |                |
| 4,68     | 17,78        |                | 4,68     | 17,78        |                | 4,68     | 17,78        |                | 4,68     | 17,78        |                |                |
| 0,84     | 3,19         |                | 0,84     | 3,19         |                | 0,84     | 3,19         |                | 0,84     | 3,19         |                |                |
| 0,16     | 0,59         |                | 0,16     | 0,59         |                | 0,16     | 0,59         |                | 0,16     | 0,59         |                |                |
|          | 21,6         |                |          | 21,6         |                |          | 21,56        |                |          | 21,56        |                |                |
| 3,90     |              | 14,8           | 3,90     |              | 14,8           | 3,90     |              | 14,8           | 3,90     |              | 14,8           |                |
| 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                |                |
|          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |                |
|          | <b>27,64</b> | <b>14,8</b>    |          | <b>27,64</b> | <b>14,8</b>    |          | <b>27,64</b> | <b>14,8</b>    |          | <b>27,64</b> | <b>14,8</b>    |                |



Sjette etasje – akse E11 – 14:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                                  | Verdi | Enhet             | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |      |      |
|-----|--|-------|-------------------|--|------|------|
| 6   | Overført fra etasjen over                |       |                   |  |      |      |
| 6   | Dekke m/påstøp - betong                  | 25    | kN/m <sup>3</sup> |  | 1,95 | 0,05 |
| 6   | Dekke m/påstøp - CLT                     | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> |  | 1,95 | 0,14 |
| 6   | Bjelke - limtre GL32h                    | 5     | kN/m <sup>3</sup> |  | 0,14 | 0,27 |
| 6   | Last på søyle/vegg                       |       |                   |  |      |      |
| 6   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. A - gulv | 2     | kN/m <sup>2</sup> |  | 1,95 |      |
| 6   | Fasadevindu - energiglass 3. lags        | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |  |      | 3,01 |
| 6   | Vegg CLT                                 | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9  | 0,1  | 2,95 |
| 6   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>            |       |                   |  |      |      |

| Akse     |              |                |          |              |                |          |              |                |          |              |                |                |
|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------------|
| 11       |              |                | 12       |              |                | 13       |              |                | 14       |              |                | α <sub>n</sub> |
| 3,8      |              |                | 3,8      |              |                | 3,8      |              |                | 3,8      |              |                |                |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |                |
|          | 27,64        | 14,82          |          | 27,64        | 14,82          |          | 27,64        | 14,82          |          | 27,64        | 14,82          |                |
| 2,44     | 9,26         |                | 2,44     | 9,26         |                | 2,44     | 9,26         |                | 2,44     | 9,26         |                |                |
| 1,26     | 4,78         |                | 1,26     | 4,78         |                | 1,26     | 4,78         |                | 1,26     | 4,78         |                |                |
| 0,19     | 0,72         |                | 0,19     | 0,72         |                | 0,19     | 0,72         |                | 0,19     | 0,72         |                |                |
|          | 42,41        | 14,82          |          | 42,41        | 14,82          |          | 42,41        | 14,82          |          | 42,41        | 14,82          |                |
| 3,90     |              | 14,82          | 3,90     |              | 14,82          | 3,90     |              | 14,82          | 3,90     |              | 14,82          |                |
| 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                |                |
|          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |                |
|          | <b>48,49</b> | <b>29,64</b>   |          | <b>48,49</b> | <b>29,64</b>   |          | <b>48,49</b> | <b>29,64</b>   |          | <b>48,49</b> | <b>29,64</b>   |                |

Femte etasje – akse E11 – 14:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                                  | Verdi | Enhet             | x = lengde<br>y = bredde / dybde<br>z = høyde / tykkelse |      |      |
|-----|--|-------|-------------------|--|------|------|
|     |  |       |                   |  |      |      |
| 5   | Overført fra etasjen over                |       |                   |  |      |      |
| 5   | Dekke m/påstøp - betong                  | 25    | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 0,05 |      |
| 5   | Dekke m/påstøp - CLT                     | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 1,95   | 0,14 |      |
| 5   | Bjelke - limtre GL32h                    | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,14   | 0,27 |      |
| 5   | Last på søyle/vegg                       |       |                   |  |      |      |
| 5   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. A - gulv | 2     | kN/m <sup>2</sup> | 1,95   |      |      |
| 5   | Fasadevindu - energiglass 3. lags        | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |  | 3,01 |      |
| 5   | Vegg CLT                                 | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9  | 0,1  | 2,95 |
| 5   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>            |       |                   |  |      |      |

| Akse     |              |                |          |              |                |          |              |                |          |              |                | α <sub>n</sub> |
|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------------|
| 11       |              |                | 12       |              |                | 13       |              |                | 14       |              |                |                |
| 3,8      |              |                | 3,8      |              |                | 3,8      |              |                | 3,8      |              |                |                |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> | Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]         | [Kn]           |                |
|          | 48,49        | 29,64          |          | 48,49        | 29,64          |          | 48,49        | 29,64          |          | 48,49        | 29,64          |                |
| 2,44     | 9,26         |                | 2,44     | 9,26         |                | 2,44     | 9,26         |                | 2,44     | 9,26         |                |                |
| 1,26     | 4,78         |                | 1,26     | 4,78         |                | 1,26     | 4,78         |                | 1,26     | 4,78         |                |                |
| 0,19     | 0,72         |                | 0,19     | 0,72         |                | 0,19     | 0,72         |                | 0,19     | 0,72         |                |                |
|          | 63,25        | 29,64          |          | 63,25        | 29,64          |          | 63,25        | 29,64          |          | 63,25        | 29,64          |                |
| 3,90     |              | 14,82          | 3,90     |              | 14,82          | 3,90     |              | 14,82          | 3,90     |              | 14,82          |                |
| 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                | 0,90     | 3,43         |                |                |
|          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |          | 2,65         |                |                |
|          | <b>69,34</b> | <b>44,46</b>   |          | <b>69,34</b> | <b>44,46</b>   |          | <b>69,34</b> | <b>44,46</b>   |          | <b>69,34</b> | <b>44,46</b>   |                |

Fjerde etasje – akse E11 – 14:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                                  | Verdi | Enhet             | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|--|-------|-------------------|------------|--------------------|----------------------|
| 4   | Overført fra etasjen over                |       |                   |            |                    |                      |
| 4   | Dekke m/påstøp - betong                  | 25    | kN/m <sup>3</sup> | 1,95       | 0,05               |                      |
| 4   | Dekke m/påstøp - CLT                     | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 1,95       | 0,14               |                      |
| 4   | Bjelke - limtre GL32h                    | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,14       | 0,27               |                      |
| 4   | Etasjereduksjon n =                      | 3     |                   |            |                    |                      |
| 4   | Last på søyle/vegg                       |       |                   |            |                    |                      |
| 4   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. A - gulv | 2     | kN/m <sup>2</sup> | 1,95       |                    |                      |
| 4   | Fasadevindu - energiglass 3. lags        | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |            | 3,01               |                      |
| 4   | Vegg CLT                                 | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9        | 0,1                | 2,95                 |
| 4   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>            |       |                   |            |                    |                      |

| Akse     |              |                |        |              |              |                |              |              |        |                |              |                |
|----------|--------------|----------------|--------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------|----------------|--------------|----------------|
| 11       |              | 12             |        | 13           |              | 14             |              |              |        |                |              | α <sub>n</sub> |
| 3,8      |              | 3,8            |        | 3,8          |              | 3,8            |              |              |        |                |              |                |
| Egenvekt |              | q <sub>k</sub> |        | Egenvekt     |              | q <sub>k</sub> |              | Egenvekt     |        | q <sub>k</sub> |              |                |
| [kN/m]   | [kN]         | [kN]           | [kN/m] | [kN]         | [kN]         | [kN/m]         | [kN]         | [kN]         | [kN/m] | [kN]           | [kN]         |                |
|          | 69,34        | 44,46          |        | 69,34        | 44,46        |                | 69,34        | 44,46        |        | 69,34          | 44,46        |                |
| 2,44     | 9,26         |                | 2,44   | 9,26         |              | 2,44           | 9,26         |              | 2,44   | 9,26           |              |                |
| 1,26     | 4,78         |                | 1,26   | 4,78         |              | 1,26           | 4,78         |              | 1,26   | 4,78           |              |                |
| 0,19     | 0,72         |                | 0,19   | 0,72         |              | 0,19           | 0,72         |              | 0,19   | 0,72           |              |                |
|          |              | -4,45          |        |              | -4,45        |                |              | -4,45        |        |                | -4,45        | 0,9            |
|          | 84,10        | 40,01          |        | 84,10        | 40,01        |                | 84,10        | 40,01        |        | 84,10          | 40,01        |                |
| 3,90     |              | 14,82          | 3,90   |              | 14,82        | 3,90           |              | 14,82        | 3,90   |                | 14,82        |                |
| 0,90     | 3,43         |                | 0,90   | 3,43         |              | 0,90           | 3,43         |              | 0,90   | 3,43           |              |                |
|          | 2,65         |                |        | 2,65         |              |                | 2,65         |              |        | 2,65           |              |                |
|          | <b>90,18</b> | <b>54,83</b>   |        | <b>90,18</b> | <b>54,83</b> |                | <b>90,18</b> | <b>54,83</b> |        | <b>90,18</b>   | <b>54,83</b> |                |

Tredje etasje – akse E11 – 14:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta      | Element                                  | Verdi | Enhet             | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|----------|--|-------|-------------------|------------|--------------------|----------------------|
| 3        | Overført fra etasjen over                |       |                   |            |                    |                      |
| 3        | Dekke m/påstøp - betong                  | 25    | kN/m <sup>3</sup> |            | 1,95               | 0,05                 |
| 3        | Dekke m/påstøp - CLT                     | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> |            | 1,95               | 0,14                 |
| 3        | Bjelke - limtre GL32h                    | 5     | kN/m <sup>3</sup> |            | 0,14               | 0,27                 |
| 3        | Etasjereduksjon n =                      | 4     |                   |            |                    |                      |
| 3        | Last på søyle/vegg                       |       |                   |            |                    |                      |
| 3        | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. A - gulv | 2     | kN/m <sup>2</sup> |            | 1,95               |                      |
| 3        | Fasadevindu - energiglass 3. lags        | 0,3   | kN/m <sup>2</sup> |            |                    | 3,01                 |
| 3        | Vegg CLT                                 | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 3,9        | 0,1                | 2,95                 |
| <b>3</b> | <b>Aksialkraft fra etasje</b>            |       |                   |            |                    |                      |

| Akse     |               |                |          |               |                |          |               |                |          |               |                |                |
|----------|---------------|----------------|----------|---------------|----------------|----------|---------------|----------------|----------|---------------|----------------|----------------|
| 11       |               |                | 12       |               |                | 13       |               |                | 14       |               |                | α <sub>n</sub> |
| 3,8      |               |                | 3,8      |               |                | 3,8      |               |                | 3,8      |               |                |                |
| Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           |                |
|          | 90,18         | 54,83          |          | 90,18         | 54,83          |          | 90,18         | 54,83          |          | 90,18         | 54,83          |                |
| 2,44     | 9,26          |                | 2,44     | 9,26          |                | 2,44     | 9,26          |                | 2,44     | 9,26          |                |                |
| 1,26     | 4,78          |                | 1,26     | 4,78          |                | 1,26     | 4,78          |                | 1,26     | 4,78          |                |                |
| 0,19     | 0,72          |                | 0,19     | 0,72          |                | 0,19     | 0,72          |                | 0,19     | 0,72          |                |                |
|          |               | -8,23          |          |               | -8,23          |          |               | -8,23          |          |               | -8,23          | 0,85           |
|          | 104,95        | 46,61          |          | 104,95        | 46,61          |          | 104,95        | 46,61          |          | 104,95        | 46,61          |                |
| 3,90     |               | 14,82          | 3,90     |               | 14,82          | 3,90     |               | 14,82          | 3,90     |               | 14,82          |                |
| 0,90     | 3,43          |                | 0,90     | 3,43          |                | 0,90     | 3,43          |                | 0,90     | 3,43          |                |                |
|          | 2,65          |                |          | 2,65          |                |          | 2,65          |                |          | 2,65          |                |                |
|          | <b>111,03</b> | <b>61,43</b>   |          | <b>111,03</b> | <b>61,43</b>   |          | <b>111,03</b> | <b>61,43</b>   |          | <b>111,03</b> | <b>61,43</b>   |                |

Andre etasje – akse E11 – 14:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                            | Verdi | Enhet | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|------------------------------------|-------|-------|------------|--------------------|----------------------|
| 2   | Overført fra etasjen over          |       |       |            |                    |                      |
| 2   | Dekke m/påstøp - betong            | 25    | kN/m3 | 1,95       | 0,05               |                      |
| 2   | Dekke m/påstøp - CLT               | 4,61  | kN/m3 | 1,95       | 0,14               |                      |
| 2   | Bjelke - limtre GL32h              | 5     | kN/m3 | 0,25       | 0,25               |                      |
| 2   | Etasjereduksjon n =                | 5     |       |            |                    |                      |
| 2   | Last fra takhagen                  |       |       |            |                    |                      |
| 2   | Last på søyle/vegg                 |       |       |            |                    |                      |
| 2   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C1 | 3     | kN/m2 | 1,95       |                    |                      |
| 2   | Vindu - sikkerhetsglass            | 0,3   | kN/m2 |            | 3,5                |                      |
| 2   | Søyle - limtre GL32h               | 5     | kN/m3 | 4,11       | 0,3                | 0,3                  |
| 2   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>      |       |       |            |                    |                      |

| Akse     |               |                |        |               |               |                |               |              |        |                |            |                |      |
|----------|---------------|----------------|--------|---------------|---------------|----------------|---------------|--------------|--------|----------------|------------|----------------|------|
| 11       |               | 12             |        | 13            |               | 14             |               |              |        |                |            | α <sub>n</sub> |      |
| 3,8      |               | 3,8            |        | 3,8           |               | 3,8            |               |              |        |                |            |                |      |
| Egenvekt |               | q <sub>k</sub> |        | Egenvekt      |               | q <sub>k</sub> |               | Egenvekt     |        | q <sub>k</sub> |            |                |      |
| [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m] | [kN]          | [Kn]          | [kN/m]         | [kN]          | [Kn]         | [kN/m] | [kN]           | [Kn]       |                |      |
|          | 111,03        | 61,43          |        | 111,03        | 61,43         |                | 111,03        | 61,43        |        | 111,03         | 61,43      |                |      |
| 2,44     | 9,26          |                | 2,44   | 9,26          |               | 2,44           | 9,26          |              | 2,44   | 9,26           |            |                |      |
| 1,26     | 4,78          |                | 1,26   | 4,78          |               | 1,26           | 4,78          |              | 1,26   | 4,78           |            |                |      |
| 0,31     | 1,19          |                | 0,31   | 1,19          |               | 0,31           | 1,19          |              | 0,31   | 1,19           |            |                |      |
|          |               | -              |        |               | -             |                |               | -            |        |                |            |                |      |
|          |               | 11,06          |        |               | -11,06        |                |               | 11,06        |        |                |            | -11,1          | 0,82 |
|          |               |                |        | 210,01        | 131,80        |                |               |              |        | 60,34          | 38,90      |                |      |
|          | 126,26        | 50,37          |        | 336,27        | 182,17        |                | 126,26        | 50,37        |        | 186,60         | 89,27      |                |      |
| 5,85     |               | 22,23          | 5,85   |               | 22,23         | 5,85           |               | 22,23        | 5,85   |                | 22,2       |                |      |
| 1,05     | 3,99          |                | 1,05   | 3,99          |               | 1,05           | 3,99          |              | 1,05   | 3,99           |            |                |      |
|          | 1,85          |                |        | 1,85          |               |                | 1,85          |              |        | 1,85           |            |                |      |
|          | <b>132,10</b> | <b>72,60</b>   |        | <b>342,11</b> | <b>204,40</b> |                | <b>132,10</b> | <b>72,60</b> |        | <b>192,44</b>  | <b>111</b> |                |      |

Beregning av belastningen fra takhagen:

Bjelkelengde [m] -->

|   | Takhagen                            |      |                   |  |      |   |
|---|-------------------------------------|------|-------------------|--|------|---|
| 2 | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C1  | 3    | kN/m <sup>2</sup> |  | 7,6  |   |
| 2 | Jord                                | 0,65 | kN/m <sup>2</sup> |  | 7,6  |   |
| 2 | Hulldেকে HD265                      | 3,9  | kN/m <sup>2</sup> |  | 7,6  |   |
| 2 | Bjelke - limtre GL32h               | 5    | kN/m <sup>3</sup> |  | 0,35 | 1 |
| 2 | Aksialkraft fra takhagen            |      |                   |  |      |   |
| 2 | <b>Belastning på søyle i akse E</b> |      |                   |  |      |   |

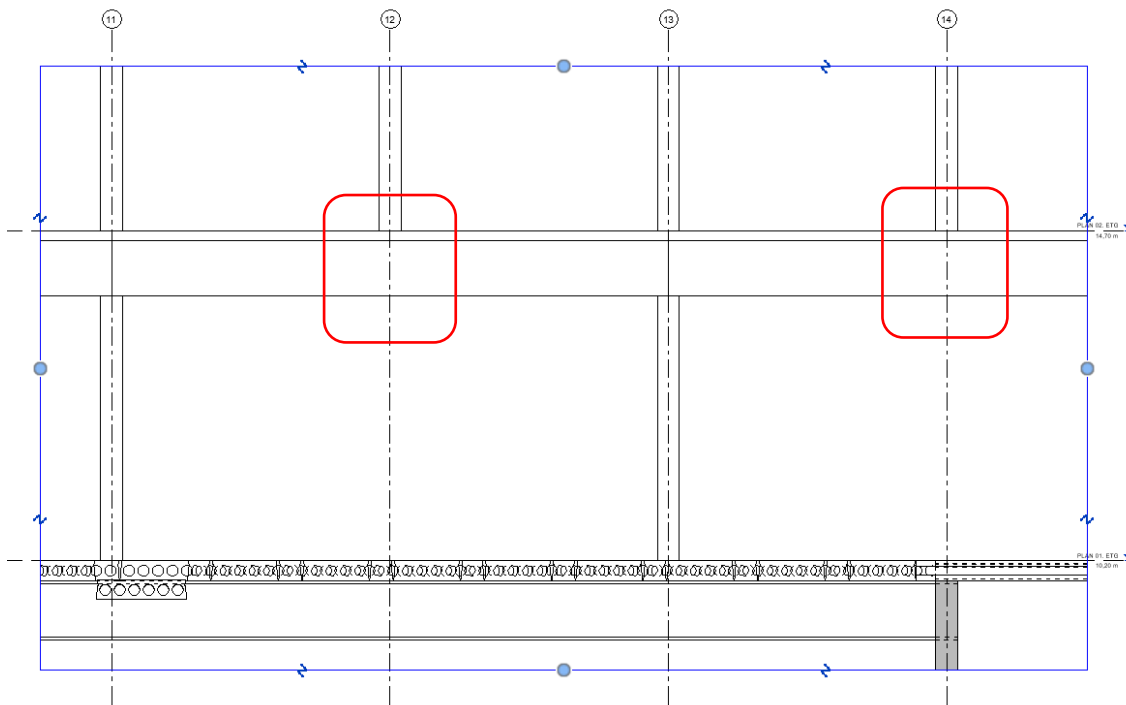
| Akse     |        |               |  |                |          |     |  |        |                |              |
|----------|--------|---------------|--|----------------|----------|-----|--|--------|----------------|--------------|
| 12       |        |               |  |                | 14       |     |  |        |                |              |
| 11,561   |        |               |  |                | 4,471    |     |  |        |                |              |
| Egenvekt |        |               |  | q <sub>k</sub> | Egenvekt |     |  |        | q <sub>k</sub> |              |
|          | [kN/m] | [kN]          |  | [Kn]           |          |     |  | [kN/m] | [kN]           | [Kn]         |
|          | 22,8   |               |  | 263,59         | 5,8      |     |  | 17,4   |                | 77,80        |
|          | 4,94   | 57,11         |  |                | 5,8      |     |  | 3,77   | 16,86          |              |
|          | 29,64  | 342,67        |  |                | 5,8      |     |  | 22,62  | 101,13         |              |
|          | 1,75   | 20,23         |  |                | 0,3      | 0,4 |  | 0,60   | 2,68           |              |
|          |        | 420,01        |  | 263,59         |          |     |  |        | 120,67         | 77,80        |
|          |        | <b>210,01</b> |  | <b>131,80</b>  |          |     |  |        | <b>60,34</b>   | <b>38,90</b> |

### Første etasje

Lasten fra andre etasje i akse 12 fordeles ned på søylen i akse 11 og i akse 13, og lasten fra akse 14 fordeles ned på søylen i akse 13 og i akse 15 etter samme formler som nevnt tidligere.

Nyttelasten for hele første etasjen er satt til kategori C5: 5,0 kN/m<sup>2</sup>.

### Snittegning



Første etasje – akse E11 – 14:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                            | Verdi | Enhet             | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|------------------------------------|-------|-------------------|------------|--------------------|----------------------|
| 1   | Overført fra etasjen over          |       |                   |            |                    |                      |
| 1   | Fordeling av krefter               |       |                   |            |                    |                      |
| 1   | Dekke m/påstøp - betong            | 25    | kN/m <sup>3</sup> | 1,95       | 0,05               |                      |
| 1   | Dekke m/påstøp - CLT               | 4,61  | kN/m <sup>3</sup> | 1,95       | 0,14               |                      |
| 1   | Bjelke - limtre GL32h              | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 0,3        | 0,75               |                      |
| 1   | Etasjereduksjon n =                | 6     |                   |            |                    |                      |
| 1   | Last på søyle/vegg                 |       |                   |            |                    |                      |
| 1   | Nyttelast q <sub>k</sub> - kat. C5 | 5     | kN/m <sup>2</sup> | 1,95       |                    |                      |
| 1   | Søyle - limtre GL32h               | 5     | kN/m <sup>3</sup> | 3,61       | 0,3                | 0,3                  |
| 1   | <b>Aksialkraft fra etasje</b>      |       |                   |            |                    |                      |

| Akse     |               |                |          |        |                |          |               |                |          |        |                |                |
|----------|---------------|----------------|----------|--------|----------------|----------|---------------|----------------|----------|--------|----------------|----------------|
| 11       |               |                | 12       |        |                | 13       |               |                | 14       |        |                | α <sub>n</sub> |
| 3,8      |               |                |          |        |                | 7,6      |               |                |          |        |                |                |
| Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> | Egenvekt |               | q <sub>k</sub> | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> |                |
| [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]          | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           |                |
|          | 132,10        | 72,60          |          | 342,11 | 204,40         |          | 132,10        | 72,60          |          | 192,44 | 111,50         |                |
|          | 303,15        | 174,80         |          |        |                |          | 399,37        | 230,55         |          |        |                |                |
| 2,44     | 13,89         |                |          |        |                | 2,44     | 18,53         |                |          |        |                |                |
| 1,26     | 7,17          |                |          |        |                | 1,26     | 9,56          |                |          |        |                |                |
| 1,13     | 6,41          |                |          |        |                | 1,13     | 8,55          |                |          |        |                |                |
|          |               | -34,96         |          |        |                |          |               | -46,11         |          |        |                | 0,8            |
|          | 330,63        | 139,84         |          |        |                |          | 436,01        | 184,44         |          |        |                |                |
| 9,75     |               | 55,58          |          |        |                | 9,75     |               | 74,10          |          |        |                |                |
|          | 1,62          |                |          |        |                |          | 1,62          |                |          |        |                |                |
|          | <b>332,26</b> | <b>195,42</b>  |          |        |                |          | <b>437,64</b> | <b>258,54</b>  |          |        |                |                |



Kjeller – akse E11 – 14:

| Dimensjoner |       |       |
|-------------|-------|-------|
| x [m]       | y [m] | z [m] |

Bjelkelengde [m] -->

| Eta | Element                   | Verdi | Enhet             | x = lengde | y = bredde / dybde | z = høyde / tykkelse |
|-----|---------------------------|-------|-------------------|------------|--------------------|----------------------|
| 0   | Overført fra etasjen over |       |                   |            |                    |                      |
| 0   | Fordeling av krefter      |       |                   |            |                    |                      |
| 0   | Dekke m/påstøp - betong   | 25    | kN/m <sup>3</sup> | 1,95       | 0,05               |                      |
| 0   | Hulldekke HD265           | 3,9   | kN/m <sup>2</sup> | 1,95       |                    |                      |
| 0   | Bjelke - HEM700           | 3,01  | kN/m              |            |                    |                      |
| 0   | Etasjereduksjon n =       | 7     |                   |            |                    |                      |
| 0   | Last på søyle/vegg        |       |                   |            |                    |                      |

| Akse     |        |                |          |      |                |          |        |                |          |        |                |            |
|----------|--------|----------------|----------|------|----------------|----------|--------|----------------|----------|--------|----------------|------------|
| 11       |        |                | 12       |      |                | 13       |        |                | 14       |        |                | $\alpha_n$ |
|          |        |                |          |      |                |          |        |                | 15,2     |        |                |            |
| Egenvekt |        | q <sub>k</sub> | Egenvekt |      | q <sub>k</sub> | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> | Egenvekt |        | q <sub>k</sub> |            |
| [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           | [kN/m]   | [kN] | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           | [kN/m]   | [kN]   | [Kn]           |            |
|          | 332,26 | 195,42         |          |      |                | 437,64   | 258,54 |                |          |        |                |            |
|          |        |                |          |      |                |          |        |                | 411,29   | 242,76 |                |            |
|          |        |                |          |      |                |          |        |                | 2,44     | 23,16  |                |            |
|          |        |                |          |      |                |          |        |                | 7,61     | 72,25  |                |            |
|          |        |                |          |      |                |          |        |                | 3,01     | 22,88  |                |            |
|          |        |                |          |      |                |          |        |                |          |        | -52,02         | 0,79       |
|          |        |                |          |      |                |          |        |                | 529,57   | 190,74 |                |            |



|   |           |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
|---|-----------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| 4 | Påstøp    | E |     |     |     | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | E   |   |
| 4 | Dekke CLT | E |     |     |     | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | E   |   |
| 4 | Bjelke    | E |     |     |     | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | E   |   |
| 4 | Vegg      | E |     |     |     |     |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 | E |
| 4 | Søyle     | E |     |     |     | 140 | 225 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 140 | 225 | 140 | 225 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | E   |   |
| 4 | Bjelke    | G | 140 | 270 | 140 | 270 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | G   |   |
| 3 | Bjelke    | C |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | C   |     |   |
| 3 | Bjelke    | D |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 | D   |     |   |
| 3 | Påstøp    | E |     |     |     | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | E   |   |
| 3 | Dekke CLT | E |     |     |     | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | E   |   |
| 3 | Bjelke    | E |     |     |     | 250 | 550 | 250 | 550 | 250 | 550 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | 140 | 270 | E   |   |
| 3 | Vegg      | E |     |     |     |     |     |     |     | 100 |     | 100 |     |     | 100 |     | 100 |     |     |     |     |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 | E   |   |
| 3 | Søyle     | E |     |     |     | 140 | 270 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 140 | 270 | 140 | 270 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | E   |   |
| 3 | Bjelke    | G | 140 | 270 | 140 | 270 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | G   |   |
| 2 | Påstøp    | E |     |     |     |     |     |     |     | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | E   |   |
| 2 | Dekke CLT | E |     |     |     |     |     |     |     | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | E   |   |
| 2 | Bjelke    | E |     |     |     | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | 350 | 250 | E |
| 2 | Vegg      | E |     |     |     |     |     |     |     | 100 |     | 100 |     |     | 100 |     | 100 |     |     |     |     |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 |     | 100 | E   |   |
| 2 | Søyle     | E |     |     |     | 300 | 300 |     |     | 300 | 300 | 300 | 300 |     |     | 300 | 300 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | E |
| 2 | Bjelke    | G | 250 | 250 | 250 | 250 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | G   |   |
| 1 | Påstøp    | E |     |     |     |     |     |     |     | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | E   |   |
| 1 | Dekke CLT | E |     |     |     |     |     |     |     | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | E   |   |
| 1 | Bjelke    | E | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | 300 | 750 | E |
| 1 | Vegg      | E |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 100 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | E   |   |
| 1 | Søyle     | E |     |     |     | 300 | 300 |     |     | 300 | 300 |     |     |     |     |     |     | 300 | 300 |     |     |     |     |     |     | 300 | 300 | 300 | 300 |     |     | 300 | 300 |     |     | E   |   |

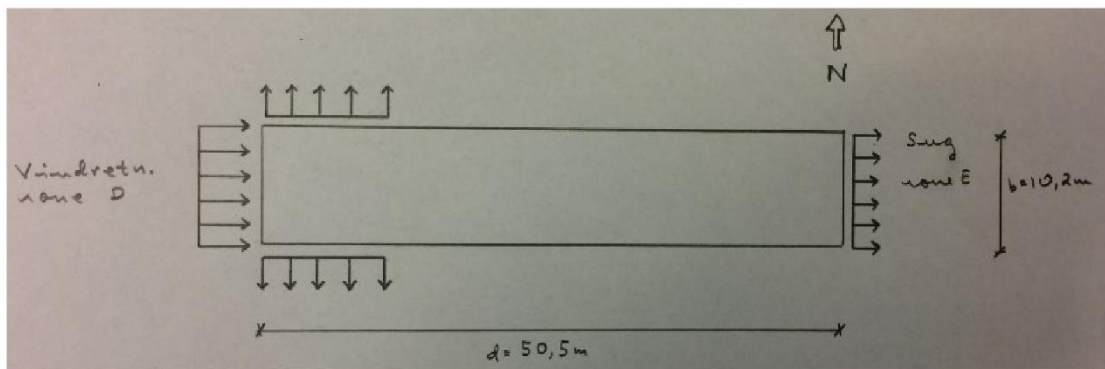
# Vindlast

Retning: Vest - Øst

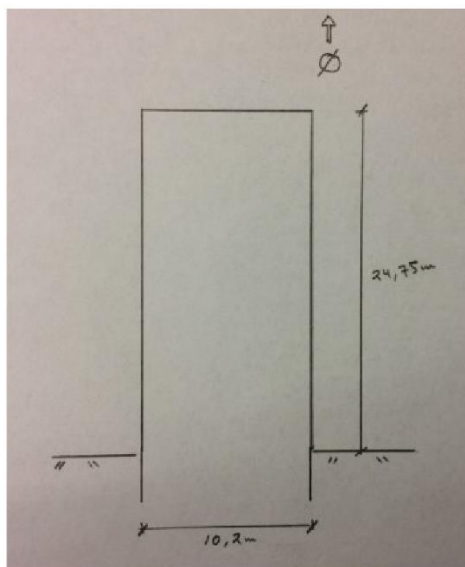
Vi har et behov for å forenkle bygget. Opprinnelig er nordsida forankra til lab-bygget og sørsida har en takhage som går på skrå sørøstover. Vi innser at det blir for vanskelig å regne på og forenkler derfor bygget til et rektangel.

Teorien er hentet fra Kompendium i lastberegning (Rørvik & Årskog, 2010).

Sett ovenfra:



Sett fra vest:



Bygget består av kjeller, to etasjer á 4.5m og 5 et. á 3.15m.

$$h := 2 \cdot 4.5\text{m} + 5 \cdot 3.15\text{m} = 24.75\text{m}$$

$$b := 10.2\text{m}$$

$$d := 50.5\text{m}$$

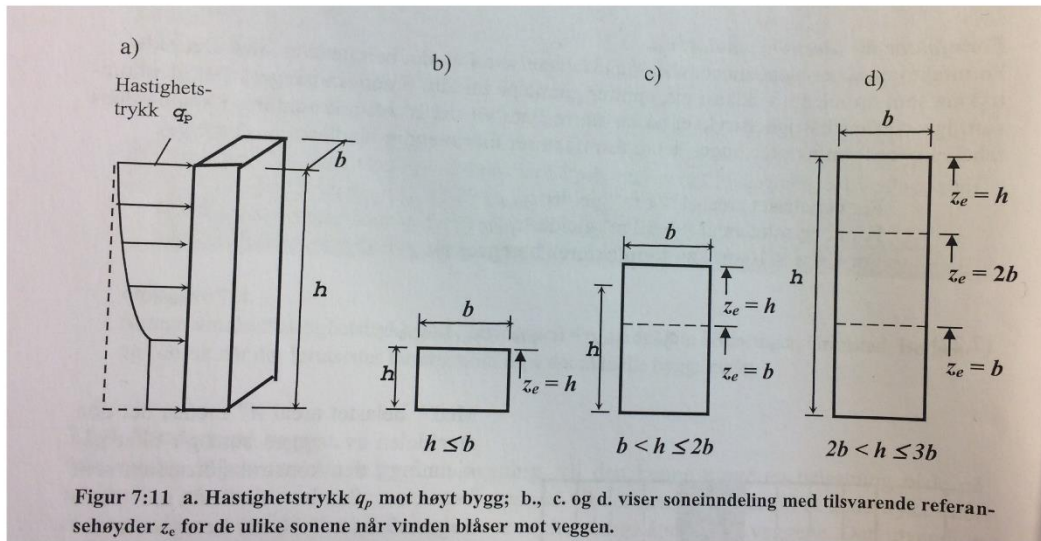
Vindareal:  $A := b \cdot h = 252.45\text{ m}^2$

Leser av Kompendium i lastberegning (Rørvik & Årskog, 2010) s. 63:

For et belastet areal  $A \leq 1\text{ m}^2$  gjelder  $c_{pe,1}$ .  
 For et belastet areal  $A \geq 10\text{ m}^2$  gjelder  $c_{pe,10}$ .  
 For  $1 < A < 10\text{ m}^2$  kan formfaktoren beregnes av

$$(7.22) \quad c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \log_{10} \cdot A$$

Fra Figur 7:11 s. 64 leser vi av antall høydesoner:



c)  $b < h \leq 2b$  gir  $10.2 < 24.75 \leq 20.4$  Dette går ikke.

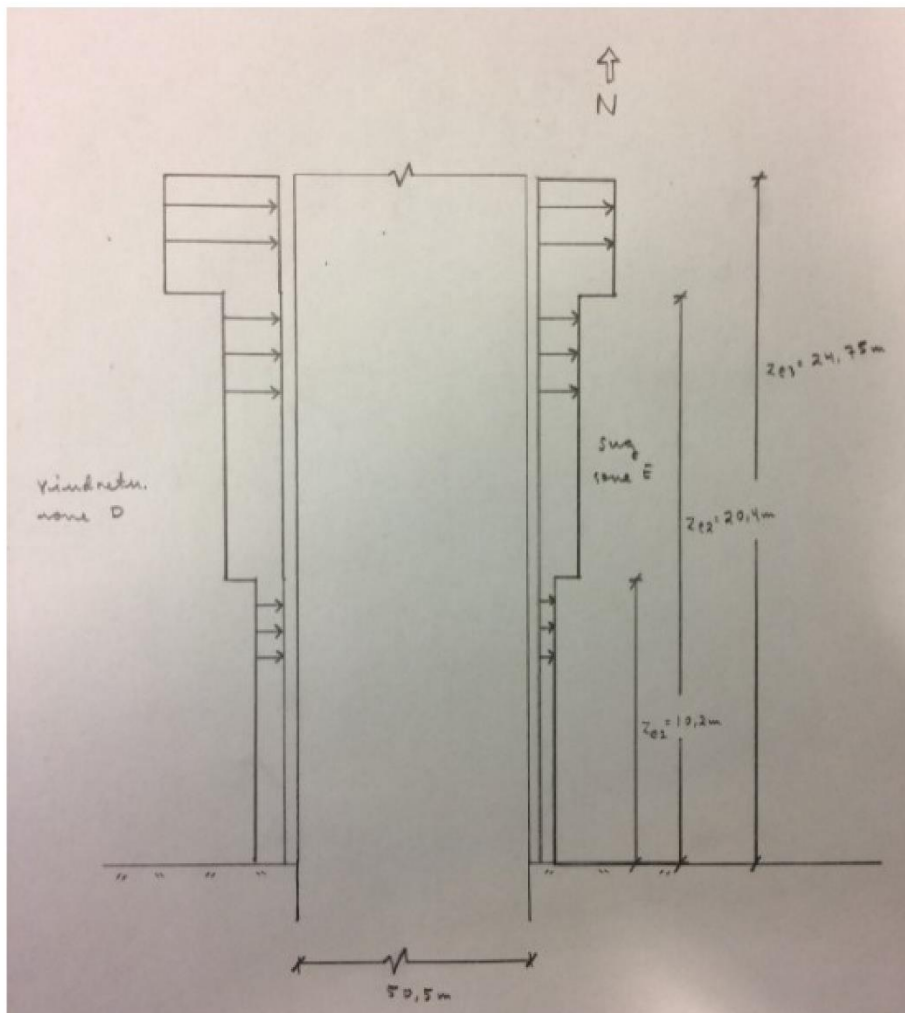
d)  $2b < h \leq 3b$  gir  $20.4 < 24.75 \leq 30.6$  Dette går.

Vi får altså tre høydesoner i følge d).

$$z_{e1} := b = 10.2 \text{ m}$$

$$z_{e2} := 2 \cdot b = 20.4 \text{ m}$$

$$z_{e3} := h = 24.75 \text{ m}$$



Referansevindhastigheten leses av Tabell 7:2 s. 57.  
For Ålesund kommune blir:

$$v_{b0} := 29 \text{ m/s} \quad \text{Settes inn enhetsløs.}$$

Terrenguhetsfaktoren settes til 1 etter Tabell 7:3 s. 60.  
Beskrivelsen for faktor 1 er: "Kystnær, opprørt sjø. Åpne vidder og strandsoner uten trær eller busker." Vi regner Campus Ålesund som et kystnært område.

Vi må finne *vindkasthastighetstrykket* som beregnes etter formelen:

$$q_p = k_w \cdot v_{b0}^2$$

Vindlastfaktoren  $k_w$  leses av Vedlegg 1 s. 94 i Lastkompendiet. Den bestemmes av referansehøyden og terrenguhetsfaktoren.

$$z_{e1} = 10.2 \text{ m} \quad \text{gir} \quad k_{w1} := 1.75$$

$$z_{e2} = 20.4 \text{ m} \quad \text{gir} \quad k_{w2} := 2.00$$

$$z_{e3} = 24.75 \text{ m} \quad \text{gir} \quad k_{w3} := 2.10$$

Regner ut vindkasthastighetstrykket:

$$q_{p1} := k_{w1} \cdot v_{b0}^2 = 1.472 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$q_{p1} := 1.47 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p2} := k_{w2} \cdot v_{b0}^2 = 1.682 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$q_{p2} := 1.68 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p3} := k_{w3} \cdot v_{b0}^2 = 1.766 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$q_{p3} := 1.77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Siden vårt belastede areal er større enn 10kvm, vil vi bruke formfaktor  $c_{pe10}$ . Formfaktorene henter vi i Tabell 7:4 s. 66.

Tabell 7:4 Utvendige formfaktorer for vertikale vegger i rektangulære bygninger. Fra (7).

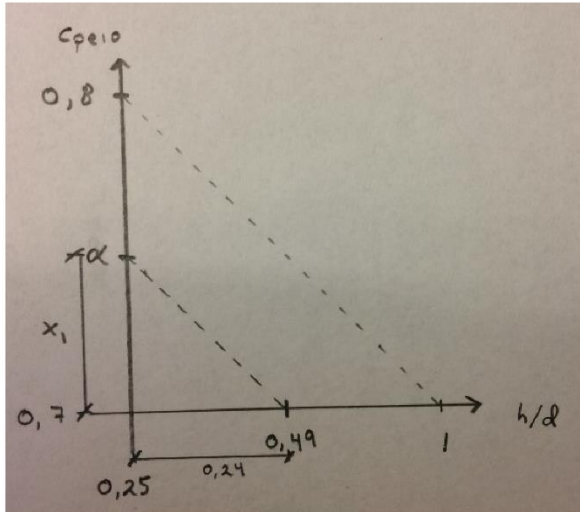
| Sone        | A           |            | B           |            | C           |            | D           |            | E           |            |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| $h/d$       | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        | 0,8        | 1,0         |            | -0,7        |            |
| 1           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        | 0,8        | 1,0         |            | -0,5        |            |
| $\leq 0,25$ | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        | 0,7        | 1,0         |            | -0,3        |            |

For størrelsene  $h$  og  $d$  se figur 7:13.

$$\frac{h}{d} = 0.49$$

Interpolerer for å finne formfaktorene.

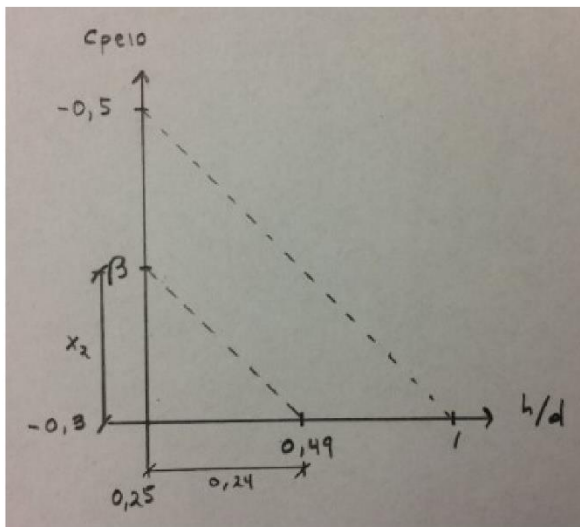
For sone D:



$$x_1 := \frac{0.24 \cdot 0.1}{0.75} = 0.032$$

$$\alpha := 0.7 + x_1 = 0.732$$

For sone E:



$$x_2 := \frac{0.24 \cdot (-0.2)}{0.75} = -0.064$$

$$\beta := -0.3 + x_2 = -0.364$$

Total formfaktor blir dermed:

$$c_p := |\alpha| + |\beta| = 1.096$$

Vindlasta for hver soneinndeling blir:  $w_n = c_p \cdot b \cdot h_n \cdot q_{p,n} \cdot \gamma_{Q1}$

$\gamma_{Q1} := 1.5$  Hentet fra lastkombinasjon B2 (Tabell 4:1 s. 23).

Ved  $h_1 := 10.2\text{m}$  blir  $w_1 := c_p \cdot b \cdot h_1 \cdot q_{p1} \cdot \gamma_{Q1} = 251.431 \cdot \text{kN}$

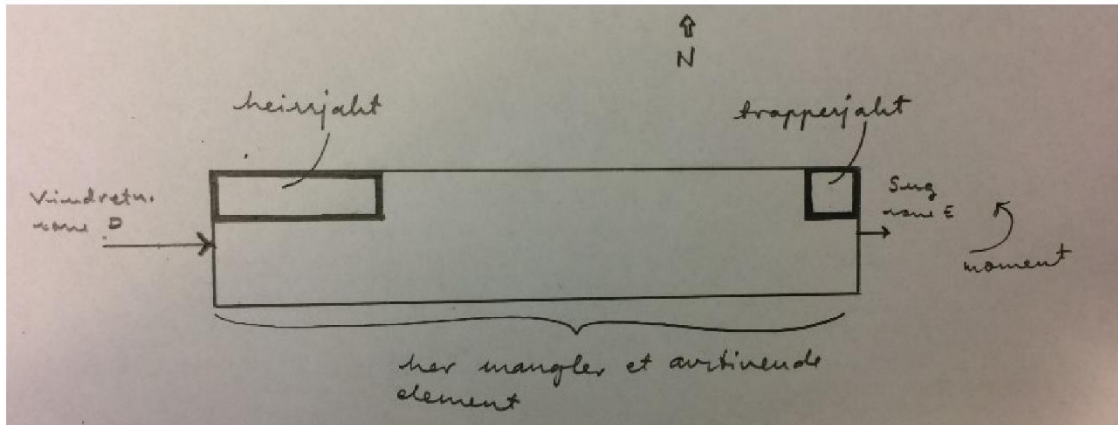
Ved  $h_2 := 10.2\text{m}$  blir  $w_2 := c_p \cdot b \cdot h_2 \cdot q_{p2} \cdot \gamma_{Q1} = 287.35 \cdot \text{kN}$

Ved  $h_3 := 4.35\text{m}$  blir  $w_3 := c_p \cdot b \cdot h_3 \cdot q_{p3} \cdot \gamma_{Q1} = 129.111 \cdot \text{kN}$

Total vindlast blir:

$$\Sigma := w_1 + w_2 + w_3 = 667.893 \cdot \text{kN}$$

Hva bruker vi så dette til? Vi må regne ut vindlasta for å finne en vegg eller et fagverk som virker avstivende for bygget. Vi har opprinnelig ikke tenkt ut noen avstivning på sørsida, men for at bygget ikke skal få rotasjon må vi finne en måte.



Litteraturliste:

Rørvik, Tarald & Årskog, Vemund (2010). *Konstruksjonssikkerhet og belastning. Kompendium i lastberegning* (3. utg.). Høgskolen i Ålesund.

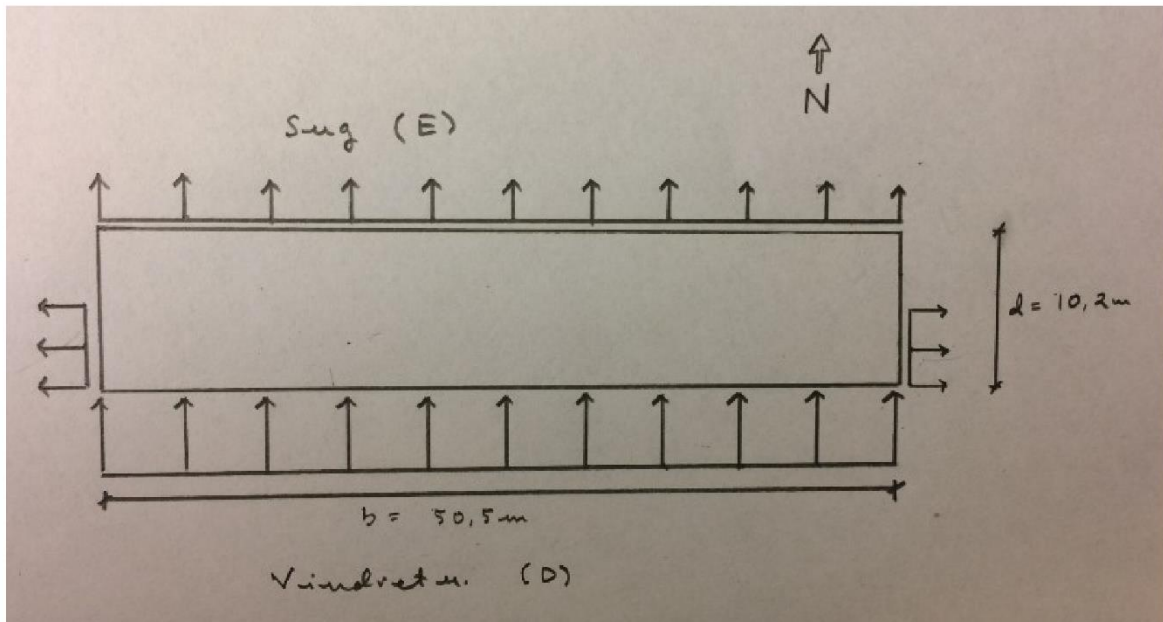


# Vindlast

Retning: Sør - Nord

Utregninga blir lik regninga for vest til øst. Parametrene er kun endret.

Sett ovenfra:



Bygget består av kjeller, to etasjer á 4.5m og 5 et. á 3.15m.

$$h := 2 \cdot 4.5\text{m} + 5 \cdot 3.15\text{m} = 24.75\text{m}$$

$$b := 50.5\text{m}$$

$$d := 10.2\text{m}$$

$$\text{Vindareal: } A := b \cdot h = 1.25 \times 10^3 \text{ m}^2$$

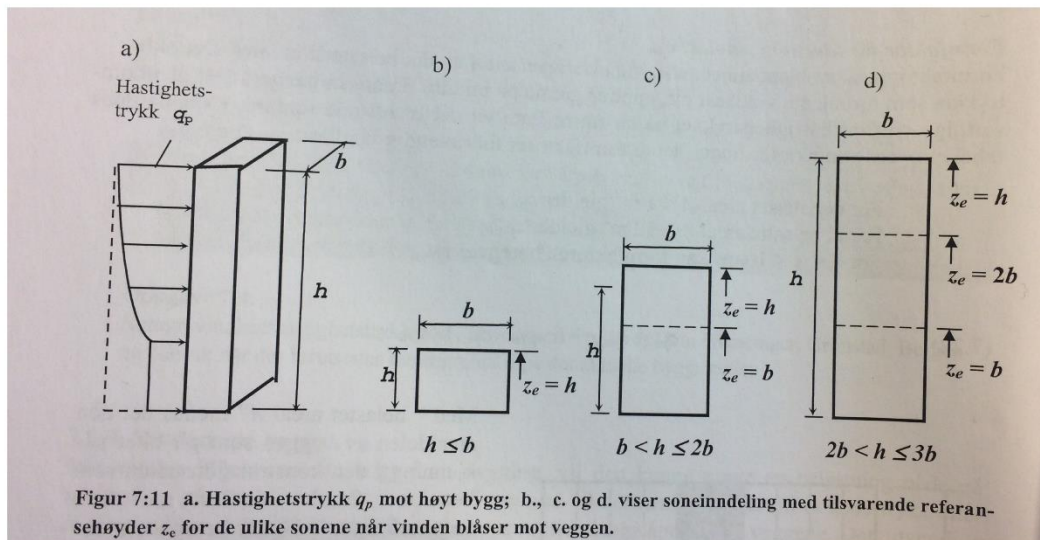
Leser av Kompendium i lastberegning (Rørvik & Årskog, 2010) s. 63:

For et belastet areal  $A \leq 1 \text{ m}^2$  gjelder  $c_{pe,1}$ .  
For et belastet areal  $A \geq 10 \text{ m}^2$  gjelder  $c_{pe,10}$ .  
For  $1 < A < 10 \text{ m}^2$  kan formfaktoren beregnes av

(7.22)

$$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \log_{10} A$$

Fra Figur 7:11 s. 64 leser vi av antall høydesoner:



- c)  $b < h \leq 2b$  gir  $50.5 < 24.75 \leq 101$  Dette går ikke.  
 b)  $h \leq b$  gir  $24.75 \leq 50.5$  Dette går.

Vi får altså kun én høydesoner i følge b).

$$z_e := h = 24.75 \text{ m}$$

Referansevindhastigheten leses av Tabell 7:2 s. 57.

For Ålesund kommune blir:

$$v_{b0} := 29 \text{ m/s} \quad \text{Settes inn enhetsløs.}$$

Terrenguhetsfaktoren settes til 1 etter Tabell 7:3 s. 60.

Beskrivelsen for faktor 1 er: "Kystnær, opprørt sjø. Åpne vidder og strandsoner uten trær eller busker." Vi regner Campus Ålesund som et kystnært område.

Vi må finne vindkasthastighetstrykket som beregnes etter formelen:

$$q_p = k_w \cdot v_{b0}^2$$

Vindlastfaktoren  $k_w$  leses av Vedlegg 1 s. 94 i Lastkompendiet. Den bestemmes av referansehöyden og terrenguhetsfaktoren.

$$z_e = 24.75 \text{ m} \quad \text{gir} \quad k_w := 2.10$$

Regner ut vindkasthastighetstrykket:

$$q_p := k_w \cdot v_{b0}^2 = 1.766 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \qquad q_p := 1.77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Siden vårt belastede areal er større enn 10kvm, vil vi bruke formfaktor  $c_{pe10}$ . Formfaktorene henter vi i Tabell 7:4 s. 66.

Tabell 7:4 Utvendige formfaktorer for vertikale vegger i rektangulære bygninger. Fra (7).

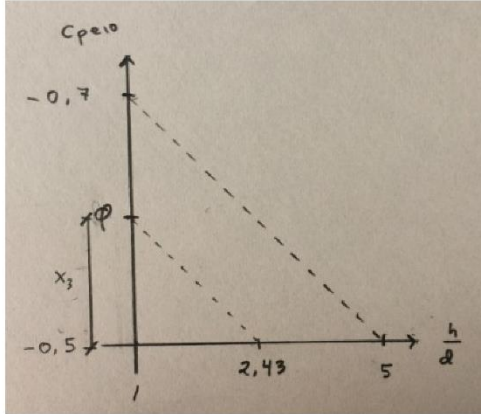
| Sone        | A           |            | B           |            | C                     |             | D          |                       | E                     |  |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|-----------------------|--|
| $h/d$       | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}, c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}, c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}, c_{pe,1}$ |  |
| 5           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5                  | 0,8         | 1,0        | -0,7                  |                       |  |
| 1           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5                  | 0,8         | 1,0        | -0,5                  |                       |  |
| $\leq 0,25$ | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5                  | 0,7         | 1,0        | -0,3                  |                       |  |

For størrelsene  $h$  og  $d$  se figur 7:13.

$$\frac{h}{d} = 2.426$$

For sone D: Leser av tabell  $c_{pe10}$  til 0,8.

For sone E:



$$x_3 := \frac{1.43 \cdot (-0.2)}{4} = -0.072$$

$$\varphi := -0.5 + x_3 = -0.571$$

Total formfaktor blir dermed:

$$c_p := |0.8| + |\varphi| = 1.372$$

Vi har kun én vindlastsone:  $w_n = c_p \cdot b \cdot h_n \cdot q_{p,n} \cdot \gamma_{Q1}$

$\gamma_{Q1} := 1.5$  Hentet fra lastkombinasjon B2 (Tabell 4:1 s. 23).

Vindlast fra sør til nord:  $w := c_p \cdot b \cdot h \cdot q_p \cdot \gamma_{Q1} = 4.551 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

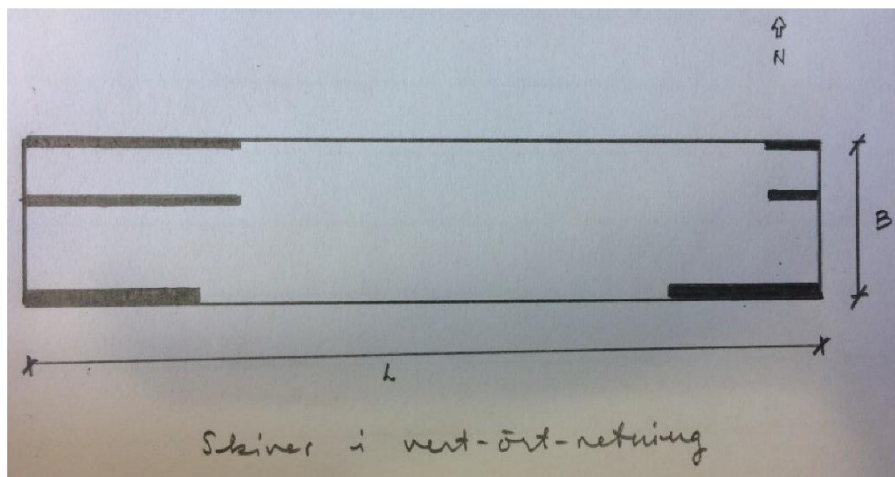
Nå må det tas med i betraktningen at modellen er sterkt forenklet og belastningsarealet muligens har blitt større av den grunn.

# Jordskjelv

## Horisontale påkjenninger

Beregningen baserer seg på tidligere undervisning i *Prosjektering konstruksjon* pluss samtaler med Kristian Normann og ansatte i Norconsult.

Alle punkter er hentet fra Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påkjenning.



$L := 50.5\text{m}$      $B := 10.2\text{m}$      $H := 24.75\text{m}$

Antar grunntype: B

Vi ba om en geoteknisk undersøkelse av området og fikk en miljøgeologisk undersøkelse. Der hadde de kun gravd i overflaten av jorda og funnet ulike forurensninger. Undersøkelsen kunne ikke fastslå jordas egenskaper, og vi rådførte oss dermed heller med Norconsult. Vi kom fram til at grunntype B virket fornuftig.

Tabell NA.3.1 - Grunntyper

Grunntype B: Avleiringer av svært fast sand eller grus eller svært stiv leire, med en tykkelse på flere titalls meter, kjennetegnet ved en gradvis økning av mekaniske egenskaper med dybden.

Tabell NA.3.3 - Verdier for parametere som beskriver de anbefalte elastiske responsspektrene.

| Grunntype | S    | $T_B$ (s) | $T_C$ (s) | $T_D$ (s) |
|-----------|------|-----------|-----------|-----------|
| A         | 1    | 0,1       | 0,2       | 1,7       |
| B         | 1,3  | 0,1       | 0,25      | 1,5       |
| C         | 1,4  | 0,1       | 0,3       | 1,5       |
| D         | 1,55 | 0,15      | 0,4       | 1,6       |
| E         | 1,65 | 0,1       | 0,3       | 1,4       |

Leser av tabellen:

$S := 1.3$                       Forsterkningsfaktor for grunnforholdene.

$T_B := 0.1\text{s}$                       Nedre grenseverdi av området med konstant spektralakselerasjon.

$T_C := 0.25\text{s}$                       Øvre grenseverdi av området med konstant spektralakselerasjon.

$T_D := 1.5\text{s}$                       Verdi for begynnelsen på spektrets område for konstant forskyvning.

Leser av figur NA.3(901) og i samtale med veileder Christoffer Nilsen blir vi enige om:

$$a_{g40\text{Hz}} := 0.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ålesund er ikke i et maksimumsområde, og vi trenger dermed ikke å legge til den ekstra verdien  $d_{ag40\text{Hz}}=0.05\text{m/s}^2$ . (Antar maksimumsområder er innenfor den innerste sirkelen).

Leser av tabell NA.4(902) seismisk klasse til 2.  
Beskrivelsen er: "Kontorer, forretningsbygg og boligbygg".

Tabell NA.4(901) gir seismisk faktor:

$$\gamma_1 := 1.0$$

$$a_g := 0.8 \cdot a_{g40\text{Hz}} \cdot \gamma_1 = 0.64 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Dimensjonerende grunnakselerasjon fra NA.3.2.1.}$$

Leser av tabell 8.1 konstruksjonsfaktoren til:

$$q := 2.0 \quad \text{Etter samtale med Kristian Normann vurderes massivtreelementene til å ha middels evne til energiabsorpsjon.}$$

$$a_g \cdot S = 0.832 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Avsnitt 3.2.1(4) anser lav seismisitet for å være hvor grunnakselerasjonen for grunntype A,  $a_g$ , til å være mindre enn  $0,78 \text{ m/s}^2$ . Eller tilfeller hvor produktet  $a_g \cdot S$  er mindre enn  $0,98 \text{ m/s}^2$ .  
Konstruksjonsfaktoren  $q$  kan derimot ikke overstige 1,5. *Dvs. vi kan ikke dimensjonere for lav seismisitet.*

Avsnitt 3.2.1(5) anser svært lav seismisitet for å være hvor grunnakselerasjonen for grunntype A,  $a_g$ , til å være mindre enn  $0,39 \text{ m/s}^2$ . Eller tilfeller hvor produktet  $a_g \cdot S$  er mindre enn  $0,49 \text{ m/s}^2$ . *Vi kan altså ikke dimensjonere for svært lav seismisitet.*

3.2.2.5 Dimensjonerende spektrum for elastisk analyse finnes ved ligningene:

$$S_d(T) := \left[ a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \right] \quad \text{if } 0 \leq T \leq T_B \quad \text{Lign. 3.13}$$

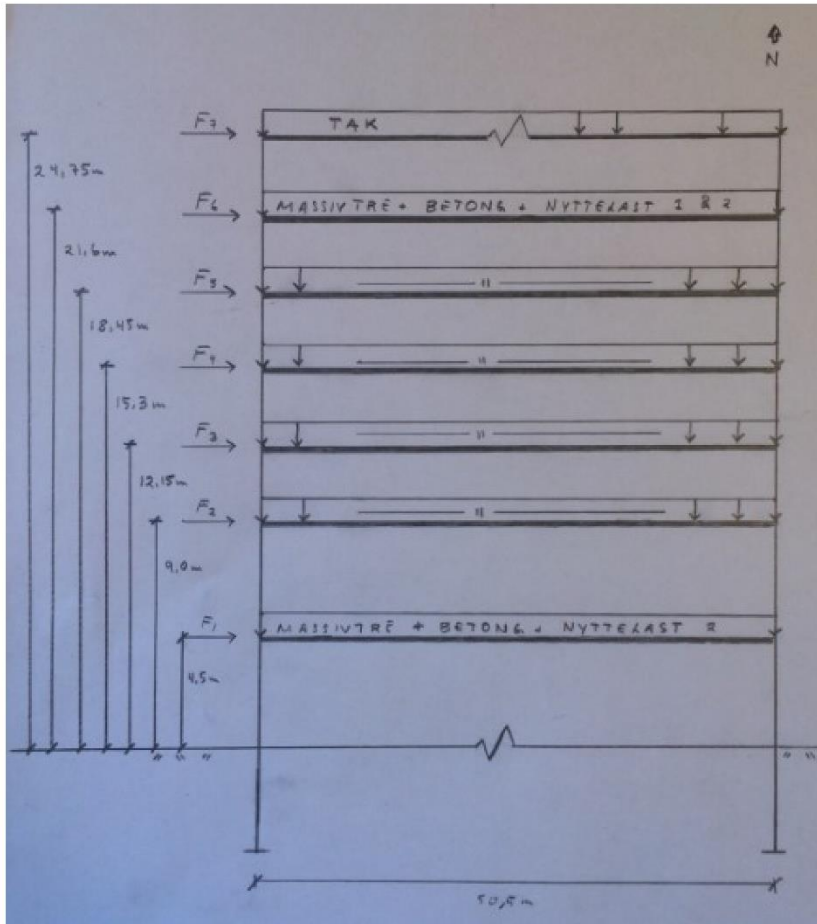
$$a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad \text{if } T_B \leq T \leq T_C \quad \text{Lign. 3.14}$$

$$\left[ a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \right] \quad \text{if } T_C \leq T \leq T_D \quad \text{Lign. 3.15}$$

$$\left[ a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \right] \quad \text{if } T_D \leq T \quad \text{Lign 3.16}$$

I ligning 3.15 og 3.16 skal  $S_d(T)$  være større enn  $\beta \cdot a_g$ , hvor  $\beta$  er faktoren for den nedre grenseverdien for det horisontale dimensjonerende spektret. Anbefalt verdi for  $\beta$  er 0,2.





### Finner lastene til bygget.

Regner kun på dekkene.

Arealet til et dekke:  $A_{\text{tot}} := L \cdot B = 515.1 \text{ m}^2$

Det er tilsammen syv dekker:  $n := 7$

Egenlast - massivtre:

Antar tyngdetetthet  $\rho_m := 4.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  og høyde  $h_m := 0.14\text{m}$

Det gir vekta  $g_m := \rho_m \cdot h_m = 0.658 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Egenlast - betong:

Antar tyngdetetthet  $\rho_b := 25.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  og høyde  $h_b := 0.05\text{m}$

Det gir vekta  $g_b := \rho_b \cdot h_b = 1.25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Egenlast - tak

Antar lettak med tyngde  $g_t := 0.43 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Vi har to ulike nyttelaster tilstede:

$$q_1 := 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ med areal } A_1 := 2 \cdot 21.45\text{m} \cdot 10.2\text{m} = 437.58 \text{ m}^2$$

$$q_2 := 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ med areal } A_2 := 7.6\text{m} \cdot 10.2\text{m} = 77.52 \text{ m}^2$$

$q_2$  virker på oppholdsarealet fra 3. til 7. etasje.

Nyttelasten kan reduseres med en ulykkesfaktor  $\psi$ . Etter samtale med Kristian Normann kom vi fram til å bruke  $\psi_2$  og redusere nyttelasta med 30%. Dette er fordi det er usannsynlig at det skal være så mye nyttelast på dekket den dagen det blir jordskjelv. I tillegg blir prosenten mindre jo flere etasjer man har.

$$\psi_2 := 0.3$$

**Regner fram lastene til å bli:**

Last tak:

$$p_t := g_t \cdot A_{\text{tot}} = 221.493 \cdot \text{kN}$$

Last 3.-7.et.: Antall etasjer  $n_{37} := 5$

$$p_{37} := [(g_m + g_b) \cdot A_{\text{tot}} + (q_1 \cdot A_1 + q_2 \cdot A_2) \cdot \psi_2] = 1.315 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Last 2. et.:

$$p_2 := (g_m + g_b + q_2 \cdot \psi_2) \cdot A_{\text{tot}} = 1.446 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Dette er også lastene per etasje.

Vi regner ikke med lasta i første etasje. Den har blant annet ingen arm med tanke på jordskjelvmomentet.

Total seismisk masse blir dermed:

$$M_t := p_t + p_{37} \cdot n_{37} + p_2 = 8.244 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

I kilogram utgjør dette:

$$M_t := \frac{M_t}{g} = 8.406 \times 10^5 \text{ kg} \quad \text{hvor } g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (\text{tyngdeakselerasjonen})$$

**Finner skjærkraften ved fundamentnivå.**

I følge punkt 4.3.3.2.2(3) i EC8 kan  $T_1$  bestemmes av  $C_t \cdot H^{3/4}$  om høyden er mindre enn 40 meter.  $C_t$  er 0,085 for momentstive romlige stålrammer, 0,075 for momentstive romlige betongrammer og eksentrisk avstivede stålrammer, og 0,050 for alle andre konstruksjoner.

$$\text{Velger } C_t := 0.050\text{s} \quad H := 24.75 \quad (\text{settes inn enhetsløs})$$

$$T_1 := C_t \cdot H^{\frac{3}{4}} = 0,555 \text{ s}$$

Kravet for å bruke forenklet metode er:

$$T_1 \leq \begin{cases} 4T_C \\ 2,0\text{s} \end{cases}$$

$$T_1 = 0,555 \text{ s} \quad \text{er mindre enn både} \quad 4 \cdot T_C = 1 \text{ s} \quad \text{og} \quad 2,0\text{s}$$

Vi kan altså bruke forenklet metode.

Finner byggets dimensjonerende seismiske akselerasjon ved ligning 3.15 siden  $T_C \leq T_1 \leq T_D$

$$S_d(T_1) = 0,469 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Lign. 3.15}$$

Punkt 4.3.3.2.2(1) forteller at skjærkrafta må korrigeres med faktoren  $\lambda$ .

$$\lambda := \begin{cases} 0,85 & \text{if } T_1 \leq 2 \cdot T_C \\ 1,0 & \text{if } n < 2 \\ 1,0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{pga. otherwise})$$

Sjærkrafta ved fundamentnivået blir dermed:

$$F_b := S_d(T_1) \cdot M_t \cdot \lambda = 393,926 \cdot \text{kN}$$

Etasjehøyder:

$$z_1 := 4,5\text{m}$$

$$z_2 := 9,0\text{m}$$

$$z_3 := 12,15\text{m}$$

$$z_4 := 15,3\text{m}$$

$$z_5 := 18,45\text{m}$$

$$z_6 := 21,6\text{m}$$

$$z_7 := 24,75\text{m}$$

Det totale momentet skapt av dekkene blir summen av alle etasjehøydene ganget med vekta til etasjene.

$$\Sigma := z_1 \cdot p_2 + (z_2 + z_3 + z_4 + z_5 + z_6) \cdot p_{37} + z_7 \cdot p_t = 1,126 \times 10^5 \cdot \text{kNm}$$



Fordelingen av kreftene i konstruksjonen er gitt av ligning 4.11 i EC8.

$$F_i = F_b \cdot (z_i \cdot M_{\text{etg}}) / \Sigma$$

$$F_1 := F_b \cdot \frac{z_1 \cdot p_2}{\Sigma} = 22.771 \cdot \text{kN}$$

$$F_2 := F_b \cdot \frac{z_2 \cdot p_{37}}{\Sigma} = 41.409 \cdot \text{kN}$$

$$F_3 := F_b \cdot \frac{z_3 \cdot p_{37}}{\Sigma} = 55.902 \cdot \text{kN}$$

$$F_4 := F_b \cdot \frac{z_4 \cdot p_{37}}{\Sigma} = 70.395 \cdot \text{kN}$$

$$F_5 := F_b \cdot \frac{z_5 \cdot p_{37}}{\Sigma} = 84.888 \cdot \text{kN}$$

$$F_6 := F_b \cdot \frac{z_6 \cdot p_{37}}{\Sigma} = 99.381 \cdot \text{kN}$$

$$F_7 := F_b \cdot \frac{z_7 \cdot p_t}{\Sigma} = 19.179 \cdot \text{kN}$$

Momentet på bunnen blir:

$$M_1 := F_1 \cdot z_1 = 102.47 \cdot \text{kNm}$$

$$M_2 := F_2 \cdot z_2 = 372.68 \cdot \text{kNm}$$

$$M_3 := F_3 \cdot z_3 = 679.21 \cdot \text{kNm}$$

$$M_4 := F_4 \cdot z_4 = 1.077 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$$

$$M_5 := F_5 \cdot z_5 = 1.566 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$$

$$M_6 := F_6 \cdot z_6 = 2.147 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$$

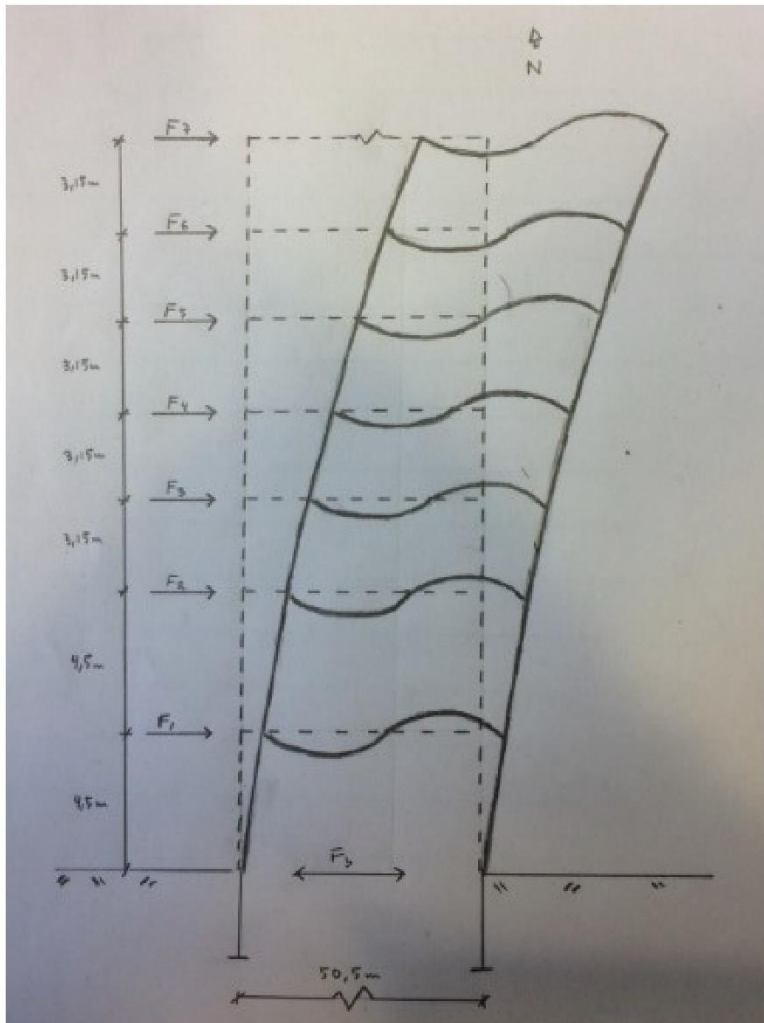
$$M_7 := F_7 \cdot z_7 = 474.673 \cdot \text{kNm}$$

$$\Sigma M := M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_7 = 6.419 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$$

Dette momentet må gå til hver vegg. Dermed blir et dimensjonerende moment for en avstiver:

$$M_{\text{Ed}} := \frac{\Sigma M}{2} = 3.209 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$$

... som altså er mindre enn momentet fra vindlasta i retninga vest mot øst (se vedlegg Håndberegning: Avstivende skive i massivtre).



Jordskjelvslasta vil være lik i både øst-vest-retning og nord-sør.

# Avstivende skive i massivtre

Dimensjonerer en avstivende skive i massivtre langs sørsida. Dette er viktig for ikke å la bygget rotere.

Antar skive av massivtre. Materialet er C24 gran med tre lameller.

$$b := 100\text{mm}$$

$$h := 3800\text{mm}$$

Fasthetsegenskaper:

$$\text{Bøyning: } f_{mk} := 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Trykk: } f_{ck} := 21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{i fiberretning}) \quad \text{Verdiene hentes fra Stora Enso.}$$

$$\text{Skjær: } f_{vk} := 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

| material values |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| material        | $f_{mk}$             | $f_{t,0,k}$          | $f_{t,90,k}$         | $f_{c,0,k}$          | $f_{c,90,k}$         | $f_{vk}$             | $f_{jk \text{ min}}$ | $E_{0,mean}$         | $G_{mean}$           | $G_{t,mean}$         |
|                 | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| C24 spruce      | 24.00                | 14.00                | 0.12                 | 21.00                | 2.50                 | 4.00                 | 1.25                 | 12,500.00            | 690.00               | 50.00                |

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

$$\text{Lastvarighetsklasse: } \text{Øyeblikkslast}$$

$$\text{Klimaklasse: } 2$$

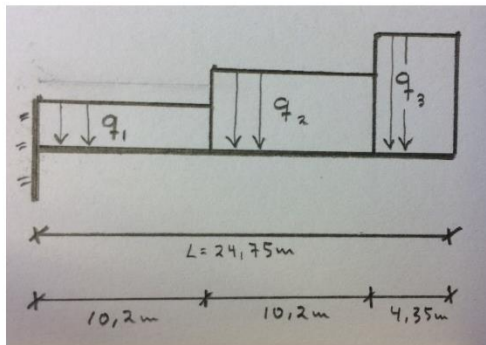
$$\text{Fashetsfaktor: } k_{mod} := 1.1$$

$$\text{Samvirkefaktor: } k_{sys} := 1.0$$

$$\text{Høydefaktor: } k_h := 1.0$$

$$\text{Motstandsmoment: } W := \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 2.407 \times 10^8 \cdot \text{mm}^3$$

Man kan tenke på vindkrefter på ei bygning som en jevnt fordelt belastning på en bjelke. Dette forenkler tenkningen for min del.



Har fra før regnet ut den totale vindlasta fra hver sone:

$$w_{t1} := 251.431 \text{ kN}$$

$$w_{t2} := 287.35 \text{ kN}$$

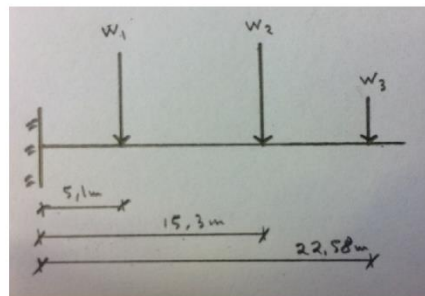
$$w_{t3} := 129.111 \text{ kN}$$

Men avstivereren på sørsida skal kun ta halve belastninga

$$w_1 := \frac{w_{t1}}{2} = 125.716 \cdot \text{kN}$$

$$w_2 := \frac{w_{t2}}{2} = 143.675 \cdot \text{kN}$$

$$w_3 := \frac{w_{t3}}{2} = 64.555 \cdot \text{kN}$$



$$L_1 := 5.1 \text{ m}$$

$$L_2 := 15.3 \text{ m}$$

$$L_3 := 22.58 \text{ m}$$

Finner det totale momentet ved å superposisjonere.

$$M_1 := w_1 \cdot L_1 = 641.149 \cdot \text{kNm}$$

$$M_2 := w_2 \cdot L_2 = 2.198 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$$

$$M_3 := w_3 \cdot L_3 = 1.458 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$$

$$\Sigma M := M_1 + M_2 + M_3 = 4.297 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$$

er det totale momentet skapt av vindkrafta.



Ønsker å sjekke tverrsnittskapasiteten og må finne aksialkrafta.

Aksialkrafta kommer av nyttelasta, egenvekta, snølasta og taklasta skivene må bære.  
Egenvekta og taklasta er permanente og får lastfaktor 1.2, nyttelasta dominerer og får 1.5 og snølasta får 1.05

Egenlast:

Vi har sju skiver. Fem har høyde lik  $h_{et1} := 3.15\text{m}$  To har høyde lik  $h_{et2} := 4.5\text{m}$

Antar tyngdetetthet  $\rho := 4.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

$$g := (5 \cdot h_{et1} + 2 \cdot h_{et2}) \cdot \rho \cdot b \cdot 1.2 = 13.959 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Nyttelast:

Den nederste skiva må bære seks etasjer med nyttelast  $2.0\text{kN/m}^2$ . Dette gir etasjereduksjonsfaktoren:

$$n := 6$$

$$\alpha_n := \frac{2 + (n - 2) \cdot 0.7}{n} = 0.8$$

$$q := 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.95\text{m} \cdot 1.5 \cdot \alpha_n \cdot n = 28.08 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Snølast:

Snølasta er  $3.0\text{kN/m}^2$  i Ålesund.

Flatt tak gir  $\mu := 0.8$

$$s := 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.95\text{m} \cdot \mu \cdot 1.05 = 4.914 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Taklast:

Bygget har et lettak med vekt på  $0.43\text{kN/m}^2$ .

$$p := 0.43 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.95\text{m} \cdot 1.2 = 1.006 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

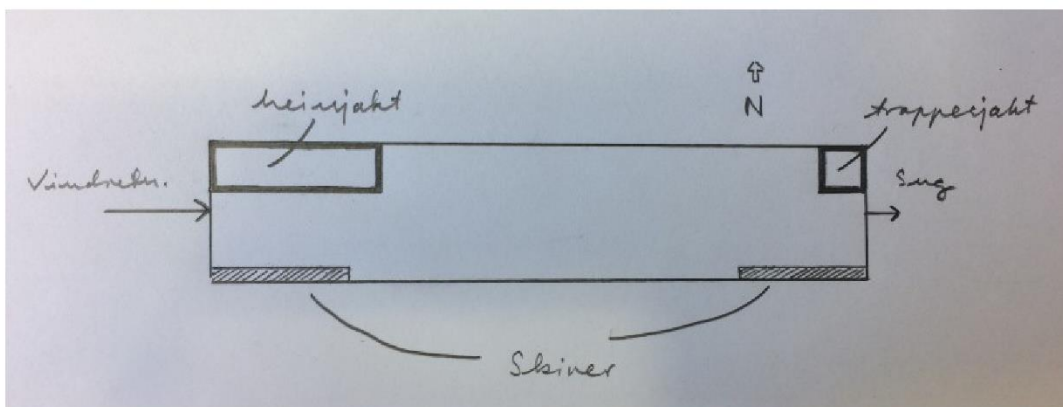
Total aksiallast blir dermed:

$$N_{Ed} := (g + q + s + p) \cdot 3.8\text{m} = 182.245 \cdot \text{kN}$$

Total skjærkraft må være lik summen av kreftene i horisontal retning:

$$\Sigma V := w_1 + w_2 + w_3 = 333.946 \cdot \text{kN}$$

Vi fordeler en avstivende skive til hver ytterkant.



Da vil hver skive ta halve momentet og halve skjærkrafta.

$$M_{Ed} := \frac{\Sigma M}{2} = 2.149 \times 10^3 \cdot \text{kNm} \quad V_{Ed} := \frac{\Sigma V}{2} = 166.973 \cdot \text{kN}$$

Ved skjærspenningskontroll av bøyemoment bør det tas hensyn til defekter i trevirket. Derfor minskes tverrsnittsbredden med 67%.

$$b_{ef} := 0.67 \cdot b$$

Dimensjonerende spenninger:

$$\sigma_{md} := \frac{M_{Ed}}{W} = 8.927 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{dimensjonerende bøyenspenning}$$

$$\tau_{vd} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{b_{ef} \cdot h} = 0.984 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{dimensjonerende skjærspenning}$$

Dimensjonerte materialfasthet:

$$f_{md} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod} \cdot k_{sys}}{\gamma_m} = 22.957 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod} \cdot k_{sys}}{\gamma_m} = 3.826 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kontroll:

$$\text{Bøyning: } \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} = 0.389 \quad \text{OK!}$$

$$\text{Skjær: } \tau_{vd} = 0.984 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{mindre enn } f_{vd} = 3.826 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{OK!}$$

Tverrsnittskapasitet:

Sjekker for interaksjon mellom bøyning og aksialkraft.

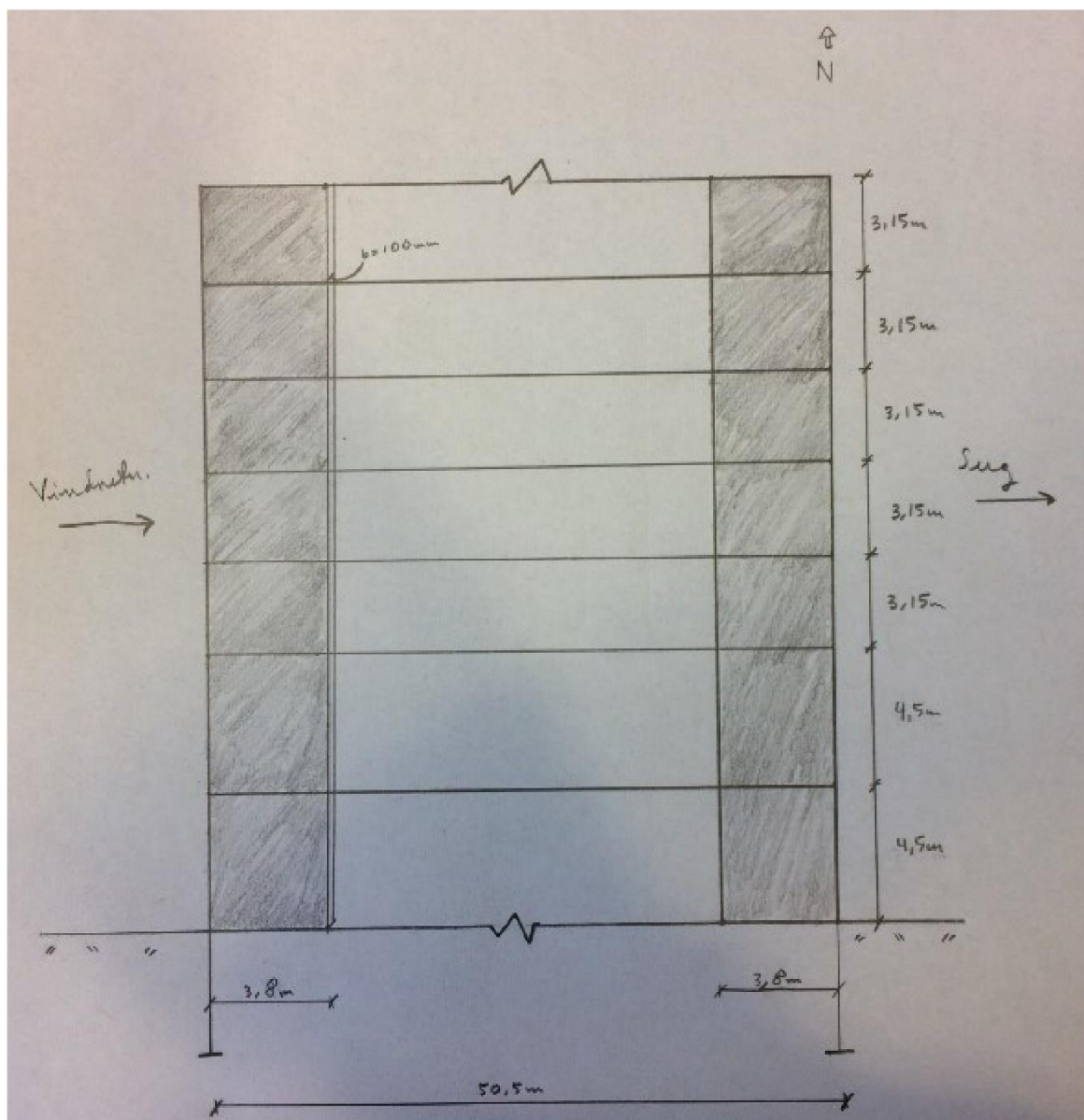
$$\sigma_{cd} := \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = 0.48 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck} \cdot k_{mod} \cdot k_{sys}}{\gamma_m} = 20.087 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kapasiteten blir:

$$\left( \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \right)^2 + \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} = 0.389 \quad \text{som er mindre enn 1} \quad \text{OK!}$$

Har nå kontrollert at skiver på hver ytterkant med bredde 100mm og høyde 3.8m kan ta vindkrafta i vest-øst-retning.

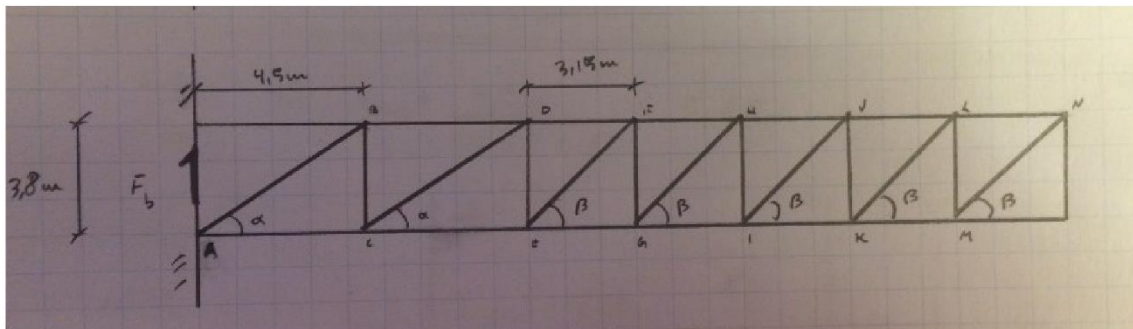


## Fagverk i limtre

Per Kr. Larsen (Konstruksjonsteknikk, 2008, s. 73) forteller at stavene i et fagverk kun skal overføre aksialkrefter. Det vil dermed si at vi kun skal dimensjonere fagverket vårt for enten den totale jordskjelvlasta eller total vindlast. Vi dimensjonerer for størst påkjenning.

Antar de respektive søylene tar opp kreftene fra egenlast og nyttelaster.

Det hjelper å tenke på bygningen som en utkraget bjelke og at fagverket skal stive av bjelken.



$$H := 3.8\text{m} \quad L_1 := 4.5\text{m} \quad L_2 := 3.15\text{m}$$

$$\alpha := \operatorname{atan}\left(\frac{H}{L_1}\right) = 40.179 \cdot \text{deg} \quad \beta := \operatorname{atan}\left(\frac{H}{L_2}\right) = 50.343 \cdot \text{deg}$$

Fra jordskjelvsberegninga har vi at den totale jordskjelvlasta er:

$$F_b := 393.93\text{kN}$$

Denne lasta skal virke på hele bygninga og kun halve lasta skal virke på sørsida.

$$F_{\text{jord}} := \frac{F_b}{2} = 196.965 \cdot \text{kN}$$

Fra vindlastberegninga (vest - øst) har vi at den totale vindlasta som funker på halve veggen blir:

$$W_{\text{tot}} := 333.95\text{kN}$$

$W_{\text{tot}} > F_{\text{jord}}$  altså må fagverket dimensjoneres etter vindlasta.



**Sjekker for diagonalstavene AB og CD.**

$$F_{AB} := \frac{W_{tot}}{\sin(\alpha)} = 517.607 \cdot \text{kN}$$

$$L_{AB} := \frac{L_1}{\cos(\alpha)} = 5.89 \text{ m}$$

Bruker limtre GL32h.       $b := 200 \text{ mm}$      $h := 350 \text{ mm}$        $\beta_c := 0.1$

$$f_{ck} := 29 \text{ MPa}$$

$$E_{0.05} := 11100 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M := 1.15$$

$$k_{mod} := 1.1$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 27.739 \cdot \text{MPa}$$

Påkjenning:

Dimensjonerende last:

$$F_{AB} = 517.607 \cdot \text{kN}$$

Dimensjonerende trykkspenning:

$$\sigma_{cd} := \frac{F_{AB}}{b \cdot h} = 7.394 \cdot \text{MPa}$$

Styrke:

Kneklengde:

$$L_{AB} = 5.89 \text{ m}$$

Treghetsradius:

$$i_z := 0.29 \cdot b = 58 \cdot \text{mm}$$

Slankhet:

$$\lambda_z := \frac{L_{AB}}{i_z} = 101.549$$

Relativ slankhet:

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{E_{0.05}}} = 1.652$$

Knekkfaktor:

$$k_z := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2 \right] = 1.932$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.341$$

Kontroll:

$$\frac{\sigma_{cd}}{k_{c,z} \cdot f_{cd}} = 0.782 < 1.0$$

OK!

**Sjekker for diagonalstavene EF, GH, IJ, KL, MN.**

$$F_{EF} := \frac{W_{tot}}{\sin(\beta)} = 433.769 \cdot \text{kN}$$

$$L_{EF} := \frac{L_2}{\cos(\beta)} = 4.936 \text{ m}$$

Bruker limtre GL32h.       $b := 200 \text{ mm}$        $h := 350 \text{ mm}$        $\beta_c := 0.1$

$$f_{ck} := 29 \text{ MPa}$$

$$E_{0.05} := 11100 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M := 1.15$$

$$k_{mod} := 1.1$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 27.739 \cdot \text{MPa}$$

Påkjenning:

Dimensjonerende last:

$$F_{EF} = 433.769 \cdot \text{kN}$$

Dimensjonerende trykkspenning:

$$\sigma_{cd} := \frac{F_{EF}}{b \cdot h} = 6.197 \cdot \text{MPa}$$

Styrke:

Knekk lengde:

$$L_{EF} = 4.936 \text{ m}$$

Treghetsradius:

$$i_z := 0.29 \cdot b = 58 \cdot \text{mm}$$

Slankhet:

$$\lambda_z := \frac{L_{EF}}{i_z} = 85.101$$

Relativ slankhet:

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{E_{0.05}}} = 1.385$$

Knekkfaktor:

$$k_z := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2 \right] = 1.513$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.471$$

Kontroll:

$$\frac{\sigma_{cd}}{k_{c,z} \cdot f_{cd}} = 0.474 < 1.0 \text{ OK!}$$

Dermed har vi bevist at for avstivning av jordskjelv holder dimensjonen:

$$h = 350 \cdot \text{mm} \quad b = 200 \cdot \text{mm}$$

Denne dimensjonen holder for diagonalstavene oppover hele bygningen.

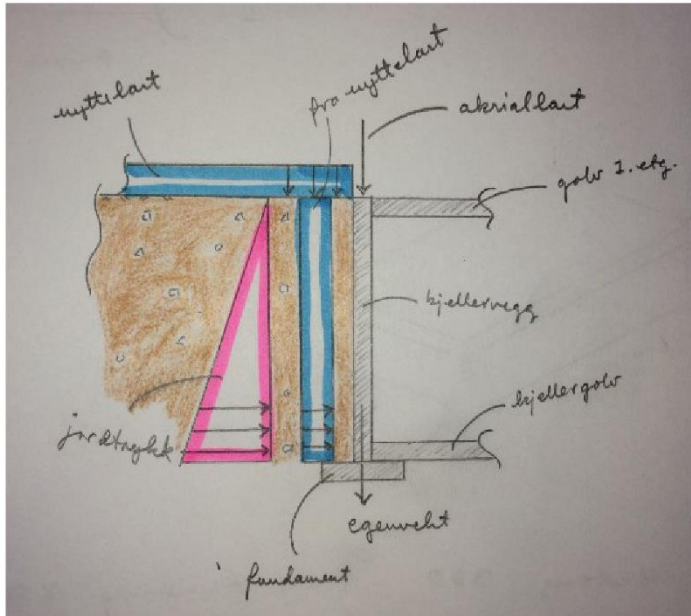
For de to første etasjene på 4,5m blir stavene 78,2% utnyttet, for de fem andre på 3,15m 47,4%.

Plasseringen til fagverket er likegyldig, så lenge de er på sørsiden av bygningen. Det er ønskelig å ha de over og under hverandre.

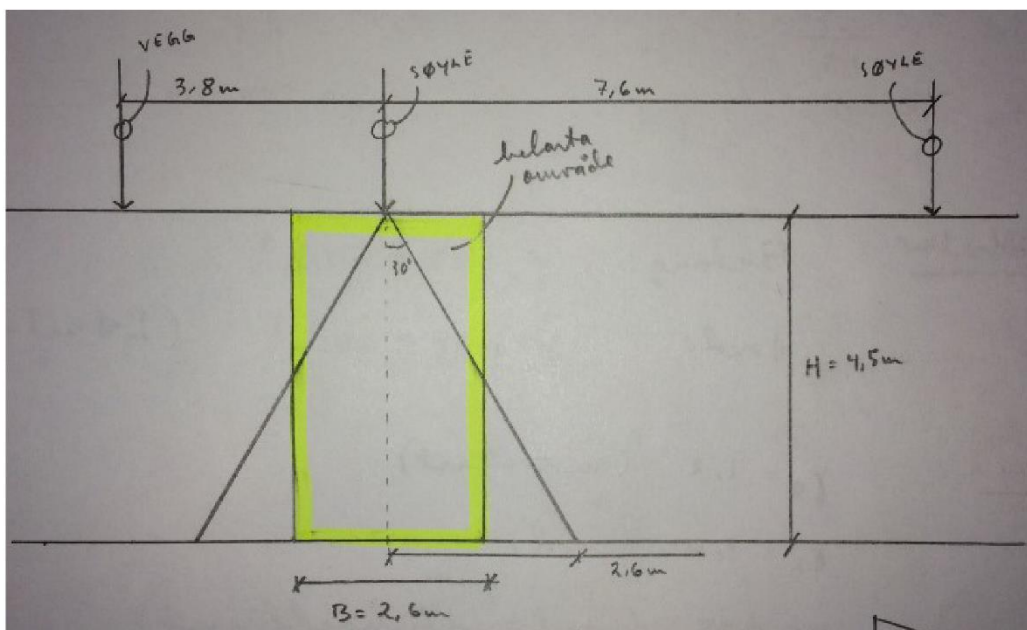
# Kjellervegg

Dimensjonerer kjellerveggen under søyla i akse B11.

Antar arealet over jordfyllinga (gangen mellom lab-bygget og studenttorget) faller inn under kategori C5.



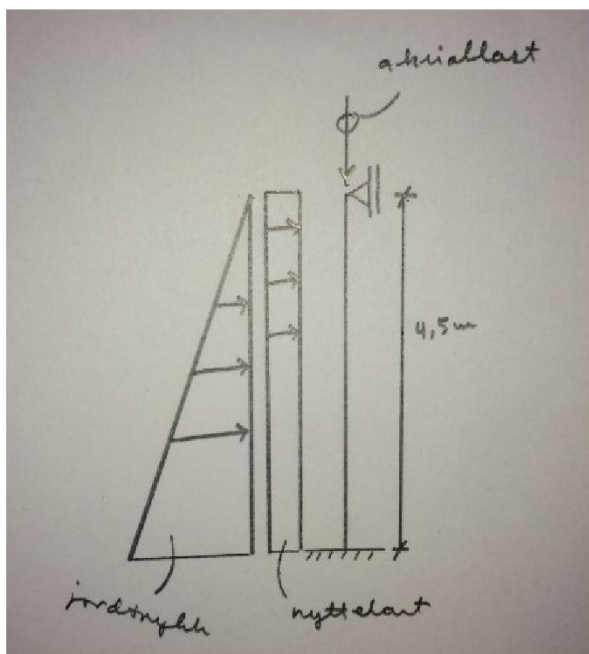
Man finner det belasta området ved å gå 30 grader ut fra aktuell søyle og til midten av hver rettvinkla trekant.



Arealet på det belasta området blir:

$$B := 2.6m \quad L := 4.5m$$

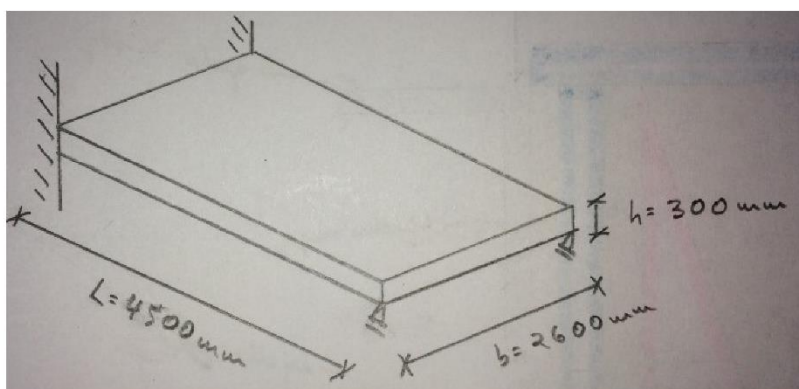
Siden kjellerveggen er forankret til fundament og ligger løst inntil golvet i 1. etasje, vil det statiske systemet bli seendes slik ut:



Fremgangsmåten heretter blir å beregne maksimalt moment ved å superposisjonere nyttelasta, jordtrykket og minsteeksentrisiteten fra aksiallasta.

Bruker deretter et M-N-diagram og finner minste armeringsmengde.

Veggen sett på som en bjelke:



Material:

Betong B30  $f_{ck} := 30\text{MPa}$

Armering B500C  $f_{yk} := 500\text{MPa}$

Leser av en tidligere geoteknisk rapport av området rundt NTNU Ålesund at:  
"Grunnforholdene er i hovedsak dominert av faste til meget faste masser av et moreneaktig materiale som til dels er sandig."

Konkluderer i samtale med Kristian Normann tyngdetettheten til jorda til å bli:

Tyngdetetthet til jord:  $\rho_j := 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$       Jordtrykkskoeffisienten:  $\mu := 0.35$

Velger lastfaktorer:

Nyttelast:  $\gamma_Q := 1.2$

Jordtrykk:  $\gamma_j := 1.0$

Antar aksiallasta til søyla til å bli:

Aksiallast:  $N_{Ed} := 350.0\text{kN}$

Nyttelast:  $q_k := 5.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$        $Q_k := 4.0\text{kN}$

Prøver veggdimensjonen:

$h := 300\text{mm}$

$d_2 := 60\text{mm}$

Det gir M-N-diagrammet  $\frac{d_2}{h} = 0.2$

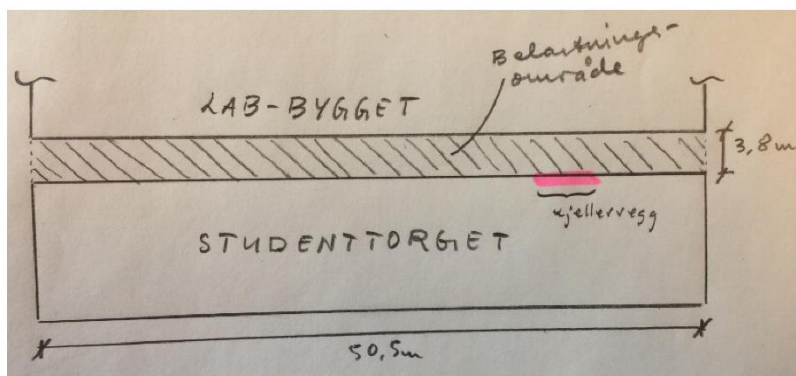
Moment 1 - Nyttelast

Om vi ser for oss en enkel modell hvor det totale arealet som er belastet av nyttelasten er:

$$A := 50.5 \cdot 3.8 = 191.9 \quad (\text{dimensjonsløst})$$

... kan vi redusere nyttelasta med arealreduksjonsfaktoren.

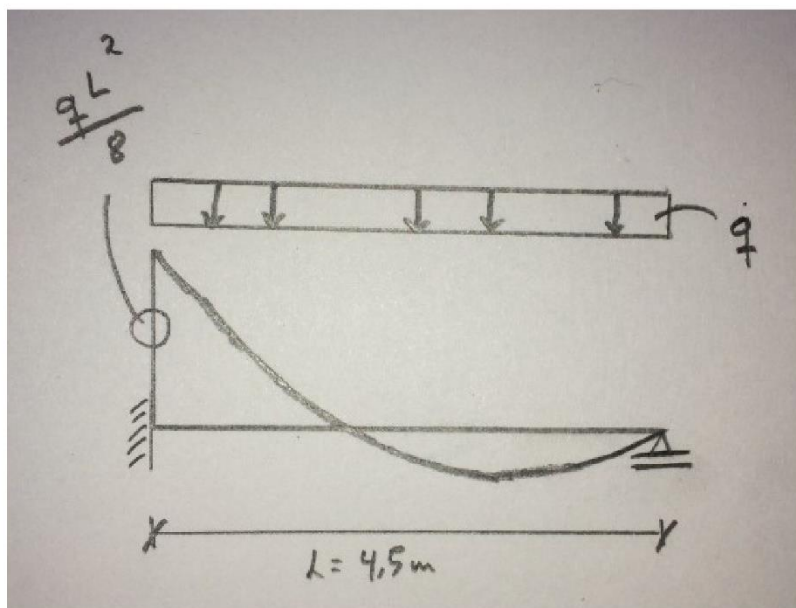
$$\alpha_A := 5 \cdot \frac{0.7}{7} + \frac{15}{A} = 0.578$$



Selv om dette er en drøy forenkling, blir momentet til nyttelasta såpass liten at arealreduksjonsfaktoren ikke utgjør særlig fra eller til uansett.

Nyttelasta blir dermed:

$$q := q_k \cdot \alpha_A \cdot B \cdot \gamma_Q \cdot \mu = 3.157 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{Husk at nyttelasta går gjennom jord, og må reduseres med jordtrykkskoeffisienten}).$$

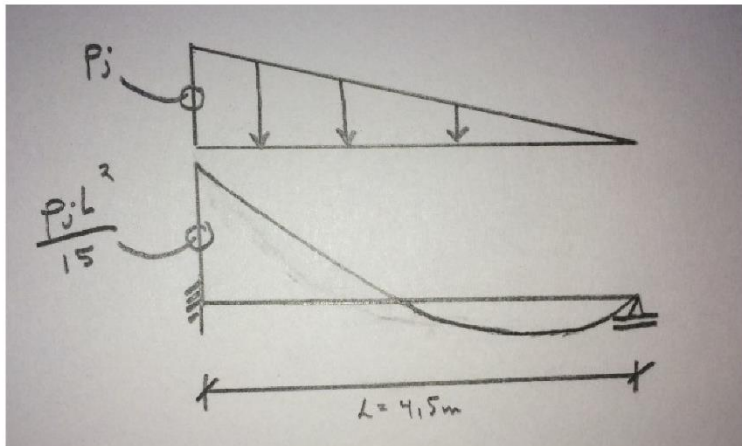


$$M_1 := \frac{q \cdot L^2}{8} = 7.991 \cdot \text{kNm}$$

Moment 2 - Jordtrykk

Jordlasta blir:

$$p_j := \rho_j \cdot \mu \cdot L \cdot B \cdot \gamma_j = 77.805 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



$$M_2 := \frac{p_j \cdot L^2}{15} = 105.037 \cdot \text{kNm}$$



Moment 3 - Minsteeksentrisitet

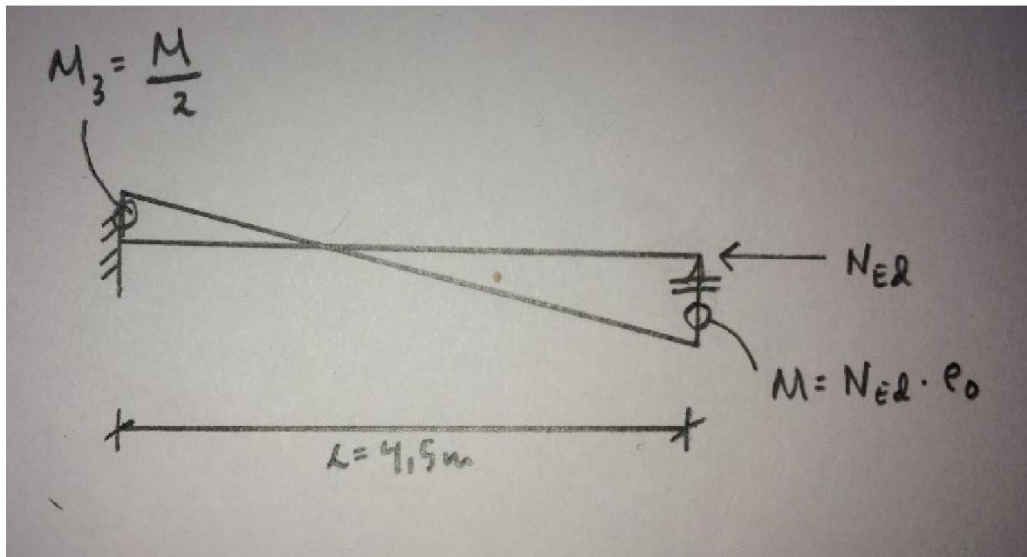
Betongkonstruksjoner (Svein Ivar Sørensen, 2. utgave) definerer minsteeksentrisiteten til:

$$M = N_{Ed} \cdot e_0$$

$$e_0 := \begin{cases} \frac{h}{30} & \text{if } \frac{h}{30} > 20\text{mm} \\ (20\text{mm}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$e_0 = 0.02 \text{ m} \quad \text{siden} \quad \frac{h}{30} = 0.01 \text{ m}$$

$$M := N_{Ed} \cdot e_0 = 7 \cdot \text{kNm}$$



$$M_3 := \frac{M}{2} = 3.5 \cdot \text{kNm}$$

Totalt moment blir dermed:

$$M_{\text{tot}} := M_1 + M_2 + M_3 = 116.527 \cdot \text{kNm}$$

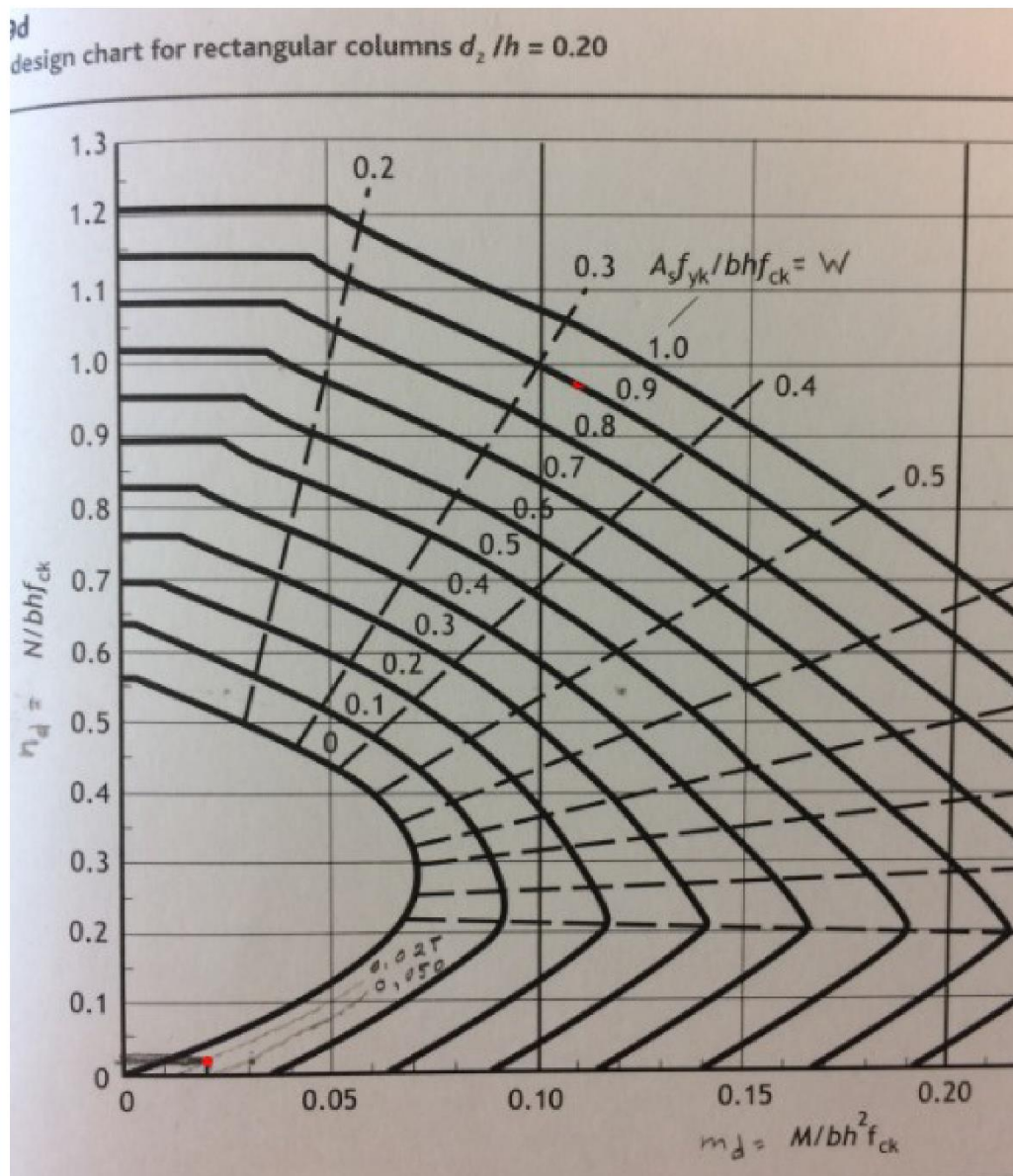
Bruker altså M-N-diagram 0.2.

$$m_d := \frac{M_{tot}}{B \cdot h^2 \cdot f_{ck}} = 0.017 \quad \text{runder av} \quad m_d := 0.02$$

$$n_d := \frac{N_{Ed}}{B \cdot h \cdot f_{ck}} = 0.015 \quad \text{runder av} \quad n_d := 0.02$$

Leser av w:

$$w := 0.025$$



Finner minste armeringsmengde:

$$A_{smin} := \frac{w \cdot B \cdot h \cdot f_{ck}}{f_{yk}} = 1.17 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Om vi bruker lengdearmering  $\Phi 20\text{mm}$ , vil tverrsnittet til hver stang være:

$$A_{stang} := \pi \cdot (10\text{mm})^2 = 314.159 \cdot \text{mm}^2$$

Dermed blir antall stenger:

$$n := \frac{A_{smin}}{A_{stang}} = 3.724 \quad \text{runder opp} \quad n := 4$$

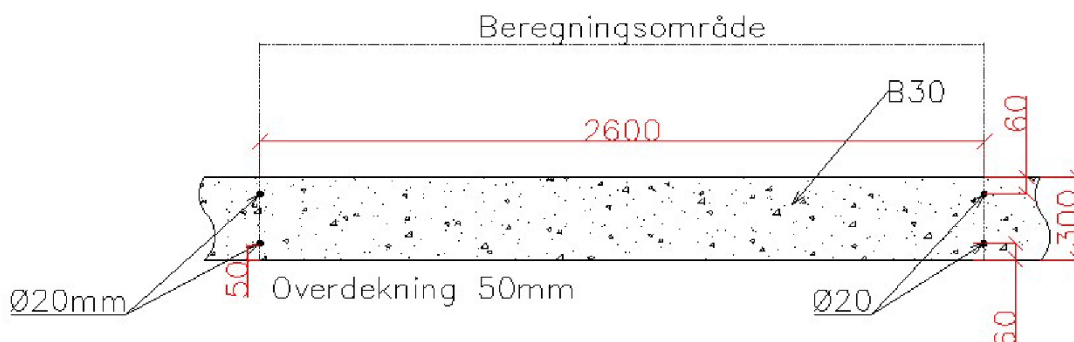
Total armeringsmengde blir:

$$A_s := n \cdot A_{stang} = 1.257 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Altså vil kjellerveggen ha  $2\Phi 20\text{mm}$  på hver side på 2.6m.

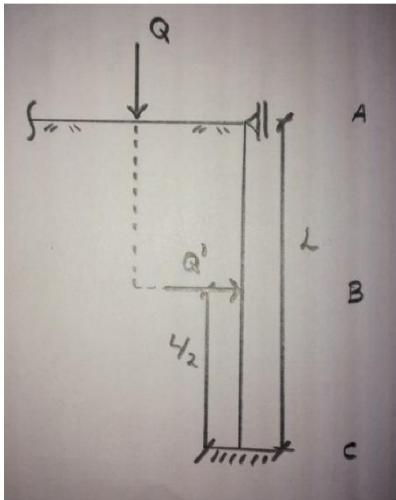
$$A_{s1} := \frac{A_s}{2} = 628.319 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s2} := A_{s1} = 628.319 \cdot \text{mm}^2$$



Moment 4 - Nyttelast som punktlast

Hva så om vi regner nyttelasta som punktlast istedenfor jevnt fordelt?



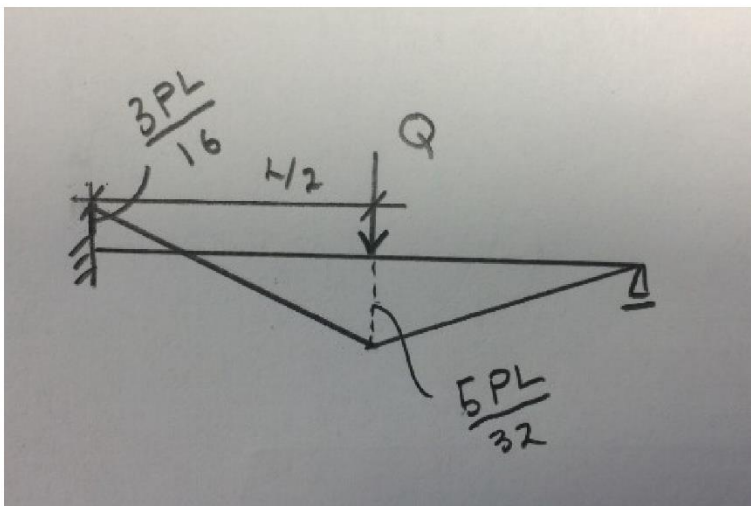
Om punktlasta treffer i A eller C, vil momentet bli 0 kNm.

Det største momentet gis dermed om krafta treffer i midten.

$$Q := 4.0 \text{ kN}$$

$$M_4 := \frac{3 \cdot Q \cdot \gamma_Q \cdot \mu \cdot L}{16} = 1.417 \cdot \text{kNm}$$

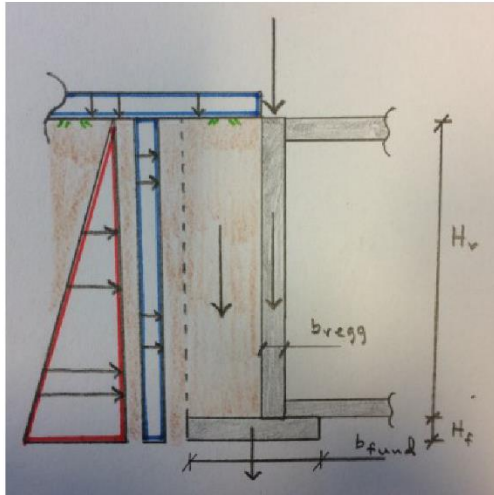
... som er mye mindre enn momentet gitt av den jevnt fordelte lasta.



# Fundament

Kontrollerer kjellerveggen for stabilitet (velting om punkt A).  
Kontrollerer i tillegg for maks grunntrykk og glidning.

Dette må vi gjøre for å finne dimensjonen på fundamentet.



$b_{\text{vegg}} := 300\text{mm}$  Bredden på veggen.

$b_{\text{vingv}} := 1100\text{mm}$  Venstre "vinge" til fundamentet.

$b_{\text{vingh}} := 500\text{mm}$  Høyre "vinge" til fundamentet.

$b_{\text{fund}} := b_{\text{vingv}} + b_{\text{vingh}} + b_{\text{vegg}} = 1.9\text{ m}$  Bredden på fundamentet.

$B := 2.6\text{m}$  Bredden på veggen i planet (se beregning av kjellervegg).

$H_v := 4.5\text{m}$  Høyden på kjellerveggen.

$H_f := 300\text{mm}$  Høyden på fundamentet.

$H := H_v + H_f = 4.8\text{ m}$  Total høyde på kjellervegg og fundament.

$\mu := 0.35$  Jordtrykkskoeffisienten.

$\gamma_Q := 1.2$  Lastfaktor for nyttelast.

$\alpha_A := 0.58$  Arealreduksjonsfaktor (se beregning av kjellervegg).

$\rho_b := 25.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  Tyngdetettheten for betong.

$\rho_j := 19.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  Tyngdetettheten for jord.

$N_{Ed} := 350\text{kN}$  Aksiallasta.

$q_n := 5.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  Nyttelasta.

Total vekt, v:

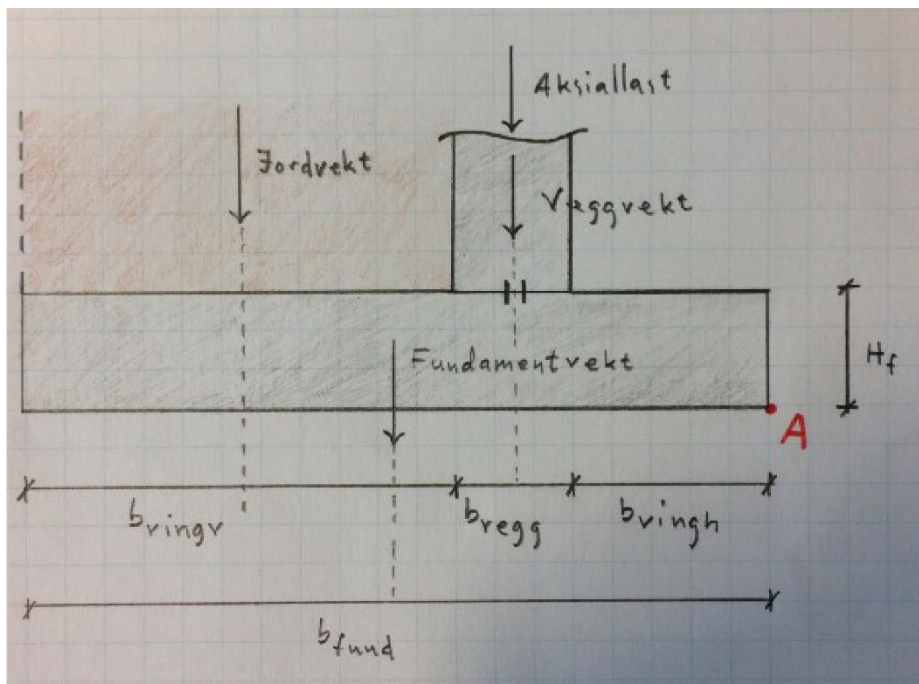
Jordvekt:  $v_j := \rho_j \cdot H_v \cdot b_{vingv} \cdot B = 244.53 \cdot \text{kN}$

Veggvekt:  $v_v := \rho_b \cdot H_v \cdot b_{vegg} \cdot B = 89.505 \cdot \text{kN}$

Fund.vekt:  $v_f := \rho_b \cdot H_f \cdot b_{fund} \cdot B = 37.791 \cdot \text{kN}$

$v := v_j + v_v + v_f + N_{Ed} = 721.826 \cdot \text{kN}$

Stabiliserende moment - Moment om A:



Arma til jordmomentet:  $a_{jord} := b_{vingh} + b_{vegg} + \frac{b_{vingv}}{2} = 1.35 \text{ m}$

Arma til veggmomentet:  $a_{vegg} := b_{vingh} + \frac{b_{vegg}}{2} = 0.65 \text{ m}$

Arma til fundamentmomentet:  $a_{fund} := \frac{b_{fund}}{2} = 0.95 \text{ m}$

Arma til aksiallasta:  $a_{aksial} := b_{vingh} + \frac{b_{vegg}}{2} = 0.65 \text{ m}$

Jordlast:  $M_{jordv} := \rho_j \cdot H_v \cdot b_{vingv} \cdot B \cdot a_{jord} = 330.116 \cdot \text{kNm}$

Kjellervegg:  $M_{veggv} := \rho_b \cdot H_v \cdot b_{vegg} \cdot B \cdot a_{vegg} = 58.178 \cdot \text{kNm}$

Fundament:  $M_{fundv} := \rho_b \cdot H_f \cdot b_{fund} \cdot B \cdot a_{fund} = 35.901 \cdot \text{kNm}$

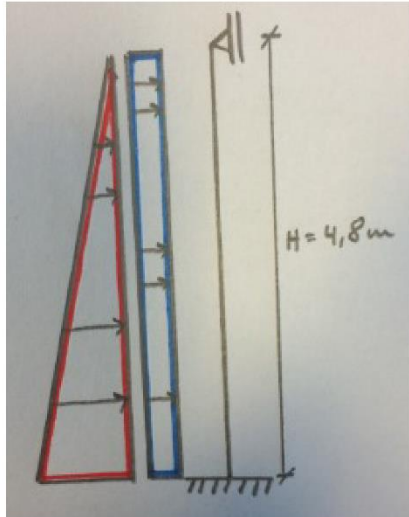
Aksiallast:  $M_{aksialv} := N_{Ed} \cdot a_{aksial} = 227.5 \cdot \text{kNm}$

$M_v := M_{jordv} + M_{veggv} + M_{fundv} + M_{aksialv} = 651.695 \cdot \text{kNm}$       Stabiliserende moment.



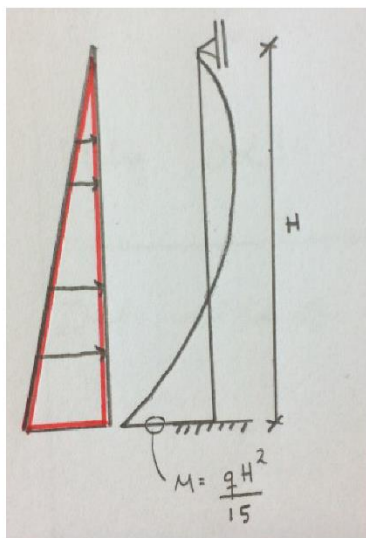
Veltende moment - Moment om A:

Må først regne ut hvor mye jordtrykket blir og hva trykket fra nyttelasta blir. Antar at jordtrykkskoeffisient er 0.35 og arealreduksjonsfaktoren er 0.58 (se beregninga av kjellerveggen).

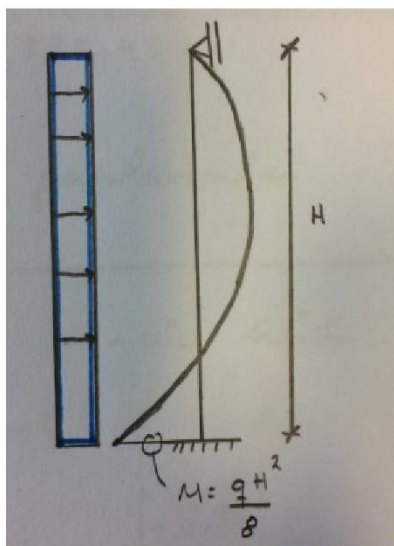


Jordtrykk:  $p_j := \rho_j \cdot H \cdot B \cdot \mu = 82.992 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Nyttelast:  $p_n := q_n \cdot B \cdot \mu \cdot \gamma_Q \cdot \alpha_A = 3.167 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$



Jordlast:  $M_{\text{jordh}} := \frac{p_j \cdot H^2}{15} = 127.476 \cdot \text{kNm}$



Nyttelast:  $M_{\text{nytteh}} := \frac{p_n \cdot H^2}{8} = 9.12 \cdot \text{kNm}$

$M_h := M_{\text{jordh}} + M_{\text{nytteh}} = 136.596 \cdot \text{kNm}$

Veltende moment.

Finner resultanten,  $s_v$ , fra punkt A:

$$s_v := \frac{M_v - M_h}{v} = 0.714 \cdot m \quad \text{Større enn 0.0m. OK!}$$

Kontrollerer maks grunntrykk:

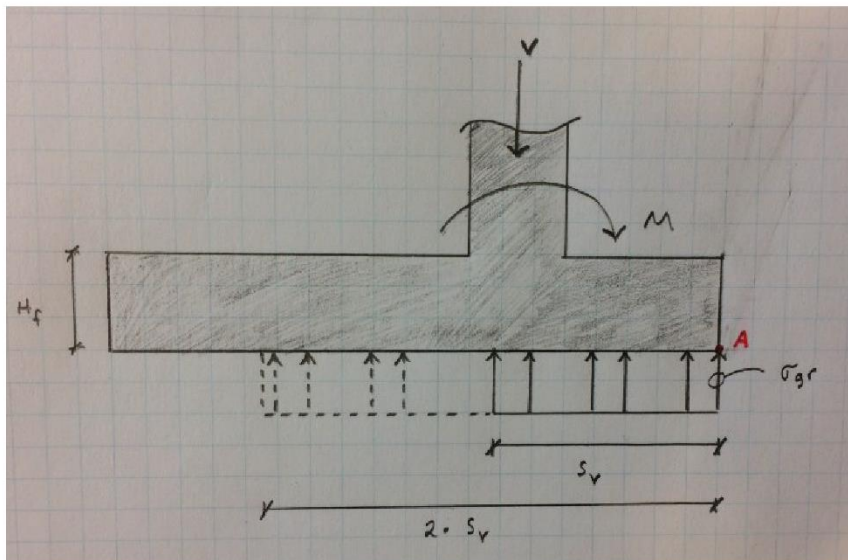
I samtale med Kristian Normann kom vi fram til at en fornuftig verdig for maksimalt grunntrykk er:

$$\sigma_{\text{grmaks}} := 250 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{\text{gr}} := \frac{v}{2 \cdot s_v \cdot B} = 194.523 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Utregna grunntrykk.}$$

$$\sigma_{\text{gr}} < \sigma_{\text{grmaks}} \quad \text{OK!}$$

Utnyttelse:  $\frac{\sigma_{\text{gr}}}{\sigma_{\text{grmaks}}} = 0.778$  Altså har vi dimensjonert fundamentet til å utnytte grunntrykket 77.8%.



Vi trenger ikke regne på glidning for fundamentet, siden vi kan anta at kjellergolvet "holder igjen" for glidning.



# Stålbjelke

Vi har ikke planlagt å regne mye på stål og betong. Vi har kun valgt oss ut én bjelke og ei søyle som blir dimensjonen på alle andre bjelker og søyler i betong og stål-bygget. Vi trenger kun noe å sammenligne massivtrebygget vårt med.

Tenkt bjelke ligger i øst-vest-retning på sørsida oppunder en hybel. Den vil få et belastningsareal på sin egen bredde ganget med 5,1 m, fordi vi tenker å legge hulldekkene sør til nord med spennvidde 10,2 m.

Bjelken vil kun bli kontrollert for tverrsnittskapasitet, ikke vipping eller nedbøyning.

Kategori A: Jevnt fordelt last:  $q_k := 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Punktlast:  $Q_k := 2.0 \text{kN}$

Lastfaktorer (B2):  $\gamma_G := 1.2$  (egenvekt)

$\gamma_Q := 1.5$  (nyttelast)

Bruker HEA-200. Ifølge Norsk Stål veier en HEA-200 som er 10m lang 431kg/stk. Det vil si at egenvekta til bjelken er 43,1kg/m -> 0,431kN/m.

$$p_b := 0.43 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Leser dimensjonen til hulldekket av i tabell (se kapittel 2.2.5 Hulldekke i rapporten).

- Spennvidde: ca. 10m. - Bruksgrenselast: 2,0kN/m<sup>2</sup>.

Kommer fram til hulldekke m/høyde 200mm. Vekt: 3,0kN/m<sup>2</sup>.

$$p_d := 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Vinduene er 301cm høye. De har en egenvekt på:

$$p_v := 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lengden av bjelken:  $L := 3.8\text{m}$

Bredden av belastningsområdet:  $B := 5.1\text{m}$

Høyden på vinduene:  $H_v := 301\text{cm}$

Laster:

Egenvekt - bjelke:  $g_b := p_b \cdot \gamma_G = 0.516 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Egenvekt - dekke:  $g_d := p_d \cdot \gamma_G \cdot B = 18.36 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Egenvekt - vindu:  $g_v := p_v \cdot \gamma_G \cdot H_v = 1.084 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Nyttelast - jevnt fordelt:  $q := q_k \cdot \gamma_Q \cdot B = 15.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Nyttelast - punktlast:  $Q := Q_k \cdot \gamma_Q = 3 \cdot \text{kN}$

$M_{Ed1} := \frac{(g_b + g_d + g_v + q) \cdot L^2}{8} = 63.644 \cdot \text{kNm}$  Moment med jevnt fordelt last.

$M_{Ed2} := \frac{Q \cdot L}{4} + \frac{(g_d + g_b + g_v) \cdot L^2}{8} = 38.877 \cdot \text{kNm}$  Moment med punktlast.

Jevnt fordelt last gir det største momentet.

$V_{Ed1} := \frac{(g_d + q + g_b + g_v) \cdot L}{2} = 66.993 \cdot \text{kN}$  Skjærkraft med jevnt fordelt last.

$V_{Ed2} := \frac{Q}{2} + \frac{(g_d + g_b + g_v) \cdot L}{2} = 39.423 \cdot \text{kN}$  Skjærkraft med punktlast.

Jevnt fordelt last gir størst skjærkraft.

Må bruke Von Mises for en én-akset spenningstilstand til å kontrollere om profilet er bra nok.

HEA-200:

$f_y := 355 \text{MPa}$

$\gamma_M := 1.05$

$W_{yel} := 389 \cdot 10^3 \text{mm}^3$

Finner skjærarealet til tverrsnittet:

$$A := 5.38 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$b := 200 \text{ mm}$$

$$t_f := 10 \text{ mm}$$

$$t_w := 6.5 \text{ mm}$$

$$r := 18 \text{ mm}$$

$$A_v := A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 1.805 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_M} = 338.095 \cdot \text{MPa} \quad \text{Dimensjonerende spenning.}$$

Vi antar at vindlasta vil virke som aksiallast på bjelken. Se utregninga av vindlast eller utregninga av fagverk.

$$\text{Total vindlast: } W_{\text{tot}} := 333.95 \text{ kN}$$

$$\sigma := \frac{M_{\text{EdI}}}{W_{\text{yel}}} + \frac{W_{\text{tot}}}{A} = 225.681 \cdot \text{MPa} \quad \text{Normalspenning}$$

$$\tau := \frac{V_{\text{EdI}}}{A_v} = 37.115 \cdot \text{MPa} \quad \text{Skjærspenning}$$

Von Mises for en-akset spenningstilstand sier:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 234.658 \cdot \text{MPa} \quad \text{som er mindre enn} \quad f_{yd} = 338.095 \cdot \text{MPa} \quad \text{OK!}$$

$$\text{Utnyttelse: } \frac{234.658 \text{ MPa}}{338.095 \text{ MPa}} = 0.694 \quad \text{Omtrent 70\% utnyttta. Det er nok rom for å minke dimensjonen ...}$$

## Hva med HEA-200 for takbjelkene?

Egenvekt - lett-tak:  $p_t := 0.43 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Takvekt per meter:  $g_t := p_t \cdot \gamma_G \cdot B = 2.632 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Snølast:  $p_s := 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  Snøkoeffisient:  $\mu := 0.8$

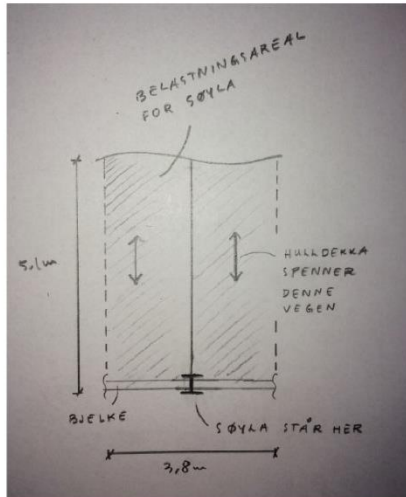
Snølast per meter:  $s := p_s \cdot \mu \cdot B \cdot \gamma_Q = 18.36 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$M_{Ed3} := \frac{(s + g_t + g_b) \cdot L^2}{8} = 38.821 \cdot \text{kNm}$$

Siden  $M_{Ed3} < M_{Ed1}$  kan vi allerede nå konkludere med at; ja - HEA-200 kan være takbjelke også.

# Stålsøyle

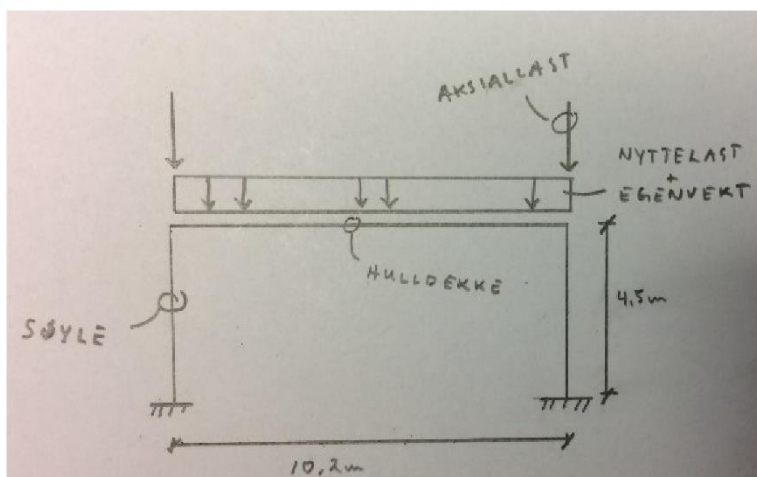
Med mindre annet er oppgitt, vil alle sidetall referere til Dimensjonering av stålkonstruksjoner (Per Kr. Larsen, 2. utg.).



| Last      | Vekt  | Faktorer         | Antall | kN       | Faktorer forklaring:                               |
|-----------|---|------------------|--------|----------|--|
| Snølast   | $3,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,1 \text{ m} \cdot 3,8 \text{ m}$  | $0,8 \cdot 1,05$ | 1      | 48,84    | Snøkoeffisient * øvrig variabel last               |
| Lettak    | $0,43 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,1 \text{ m} \cdot 3,8 \text{ m}$ | 1,2              | 1      | 10,00    | Egenvekt   |
| Hulldekke | $0,43 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,1 \text{ m} \cdot 3,8 \text{ m}$ | 1,2              | 6      | 60,00    | Egenvekt   |
| Nyttelast | $2,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,1 \text{ m} \cdot 3,8 \text{ m}$  | $1,5 \cdot 0,8$  | 6      | 279,07   | Dominerende variabel last * etasjereduksjonsfaktor |
| Bjelke    | $0,43 \text{ kN/m} \cdot 3,8 \text{ m}$                       | 1,2              | 7      | 13,73    | Egenvekt   |
| Vindu     | $0,3 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,01 \text{ m} \cdot 3,8 \text{ m}$ | 1,2              | 6      | 24,71    | Egenvekt   |
| Søyle     | $0,43 \text{ kN/m} \cdot 3,15 \text{ m}$                      | 1,2              | 6      | 9,75     | Egenvekt   |
| Sum:      |   |                  |        | 446,1 kN |  |

Aksiallast:  $N_{\text{aksial}} := 446,1 \text{ kN}$

Antar vi kan betrakte søylene og hulldekkene som et rammesystem.



$$L_1 := 4,5 \text{ m}$$

$$L_2 := 10,2 \text{ m}$$

Nyttelast:  $q := 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,8 \text{ m} \cdot 1,5 = 11,4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Regner kun på jevnt fordelt nyttelast.

Egenvekt:  $g := 0,43 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,8 \text{ m} \cdot 1,2 = 1,961 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Lasta fordelt på ramma: Nyttelast + egenvekt.

$$p := q + g = 13,361 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Bruker HEA-200.

$$A := 5.38 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_1 := 211 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I_w := 108 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M := 1.05$$

$$E := 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$G := 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

Sterk akse:

$$I_x := 36.9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_x := 82.8 \text{ mm}$$

$$W_x := 389 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{px} := 430 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Svak akse:

$$I_y := 13.4 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y := 49.8 \text{ mm}$$

**Punkt 1.** Finner den lengste knekk lengda.

Den symmetriske knekk lengda blir en mellomting mellom en ledda og en innspent søyle, se s. 157.

$$L_{k1} := 0.7L_1 \quad \text{Ledd}$$

$$L_{k2} := 0.5L_1 \quad \text{Innspent}$$

Antar symmetrisk knekk lengde til:  $L_{ksym} := 0.6L_1 = 2.7 \text{ m}$

Forelesningshefte: Avanserte konstruksjoner - ståldelen, 2018. Dimensjonering av bjelke/søyle. Leser av antimetrisk knekk lengde s. 19.

$$I_1 := I_x \quad I_2 := I_x$$

Obs! Dette er en antakelse jeg gjør for å forenkle beregninga. Egentlig skal  $I_2$  være annet arealmoment for hulldekket.

$$S := \frac{L_2}{L_1} \cdot \frac{I_1}{I_2} = 2.267$$

Leser av figuren:  $r := 1.3$

$$L_k := r \cdot L_1 = 5.85 \text{ m} \quad \text{Antimetrisk knekk lengde.}$$

Vil bruke antimetrisk knekk lengde, siden den er større enn symmetrisk.

**Punkt 2.** Kontrollerer profiler for knekking og vipping.

Hjørnemomentene er 60% av det de opprinnelig ville vært.

$$M_{hj} := 0.6 \cdot \frac{p \cdot L_2^2}{12} = 69.503 \cdot \text{kNm}$$

Momentet på midten blir dermed 40% større enn det opprinnelig ville vært.

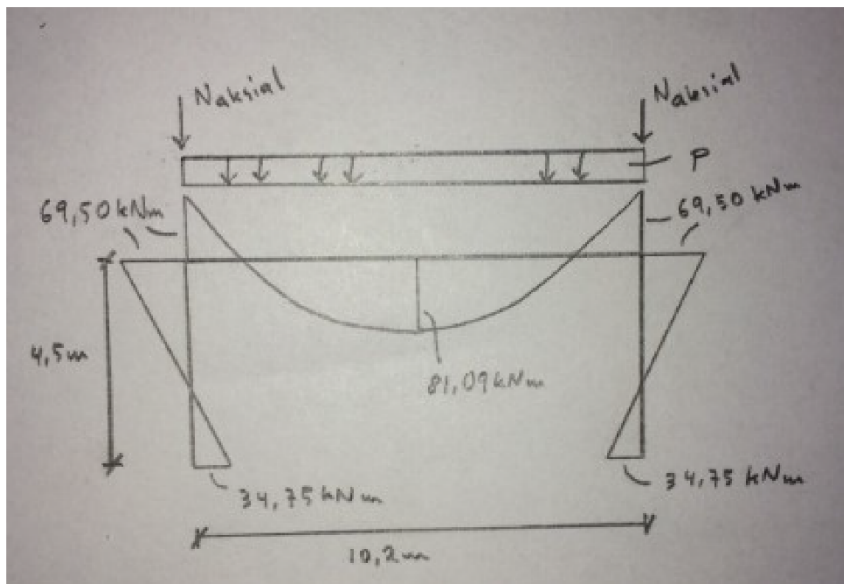
$$M_{midt} := 1.4 \cdot \frac{p \cdot L_2^2}{24} = 81.087 \cdot \text{kNm}$$

Total aksialkraft blir:

$$N_{Ed} := p \cdot L_2 \cdot \frac{1}{2} + N_{aksial} = 514.24 \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed} := M_{hj} = 69.503 \cdot \text{kNm}$$

Momentdiagram



Kontrollerer først om sterk akse:

Finner  $\lambda_x$ :

Relativ slankhet: 
$$\lambda_x := \frac{L_k}{i_x} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0.925$$

Leser av s. 187.

$$h := 190 \text{ mm}$$

$$b := 200 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{b} = 0.95 < 1.2 \text{ og } t_f < 100 \text{ mm.}$$

Sterk akse -> knekkurve b.

$$\chi_x := 0.65$$

Finner  $k_{\psi}$ :

$$\psi := -0.5$$

$$C_{my} := 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.4 \quad \text{s. 256.}$$

$$N_{Rd} := \frac{f_y}{\gamma_M} \cdot A = 1.819 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left( 1 + 0.6 \cdot \lambda_x \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_x \cdot N_{Rd}} \right) = 0.497$$

Dette skal være mindre enn eller lik:  $C_{my} \cdot \left( 1 + 0.6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_x \cdot N_{Rd}} \right) = 0.504$

Finner  $\chi_{LT}$ :

Lasta angriper i skjærsenteret:  $\zeta_g := 0$

Profilen er dobbeltsymmetrisk:  $\zeta_j := 0$

Antar søyla er gaffellagra:

$$C_1 := \left( 0.31 + 0.428\psi + 0.262\psi^2 \right)^{-0.5} = 2.488$$

$$k_z := 1.0 \quad k_w := 1.0 \quad k_y := 1.0$$

$$k_{wt} := \frac{\pi}{k_w \cdot L_k} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 0.622$$

Siden lasta angriper i skjærsenteret og profilen er dobbeltsymmetrisk, kan vi forenkle  $\mu_{cr}$  til:

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + k_{wt}^2} = 2.931$$

$$M_{0cr} := \left( \frac{\pi}{L_k} \right) \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_y} = 117.042 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{cr} := M_{0cr} \cdot \mu_{cr} = 343.06 \cdot \text{kNm}$$

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{f_y \cdot W_x}{M_{cr}}} = 0.634$$

Leser av tabellen s. 237. Valset I-profil med  $h/b < 2$  -> knekkurve b:

$$\chi_{LT} := 0.92$$

**Kontrollerer for vipping og knekking om sterk akse:**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_x \cdot \frac{f_y}{\gamma_M} \cdot A} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_x \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}} = 0.72 \quad \text{mindre enn 1,0.} \quad \text{OK!}$$



Kontroller for svak akse:

Knekk lengde:  $L_{k1} = 3.15 \text{ m}$

Finner  $\chi_z$ :

$$\lambda_y := \frac{L_{k1}}{i_y} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0.828$$

Med  $h/b=0,95 < 1,2$  og  $t_f < 100\text{mm}$  om svak akse  $\rightarrow$  knekkurve c.

Leser av på s. 187:

$$\chi_z := 0.65$$

Finner  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} := 0.8 \cdot k_{yy} = 0.397 \quad \text{s. 255.}$$

Alle andre faktorer er som før. Kontrollen blir dermed:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{f_y}{\gamma_M} \cdot A} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_x \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}} = 0.663$$

Fortsatt mindre enn 1,0.

Profilen holder altså også om svak akse.

**Punkt 3. Tverrsnittskontroll.**

Skjærkraft fra moment:

$$V_{Ed} := \frac{M_{Ed}}{L_1} + \frac{\left(\frac{M_{Ed}}{2}\right)}{L_1} = 23.168 \cdot \text{kN}$$

HEA-200:

$$A = 5.38 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$b = 200 \cdot \text{mm}$$

$$t := 10 \text{ mm}$$

$$s := 6.5 \text{ mm}$$

$$r := 18 \text{ mm}$$

$$\text{Skjærareal: } A_v := A - 2 \cdot b \cdot t + (s + 2 \cdot r) \cdot t = 1.805 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Kontrollerer profilet med Von Mises. Antar vindlast og jordskjelv blir tatt opp av bjelker, fagverk og skiver (heissjakt og trappesjakt) og at det dermed ikke vil virke som skjærkraft på søylene.

$$\sigma := \frac{M_{Ed}}{W_x} + \frac{N_{Ed}}{A} = 274.254 \cdot \text{MPa} \quad \text{Normalspenning}$$

$$\tau := \frac{V_{Ed}}{A_v} = 12.835 \cdot \text{MPa} \quad \text{Skjærspenning}$$

Von Mises sier:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 275.154 \cdot \text{MPa} \quad \text{skal være mindre enn} \quad f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_M} = 338.095 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Utnyttelse:} \quad \frac{275.154 \text{MPa}}{338.095 \text{MPa}} = 0.814$$

Profilen er altså 81,4% utnyttet. OK.

Konklusjon:

Vi kan godt bruke HEA-200 som søyle.

# Kontroll av Calculatis-beregning

Med mindre forklart, er alle punkter hentet fra Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner (NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010).

Material: GL32h

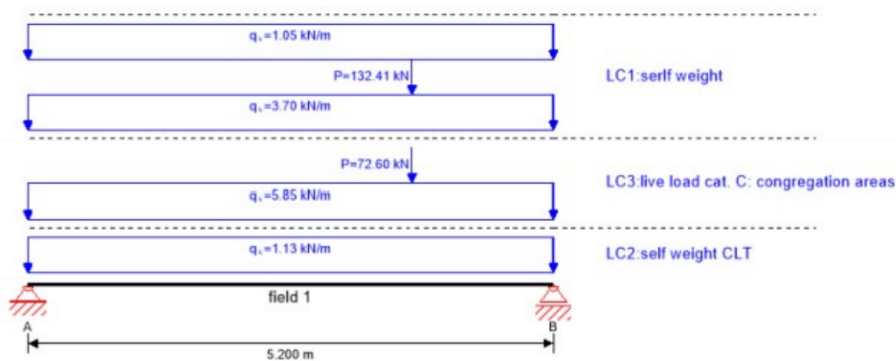
$$f_{mk} := 32\text{MPa} \quad f_{vk} := 2.5\text{MPa} \quad E_{0,\text{mean}} := 14200\text{MPa} \quad E_{0,05} := 11800\text{MPa}$$

Fasthetsklasser hentes fra NS-EN 14080:2013 (Table 5).

Calculatis setter lastfaktorer til 1,35 for egenvekt og 1,50 for nyttelast. Vi velger å sammenligne med lastfaktorer gitt av NS-EN 1990 (bruddgrensetilstand).

Egenvekt:  $\gamma_G := 1.20$       Nyttelast:  $\gamma_Q := 1.50$       Dominerende nyttelast.

$\gamma_{Q\text{øvr}} := 1.05$  Øvrig nyttelast.



## Laster:

Egenvekt: Jevnt fordelt:  $g := (1.13 + 3.70 + 1.05) \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \gamma_G = 7.056 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Punktlast:  $G := 132.41\text{kN} \cdot \gamma_G = 158.892 \cdot \text{kN}$

Forklaring: Dette er egenvekten til alt over denne bjelken, som kommer ned som punktlast via ei søyle.

Nyttelast: Jevnt fordelt:  $q := 5.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \gamma_{Q\text{øvr}} = 6.143 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Kommentar: Velger å anse den jevnt fordelte nyttelasta som øvrig variabel last. Regner ikke på nyttelasta som virker på denne bjelken som punktlast, siden det ikke er gjort i Calculatis.

Punktlast:  $Q := 72.60\text{kN} \cdot \gamma_Q = 108.9 \cdot \text{kN}$

Forklaring: Dette er nyttelasta til alle dekkene over denne bjelken, som kommer ned som punktlast via ei søyle.

$$L := 5.2\text{m} \quad L_a := 3.8\text{m} \quad L_b := 1.4\text{m}$$

**Dimensjon:**

$$b := 300\text{mm} \quad h := 750\text{mm} \quad A := b \cdot h = 2.25 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$W := \frac{1}{6} b \cdot h^2 = 2.813 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{Motstandsmoment}$$

$$I := \frac{1}{12} b \cdot h^3 = 1.055 \times 10^{10} \cdot \text{mm}^4 \quad \text{Annet arealmoment}$$

$$b_{ef} := 0.67 \cdot b = 201 \cdot \text{mm} \quad \text{Effektiv bredde (skjærmotstand).}$$

I henhold til punkt 6.1.7 (2) skal man ta hensyn til sprekker når man beregner skjærmotstanden. For limtre blir  $k_{cr} = 0.67$ .

## Løsning uten hensyn til vipping.

**Påkjenning:**

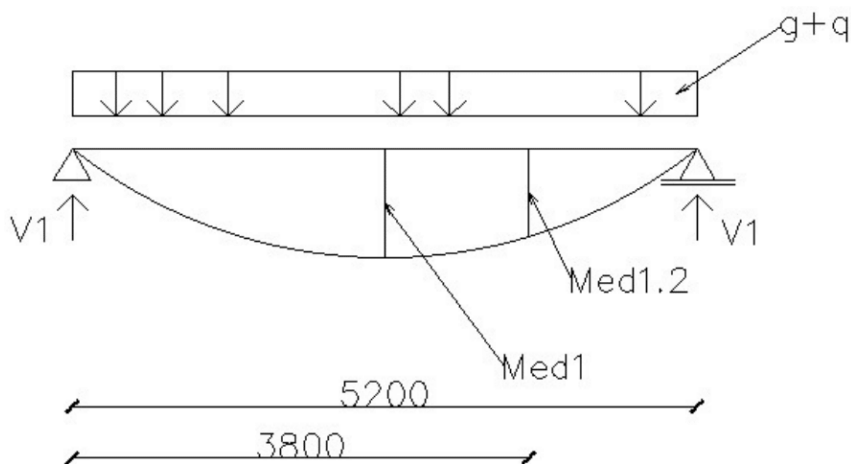
Moment 1 - Jevnt fordelt:

$$M_{Ed1} := \frac{(g + q) \cdot L^2}{8} = 44.611 \cdot \text{kNm}$$

Jevnt fordelt moment hvor punktlasta opptrer (x m fra venstre).  $x := 3.8\text{m}$

$$M_{Ed1.2} := \frac{q \cdot L \cdot x}{2} - \frac{q \cdot x^2}{2} = 16.339 \cdot \text{kNm}$$

$$V_1 := \frac{(g + q) \cdot L}{2} = 34.316 \cdot \text{kN}$$

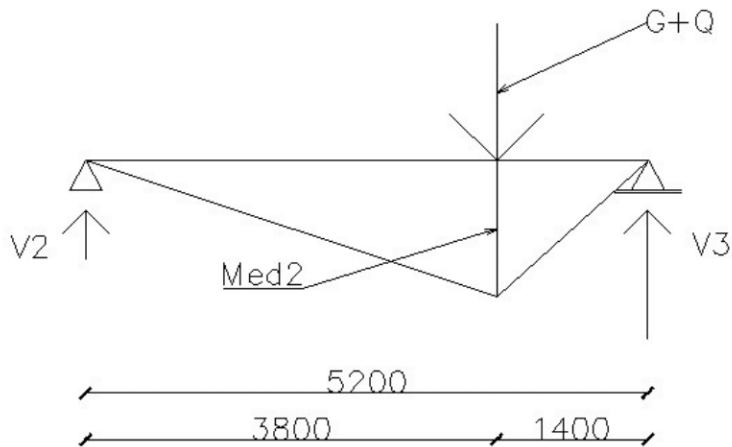


Moment 2 - Punktlast:

$$M_{Ed2} := \frac{(G + Q) \cdot L_a \cdot L_b}{L} = 273.972 \cdot \text{kNm}$$

$$V_2 := \frac{(G + Q) \cdot L_b}{L} = 72.098 \cdot \text{kN}$$

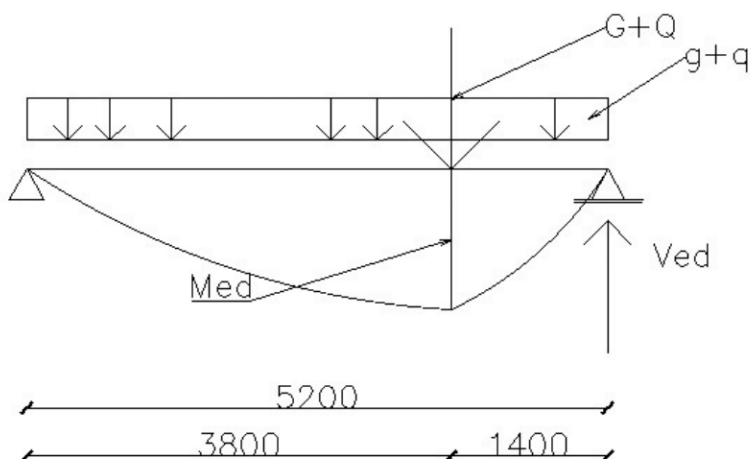
$$V_3 := \frac{(G + Q) \cdot L_a}{L} = 195.694 \cdot \text{kN}$$



Totalt moment og skjærkraft:

$$M_{Ed} := M_{Ed1.2} + M_{Ed2} = 290.311 \cdot \text{kNm}$$

$$V_{Ed} := V_1 + V_3 = 230.01 \cdot \text{kN}$$



Dimensjonerende spenninger:

$$\sigma_{md} := \frac{M_{Ed}}{W} = 10.322 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{vd} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{b_{ef} \cdot h} = 2.289 \cdot \text{MPa}$$

**Styrke:**

Materialkoeffisient (Tabell NA.2.3):  $\gamma_M := 1.15$

Lastvarighetsklasse (Tabell NA.2.2): Korttidslast

Faktor for lastvarighet og klimaklasse (kap. 3, tabell 3.1):  $k_{mod} := 0.9$  (Korttidslast)

Samvirkefaktor (kap. 6.7 i Trekonstruksjoner (Eie, 2012)):  $k_{sys} := 1.0$

Høydefaktor (kap. 6.6 i Trekonstruksjoner (Eie, 2012)):  $k_h := 1.0$  ( $h > 600 \text{mm}$ )

Lastvarighetsfaktoren  $k_{mod}$  vil være 0,6 for egenvekt, men ifølge punkt 3.1.3 (2) skal man bruke faktoren for påkjenningen med kortest varighet i en lastkombinasjon med ulike lastvarigheter.

Dimensjonerende materialfasthet:

$$f_{md} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot k_h}{\gamma_M} = 25.043 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot k_h}{\gamma_M} = 1.957 \cdot \text{MPa}$$

**Kontroll:**

Bøyning:

$$\frac{\sigma_{md}}{f_{md}} = 0.412 \quad \text{Mindre enn 1,0. OK!}$$

Skjærspenning:

$$\tau_{vd} = 2.289 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{vd} = 1.957 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{vd} > f_{vd} \quad \text{Ikke OK!}$$

Skjærspenningen er større enn godkjent. Burde øke tverrsnittet.

*Kommentar: I Calculatis er skjærutnyttelsen på 74%. Det ser ut som Calculatis ikke reduserer bredden med 0,67 som er i henhold til Norsk Standard. Om vi regner skjærspenningen uten effektiv bredde:*

$$\tau := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{b \cdot h} = 1.533 \cdot \text{MPa}$$

Utnyttelse:  $\frac{\tau}{f_{vd}} = 0.784$       *Nærmere Calculatis sitt svar.*

## Nedbøyningskontroll

Karakteristisk last:

Egenvekt:  $g_k := 5.88 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$        $G_k := 132.41 \text{kN}$

Nyttelast:  $q_k := 5.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$        $Q_k := 72.6 \text{kN}$

I nedbøyningskontroll settes alle lastfaktorer lik 1,0 (bruksgrensetilstand).

Beregning av umiddelbar nedbøyning:

Nedbøyningsformler hentet fra Konstruksjonsteknikk s. 170 (Per Kr. Larsen, 2. utg).

$$w_{\text{inst.g}} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_{0,\text{mean}} \cdot I} = 0.374 \cdot \text{mm} \quad \text{Jevnt fordelt egenvekt}$$

$$\beta := \frac{L_b}{L} = 0.269$$

$$w_{\text{inst.G}} := \frac{1}{48} \cdot \frac{G_k \cdot L^3}{E_{0,\text{mean}} \cdot I} (3\beta - 4\beta^3) = 1.89 \cdot \text{mm} \quad \text{Punktlast egenvekt}$$

$$w_{\text{inst.q}} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E_{0,\text{mean}} \cdot I} = 0.372 \cdot \text{mm} \quad \text{Jevnt fordelt nyttelast}$$

$$w_{\text{inst.Q}} := \frac{1}{48} \cdot \frac{Q_k \cdot L^3}{E_{0,\text{mean}} \cdot I} = 1.42 \cdot \text{mm} \quad \text{Punktlast nyttelast}$$

Deformasjonsfaktor:

$$k_{\text{def}} := 0.8 \quad (\text{klimateklasse 2 - s. 28 i Eurokode 5}).$$

$$\psi_{2.1} := 0.8 \quad (\text{antar samme faktor som John Eie i Trekonstruksjoner s. 64 - faktoren finnes i NS-EN 1990:2002, men vi har ikke tilgang til den.})$$

Beregning av endelig nedbøyning:

$$w_{\text{fin.g}} := w_{\text{inst.g}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) = 0.673 \cdot \text{mm} \quad \text{Jevnt fordelt egenvekt.}$$

$$w_{\text{fin.G}} := w_{\text{inst.G}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) = 3.401 \cdot \text{mm} \quad \text{Punktlast egenvekt.}$$

$$w_{\text{fin.q}} := w_{\text{inst.q}} \cdot (1 + k_{\text{def}} \cdot \psi_{2.1}) = 0.61 \cdot \text{mm} \quad \text{Jevnt fordelt nyttelast.}$$

$$w_{\text{fin.Q}} := w_{\text{inst.Q}} \cdot (1 + k_{\text{def}} \cdot \psi_{2.1}) = 2.329 \cdot \text{mm} \quad \text{Punktlast nyttelast.}$$

**Total nedbøyning:**

$$w_{\text{tot}} := w_{\text{fin.q}} + w_{\text{fin.G}} + w_{\text{fin.q}} + w_{\text{fin.Q}} = 6.95 \cdot \text{mm}$$

Setter tillatt nedbøyning til L/250.

$$w_{\text{tillatt}} := \frac{L}{250} = 20.8 \cdot \text{mm}$$

$$w_{\text{tot}} < w_{\text{tillatt}} \quad \text{OK!}$$

Nedbøyningen er tillatt.

Utnyttelse: 
$$\frac{w_{\text{tot}}}{w_{\text{tillatt}}} = 0.334$$

*Kommentar: Calculatis regnet nedbøyningen til 5,0mm.*

| W <sub>tot,fin</sub> = w[q.p.] + w[q.p.]·k <sub>def</sub> |       |                    |                    |       |
|---|-------|--------------------|--------------------|-------|
| field   | limit | W <sub>limit</sub> | W <sub>calc.</sub> | ratio |
|   | [-]   | [mm]               | [mm]               |       |
| 1   | 1/250 | 20.8               | 5.0                | 24 %  |

## Løsning med hensyn til vipping.

Antar gaffelopplagring i begge ender.

Leser av tabell 6.1: Bjelken er fritt opplagt og punktlasta er dominerende. Setter derfor effektiv lengde til 0,8L. Siden lasta virker på toppkanten av bjelken, økes effektiv lengde med 2h.

$$l_{\text{ef}} := 0.8L + 2 \cdot h = 5.66 \cdot \text{m}$$

Relativ slankhet er gitt av punkt 6.3.3(2):

$$\sigma_{\text{m.crit}} := \frac{0.78 \cdot b^2}{h \cdot l_{\text{ef}}} \cdot E_{0.05} = 195.138 \cdot \text{MPa}$$

$$\lambda_{\text{rel.m}} := \sqrt{\frac{f_{\text{mk}}}{\sigma_{\text{m.crit}}}} = 0.405$$

$$k_{\text{crit}} := 1.0 \quad \text{siden } \lambda_{\text{rel.m}} < 0.75$$



**Kontroll:**

$$\frac{\sigma_{md}}{k_{crit} \cdot f_{md}} = 0.412 \quad \text{Mindre enn 1,0. OK!}$$

Tverrsnittet holder også for vipning  
(om vi antar gaffelopplagring i begge  
ender).

## Konklusjon:

Etter våre beregninger er bjelken godkjent, akkurat som i Calculatis - UTENOM skjærspenningskontrollen hvor det later til at Calculatis ikke reduserer bjelkebredden med 0,67 som Norsk Standard ønsker.

I sidene etter følger resultatene fra Calculatis.

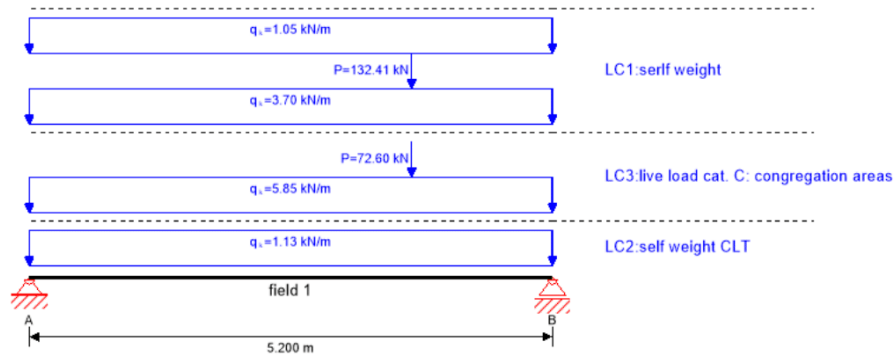
NTNU  
Per Øyvind Moeng

project  
element

Studenttorget Campus Ålesund  
Bjelke 1. etasje - akse 5-7

page 1  
date 10.05.2019

**system**



**global utilization ratio**

74 %

|     |      |          |      |     |      |               |     |         |      |
|-----|------|----------|------|-----|------|---------------|-----|---------|------|
| ULS | 74 % | ULS fire | 34 % | SLS | 24 % | SLS vibration | 0 % | support | -1 % |
|-----|------|----------|------|-----|------|---------------|-----|---------|------|

**section: wooden beam 30/75**

|  |               |                |                    |                    |                    |
|--|---------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|  | section width | section height | area               | ly                 | lz                 |
|  | [cm]          | [cm]           | [mm <sup>2</sup> ] | [mm <sup>4</sup> ] | [mm <sup>4</sup> ] |
|  | 30            | 75             | 225,000            | 10,546,880,000     | 1,687,500,000      |

**section fire: wooden beam 30/75**

|  |               |                |                    |                    |                    |
|--|---------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|  | section width | section height | area               | ly                 | lz                 |
|  | [cm]          | [cm]           | [mm <sup>2</sup> ] | [mm <sup>4</sup> ] | [mm <sup>4</sup> ] |
|  | 30            | 75             | 225,000            | 10,546,880,000     | 1,687,500,000      |

fire resistance class:R 0

fire protection layering : no additional fire protection

time **0 min**

|                |                |                       |                   |                       |                   |
|----------------|----------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| k <sub>0</sub> | d <sub>0</sub> | d <sub>char,0,h</sub> | d <sub>ef,h</sub> | d <sub>char,0,v</sub> | d <sub>ef,v</sub> |
| [-]            | [mm]           | [mm]                  | [mm]              | [mm]                  | [mm]              |
| 1              | 7              | 0.0                   | 0.0               | 0.0                   | 0.0               |

**material values**

| material | f <sub>m,k</sub>     | f <sub>t,0,k</sub>   | f <sub>t,90,k</sub>  | f <sub>c,0,k</sub>   | f <sub>c,90,k</sub>  | f <sub>v,k</sub>     | f <sub>r,k min</sub> | E <sub>0,mean</sub>  | G <sub>mean</sub>    | E <sub>0,5</sub>     |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|          | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| GL 32h   | 32.00                | 25.60                | 0.50                 | 32.00                | 2.50                 | 2.50                 | 1.20                 | 14,200.00            | 350.00               | 11,800.00            |

**load**

**load case groups**

|     | load case category                   | Typ | duration   | Kmod | γ <sub>inf</sub> | γ <sub>sup</sub> | ψ <sub>0</sub> | ψ <sub>1</sub> | ψ <sub>2</sub> |
|-----|--------------------------------------|-----|------------|------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| LC2 | self weight CLT                      | G   | permanet   | 0.6  | 1                | 1.35             | 1              | 1              | 1              |
| LC3 | live load cat. C: congregation areas | Q   | short term | 0.9  | 0                | 1.5              | 0.7            | 0.7            | 0.6            |
| LC1 | serf weight                          | G   | permanet   | 0.6  | 1                | 1.35             | 1              | 1              | 1              |

**LC2:self weight CLT**

| continous load |               |
|----------------|---------------|
| field          | load at start |
|                | [kN/m]        |
| 1              | 1.13          |

NTNU  
Per Øyvind Moeng

project  
element

Studenttorget Campus Ålesund  
Bjelke 1. etasje - akse 5-7

page 2  
date 10.05.2019

**LC3:live load cat. C: congregation areas**

**continous load**

| field | load at start |
|-------|---------------|
|       | [kN/m]        |
| 1     | 5.85          |

**point load**

| field | distance from start | load at start |
|-------|---------------------|---------------|
|       | [m]                 | [kN]          |
| 1     | 3.800               | 72.60         |

**LC1:serlf weight**

**continous load**

| field | load at start |
|-------|---------------|
|       | [kN/m]        |
| 1     | 3.70          |
| 1     | 1.05          |

**point load**

| field | distance from start | load at start |
|-------|---------------------|---------------|
|       | [m]                 | [kN]          |
| 1     | 3.800               | 132.41        |

**ULS combinations**

|      | combination rule                                      |
|------|---|
| LCO1 | $1.12/1.00 * LC2 + 1.12/1.00 * LC1$                   |
| LCO2 | $1.12/1.00 * LC2 + 1.12/1.00 * LC1 + 1.25/0.00 * LC3$ |

**ULS combinations fire**

|      | combination rule   |
|------|--|
| LCO3 | $1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 * LC1$                          |
| LCO4 | $1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 * LC1 + 1.00/0.00 * 0.60 * LC3$ |

**SLS characteristic combination**

|      | combination rule                                      |
|------|---|
| LCO5 | $1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 * LC1$                   |
| LCO6 | $1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 * LC1 + 1.00/0.00 * LC3$ |

**SLS quasi-permanent combination**

|      | combination rule   |
|------|--|
| LCO7 | $1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 * LC1$                          |
| LCO8 | $1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 * LC1 + 1.00/0.00 * 0.60 * LC3$ |

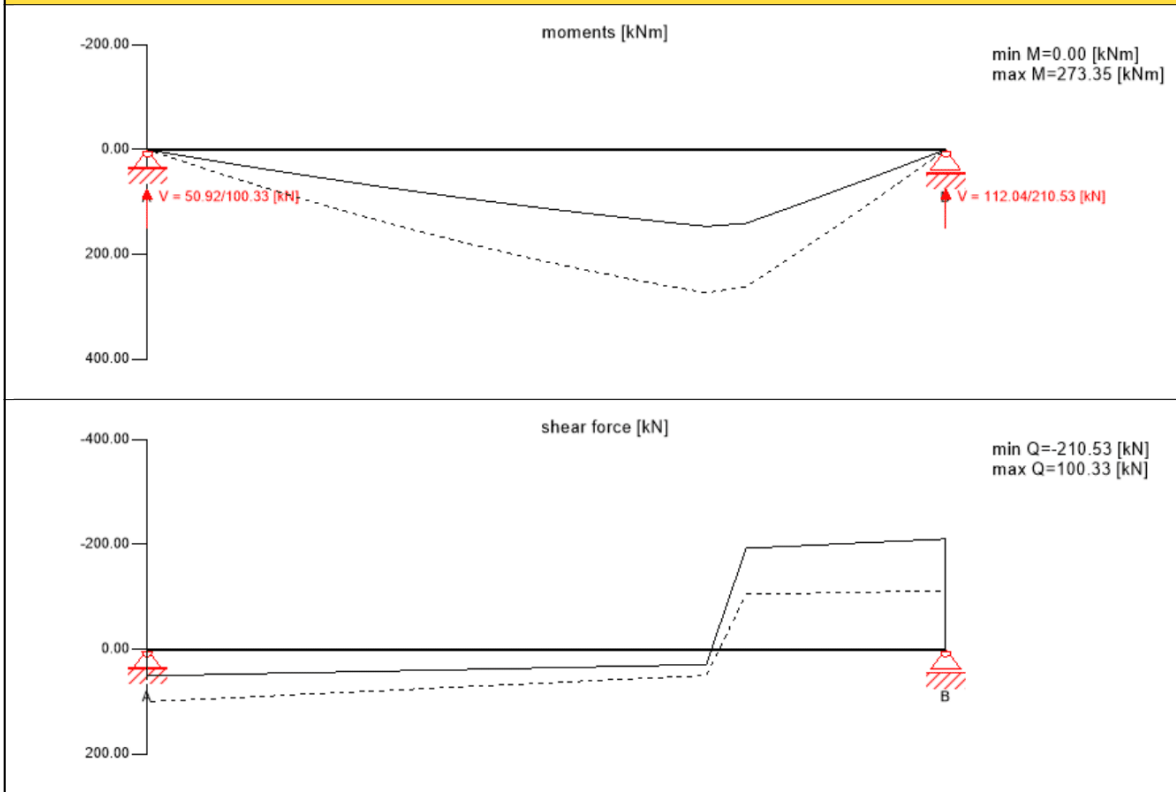
NTNU  
Per Øyvind Moeng

project  
element

Studenttorget Campus Ålesund  
Bjelke 1. etasje - akse 5-7

page 3  
date 10.05.2019

**Ultimate limit state (ULS) - design results**



**ULS flexural design**

| field | dist.<br>[m] | $f_{m,k}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\gamma_m$<br>[-] | $k_{mod}$<br>[-] | $k_{sys,z}$<br>[-] | $k_{hm}$<br>[-] | $f_{m,y,d}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $M_{y,d}$<br>[kNm] | $\sigma_{m,y,d}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | ratio |      |
|-------|--------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------|--|-------|------|
| 1     | 3.64         | 32.00                             | 1.25              | 0.90             | 1.00               | 1.00            | 23.04                               | 273.35             | 9.72                                     | 42 %  | LCO2 |

**ULS shear analysis**

| field | dist.<br>[m] | $f_{v,k}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\gamma_m$<br>[-] | $k_{mod}$<br>[-] | $f_{v,d}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $V_d$<br>[kN] | $T_{v,d}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | ratio |      |
|-------|--------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|-------|------|
| 1     | 4.45         | 2.50                              | 1.25              | 0.90             | 1.80                              | 200.13        | 1.33                              | 74 %  | LCO2 |

**flexural stress analysis**

|                    |        |                   |               |       |                   |
|--------------------|--------|-------------------|---------------|-------|-------------------|
| $M_{y,d} =$        | 273.35 | kNm               | $f_{m,k} =$   | 32.00 | N/mm <sup>2</sup> |
| $N_{t,d} =$        | 0.00   | kN                | $\gamma_m =$  | 1.25  | -                 |
|                    |        |                   | $k_{mod} =$   | 0.90  | -                 |
|                    |        |                   | $k_{sys,y} =$ | 1.00  | -                 |
|                    |        |                   | $k_{hm} =$    | 1.00  | -                 |
|                    |        |                   | $k_i =$       | 1.00  | -                 |
| $\sigma_{t,d} =$   | 0.00   | N/mm <sup>2</sup> | $f_{t,d} =$   | 19.75 | N/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_{m,y,d} =$ | 9.72   | N/mm <sup>2</sup> | $f_{m,y,d} =$ | 23.04 | N/mm <sup>2</sup> |

utilization ratio

42 %

**shear stress analysis**

|             |        |                   |              |      |                   |
|-------------|--------|-------------------|--------------|------|-------------------|
| $V_d =$     | 200.13 | kN                | $f_{v,k} =$  | 2.50 | N/mm <sup>2</sup> |
|             |        |                   | $\gamma_m =$ | 1.25 | -                 |
|             |        |                   | $k_{mod} =$  | 0.90 | -                 |
| $T_{v,d} =$ | 1.33   | N/mm <sup>2</sup> | $f_{v,d} =$  | 1.80 | N/mm <sup>2</sup> |

utilization ratio

74 %

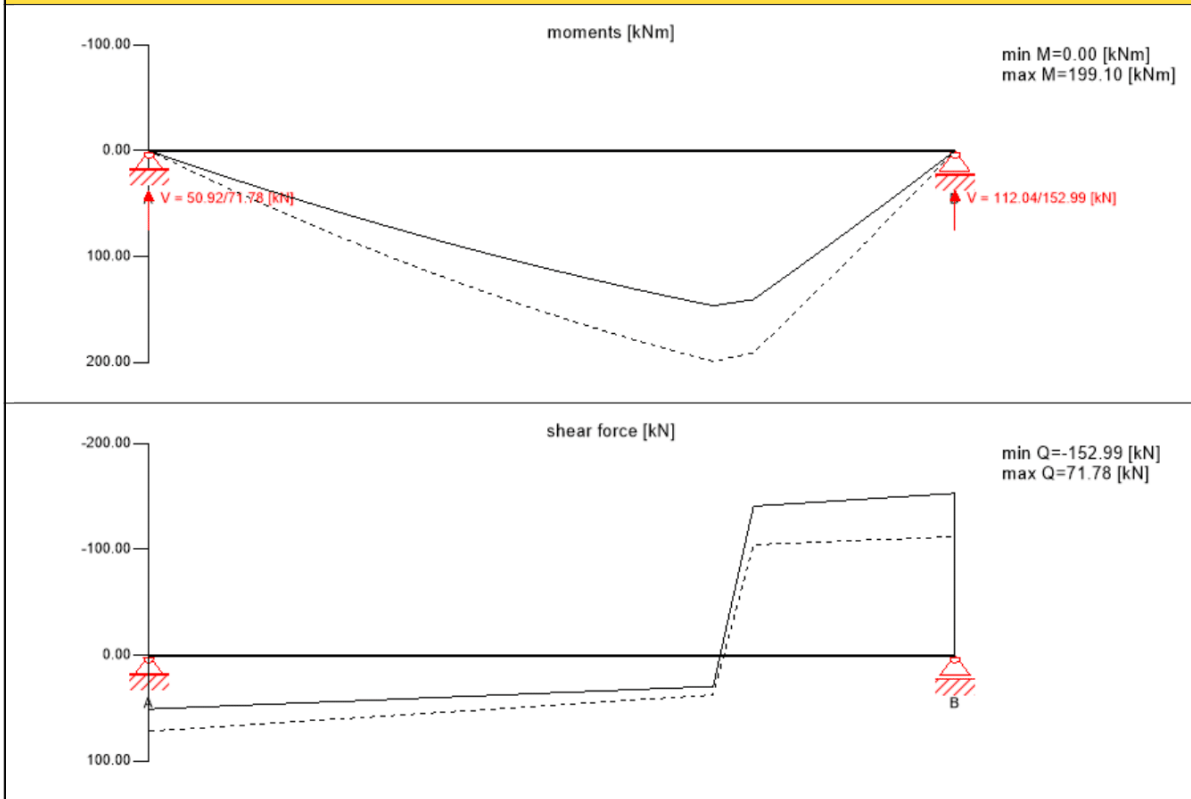
NTNU  
Per Øyvind Moeng

project  
element

Studenttorget Campus Ålesund  
Bjelke 1. etasje - akse 5-7

page 4  
date 10.05.2019

**Ultimate limit state (ULS) fire design - results**



**ULS fire flexural design**

| field | dist. | $f_{m,k}$            | $\gamma_m$ | $k_{mod}$ | $k_{sys,z}$ | $k_{fi}$ | $f_{m,y,d}$          | $M_{y,d}$ | $\sigma_{m,y,d}$     | ratio |      |
|-------|-------|----------------------|------------|-----------|-------------|----------|----------------------|-----------|----------------------|-------|------|
|       | [m]   | [N/mm <sup>2</sup> ] | [-]        | [-]       | [-]         | [-]      | [N/mm <sup>2</sup> ] | [kNm]     | [N/mm <sup>2</sup> ] |       |      |
| 1     | 3.64  | 32.00                | 1.00       | 1.00      | 1.00        | 1.15     | 36.80                | 199.10    | 7.08                 | 19 %  | LCO4 |

**ULS fire shear analysis**

| field | dist. | $f_{v,k}$            | $\gamma_m$ | $k_{mod}$ | $k_{fi}$ | $f_{v,d}$            | $V_d$  | $T_{v,d}$            | ratio |      |
|-------|-------|----------------------|------------|-----------|----------|----------------------|--------|----------------------|-------|------|
|       | [m]   | [N/mm <sup>2</sup> ] | [-]        | [-]       | [-]      | [N/mm <sup>2</sup> ] | [kN]   | [N/mm <sup>2</sup> ] |       |      |
| 1     | 4.45  | 2.50                 | 1.00       | 1.00      | 1.15     | 2.88                 | 145.96 | 0.97                 | 34 %  | LCO4 |

**flexural stress analysis fire**

|                          |        |                   |               |       |                   |
|--------------------------|--------|-------------------|---------------|-------|-------------------|
| $M_{y,d} =$              | 199.10 | kNm               | $f_{m,k} =$   | 32.00 | N/mm <sup>2</sup> |
| $N_{t,d} =$              | 0.00   | kN                | $\gamma_m =$  | 1.00  | -                 |
|                          |        |                   | $k_{mod} =$   | 1.00  | -                 |
|                          |        |                   | $k_{sys,y} =$ | 1.00  | -                 |
|                          |        |                   | $k_{hm} =$    | 1.00  | -                 |
|                          |        |                   | $k_i =$       | 1.00  | -                 |
|                          |        |                   | $k_{fi} =$    | 1.15  | -                 |
| $\sigma_{t,d} =$         | 0.00   | N/mm <sup>2</sup> | $f_{t,d} =$   | 31.55 | N/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_{m,y,d} =$       | 7.08   | N/mm <sup>2</sup> | $f_{m,y,d} =$ | 36.80 | N/mm <sup>2</sup> |
| <b>utilization ratio</b> |        |                   |               |       | <b>19 %</b>       |

**shear stress analysis fire**

|                          |        |                   |              |      |                   |
|--------------------------|--------|-------------------|--------------|------|-------------------|
| $V_d =$                  | 145.96 | kN                | $f_{v,k} =$  | 2.50 | N/mm <sup>2</sup> |
|                          |        |                   | $\gamma_m =$ | 1.00 | -                 |
|                          |        |                   | $k_{mod} =$  | 1.00 | -                 |
|                          |        |                   | $k_{fi} =$   | 1.15 | -                 |
| $T_{v,d} =$              | 0.97   | N/mm <sup>2</sup> | $f_{v,d} =$  | 2.88 | N/mm <sup>2</sup> |
| <b>utilization ratio</b> |        |                   |              |      | <b>34 %</b>       |

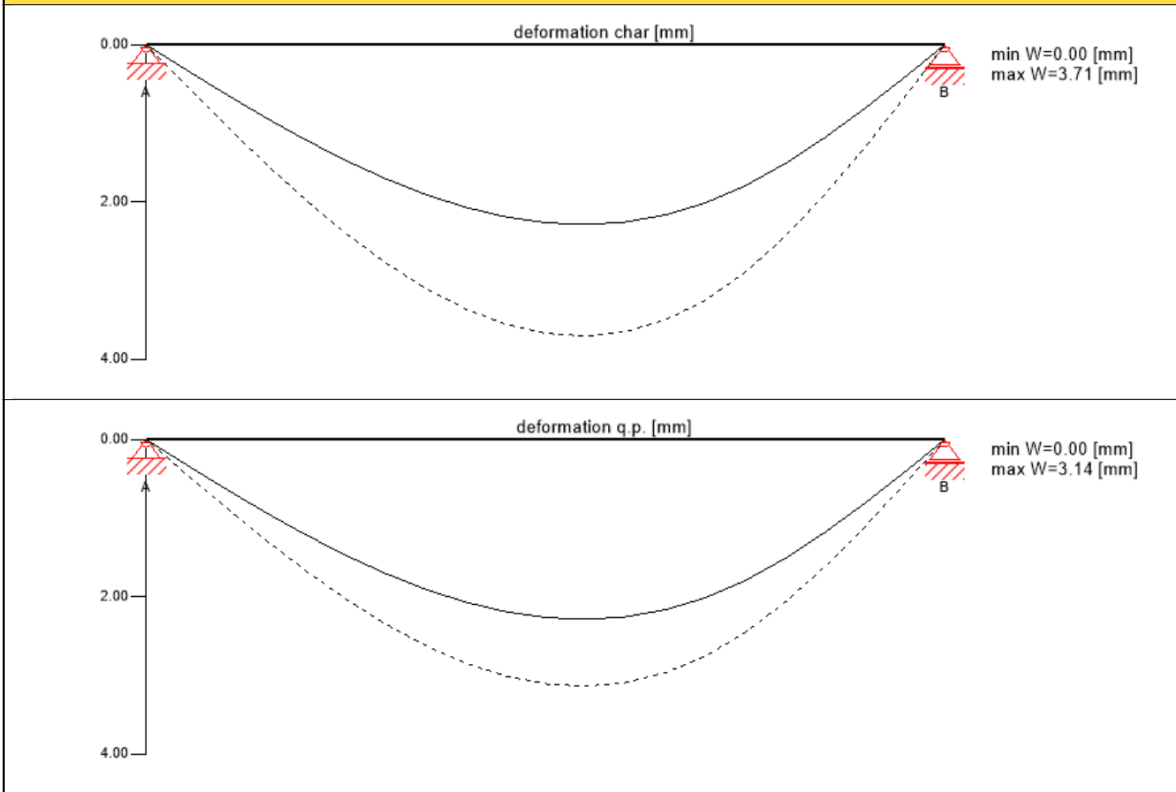
NTNU  
Per Øyvind Moeng

project  
element

Studenttorget Campus Ålesund  
Bjelke 1. etasje - akse 5-7

page 5  
date 10.05.2019

**Service limit state design (SLS) - design results**



**$w_{inst} = w[char]$**

| field | limit | $w_{limit}$ | $w_{calc.}$ | ratio |
|-------|-------|-------------|-------------|-------|
|       | [-]   | [mm]        | [mm]        |       |
| 1     | 1/300 | 17.3        | 3.7         | 21 %  |

**$w_{rin} = w[char] + w[q.p.]*k_{def}$**

| field | limit | $w_{limit}$ | $w_{calc.}$ | ratio |
|-------|-------|-------------|-------------|-------|
|       | [-]   | [mm]        | [mm]        |       |
| 1     | 1/150 | 34.7        | 5.6         | 16 %  |

**$w_{net,fin} = w[q.p.] + w[q.p.]*k_{def}$**

| field | limit | $w_{limit}$ | $w_{calc.}$ | ratio |
|-------|-------|-------------|-------------|-------|
|       | [-]   | [mm]        | [mm]        |       |
| 1     | 1/250 | 20.8        | 5.0         | 24 %  |

**support reaction**

| load case category                   | $k_{mod}$ | $A_V$ | $B_V$  |
|--------------------------------------|-----------|-------|--------|
|                                      |           | [kN]  |        |
| self weight CLT                      | 0.6       | 2.92  | 2.92   |
|                                      |           | 2.92  | 2.92   |
| live load cat. C: congregation areas | 0.9       | 34.76 | 68.26  |
|                                      |           | 0.00  | 0.00   |
| serff weight                         | 0.6       | 48.00 | 109.11 |
|                                      |           | 48.00 | 109.11 |

**Disclaimer**

The software was created to assist engineers in their daily business. The software is an engineering software that is dealing with a very complex matter of structural analysis and building physics analysis. Therefore, this software shall only be operated by skilled, experienced engineers, with a deep understanding of structural engineering and building physics



|                          |                    |   |              |                 |
|--------------------------|--------------------|---|--------------|-----------------|
| NTNU<br>Per Øyvind Moeng | project<br>element | Studenttorget Campus Ålesund<br>Bjelke 1. etasje - akse 5-7 | page<br>date | 6<br>10.05.2019 |
|--------------------------|--------------------|---|--------------|-----------------|

---

related to timber structures. The user of the software is obliged to check all input values, no matter if they were given by the user or given by default by the software and all results for plausibility.

The use of the results of the software should not be relied upon as the basis for any decision or action. Any use of results of the software is only allowed, if the results have been verified and approved regarding completeness and correctness by a project structural/building physics engineer. The user has the possibility to make print-outs from the software. Any modification of those are not allowed.

Stora Enso Wood Products GmbH does not assume any warranty regarding the software. The software has been developed with utmost diligence, nevertheless Stora Enso Wood Products GmbH, neither expressly nor implicitly, provides any warranty in terms of accuracy, validity, timeliness and completeness of information and data created by the software. Stora Enso Wood Products GmbH does also not assume any warranty for the general usability of the software, its suitability for a special purpose or for the compatibility of the software with the ones of third party producers or providers.

Stora Enso Wood Products GmbH is only liable for damages caused by gross negligence or intent through Stora Enso Wood Products GmbH; the liability for slight negligence is excluded. This does not apply to personal injury. Under the aforementioned conditions Stora Enso Wood Products GmbH is as well not liable for operational failures or the loss of programs and/or data of the user's data processing system.

Applicable Law: These terms of use shall be governed by the laws of Austria excluding however any conflict of laws rules and any laws regarding the Convention of the International Sale of Goods (CISG).

7.5.2019

E-post – haavarts@stud.ntnu.no

## SV: Kostnad massivtre

Arild Øvergaard <arild@norskmassivtre.no>

ti 02.04.2019 11:08

Til: Håvard Toreli Sylte <haavarts@stud.ntnu.no>;

Kopi: Odin Strandkleiv Thorsrud <odint@stud.ntnu.no>; Per Øyvind Moeng <peromoe@stud.ntnu.no>;

Bruk 10.000,-/m<sup>3</sup> ferdig montert.

Mvh Arild Øvergaard, Norsk Massivtre AS

mob: 47925050

---

Fra: Håvard Toreli Sylte <haavarts@stud.ntnu.no>

Sendt: 2. april 2019 08:51

Til: Arild Øvergaard <arild@norskmassivtre.no>

Kopi: Odin Strandkleiv Thorsrud <odint@stud.ntnu.no>; Per Øyvind Moeng <peromoe@stud.ntnu.no>

Emne: Kostnad massivtre

Hei!

Vi er 3 studenter som går tredje året byggingeniør ved NTNU Ålesund. For øyeblikket skriver vi bachelor angående nye studentbygget som skal opp på campus. Vi skal sammenligne kostnad mellom bruk av betong/stål kontra massivtre for bygget.

Har dere noen prislister/dokumentasjon på hva massivtre koster gjennomsnittlig kr/m<sup>3</sup>, og kunne du evt. sendt det? På forhånd takk 😊

Mvh

Håvard Sylte

Odin Thorsrud

Per Øyvind Moeng



7.5.2019

E-post – haavarts@stud.ntnu.no

## SV: Kostnad massivtre

Arild Øvergaard <arild@norskmassivtre.no>

ti 02.04.2019 11.08

Til: Håvard Toreli Sylte <haavarts@stud.ntnu.no>;

Kopi: Odin Strandkleiv Thorsrud <odint@stud.ntnu.no>; Per Øyvind Moeng <peromoe@stud.ntnu.no>;

Bruk 10.000,-/m<sup>3</sup> ferdig montert.

Mvh Arild Øvergaard, Norsk Massivtre AS

mob: 47925050

---

Fra: Håvard Toreli Sylte <haavarts@stud.ntnu.no>

Sendt: 2. april 2019 08:51

Til: Arild Øvergaard <arild@norskmassivtre.no>

Kopi: Odin Strandkleiv Thorsrud <odint@stud.ntnu.no>; Per Øyvind Moeng <peromoe@stud.ntnu.no>

Emne: Kostnad massivtre

Hei!

Vi er 3 studenter som går tredje året byggingeniør ved NTNU Ålesund. For øyeblikket skriver vi bachelor angående nye studentbygget som skal opp på campus. Vi skal sammenligne kostnad mellom bruk av betong/stål kontra massivtre for bygget.

Har dere noen prislister/dokumentasjon på hva massivtre koster gjennomsnittlig kr/m<sup>3</sup>, og kunne du evt. sendt det? På forhånd takk 😊

Mvh

Håvard Sylte

Odin Thorsrud

Per Øyvind Moeng

7.5.2019

E-post – haavarts@stud.ntnu.no

## SV: Kostnad massivtre

Arild Øvergaard <arild@norskmassivtre.no>

ti 02.04.2019 11.08

Til: Håvard Toreli Sylte <haavarts@stud.ntnu.no>;

Kopi: Odin Strandkleiv Thorsrud <odint@stud.ntnu.no>; Per Øyvind Moeng <peromoe@stud.ntnu.no>;

Bruk 10.000,-/m<sup>3</sup> ferdig montert.

Mvh Arild Øvergaard, Norsk Massivtre AS

mob: 47925050

---

Fra: Håvard Toreli Sylte <haavarts@stud.ntnu.no>

Sendt: 2. april 2019 08:51

Til: Arild Øvergaard <arild@norskmassivtre.no>

Kopi: Odin Strandkleiv Thorsrud <odint@stud.ntnu.no>; Per Øyvind Moeng <peromoe@stud.ntnu.no>

Emne: Kostnad massivtre

Hei!

Vi er 3 studenter som går tredje året byggingeniør ved NTNU Ålesund. For øyeblikket skriver vi bachelor angående nye studentbygget som skal opp på campus. Vi skal sammenligne kostnad mellom bruk av betong/stål kontra massivtre for bygget.

Har dere noen prislister/dokumentasjon på hva massivtre koster gjennomsnittlig kr/m<sup>3</sup>, og kunne du evt. sendt det? På forhånd takk 😊

Mvh

Håvard Sylte

Odin Thorsrud

Per Øyvind Moeng

7.5.2019

E-post – haavarts@stud.ntnu.no

## SV: Kostnad massivtre

Arild Øvergaard <arild@norskmassivtre.no>

ti 02.04.2019 11:08

Til: Håvard Toreli Sylte <haavarts@stud.ntnu.no>;

Kopi: Odin Strandkleiv Thorsrud <odint@stud.ntnu.no>; Per Øyvind Moeng <peromoe@stud.ntnu.no>;

Bruk 10.000,-/m<sup>3</sup> ferdig montert.

Mvh Arild Øvergaard, Norsk Massivtre AS  
mob: 47925050

---

Fra: Håvard Toreli Sylte <haavarts@stud.ntnu.no>

Sendt: 2. april 2019 08:51

Til: Arild Øvergaard <arild@norskmassivtre.no>

Kopi: Odin Strandkleiv Thorsrud <odint@stud.ntnu.no>; Per Øyvind Moeng <peromoe@stud.ntnu.no>

Emne: Kostnad massivtre

Hei!

Vi er 3 studenter som går tredje året byggingeniør ved NTNU Ålesund. For øyeblikket skriver vi bachelor angående nye studentbygget som skal opp på campus. Vi skal sammenligne kostnad mellom bruk av betong/stål kontra massivtre for bygget.

Har dere noen prislister/dokumentasjon på hva massivtre koster gjennomsnittlig kr/m<sup>3</sup>, og kunne du evt. sendt det? På forhånd takk 😊

Mvh  
Håvard Sylte  
Odin Thorsrud  
Per Øyvind Moeng

9.5.2019

E-post – Håvard Sylte – Outlook

**SV: Påslag limtre - bacheloroppgave**

Sveen, Kato <Kato.Sveen@moelven.no>

to. 09.05.2019 10.36

Til: Håvard Sylte <sylte.95@outlook.com>

Hei

Ut fra det jeg ser på dette underlaget er nok kostnaden for beslag og bolter ca. 15 – 20%.  
Dersom det er noen enkle forbindelser med små laster kan man antakelig bruke standard beslag, f.eks. fra Simpson. Det vil kunne redusere beslagsprisen noe.

Med vennlig hilsen

**Kato Sveen**

Prosjektsjef

**Moelven Limtre AS**

Telefon: +4790850468

[moelven.no/Limtre](http://moelven.no/Limtre)

[Twitter](#) | [LinkedIn](#) | [Facebook](#) | [Youtube](#)



---

Fra: Håvard Sylte <sylte.95@outlook.com>

Sendt: 9. mai 2019 10:04

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

Emne: Påslag limtre - bacheloroppgave

Hei!

Viser til samtale tidligere idag. Vi ønsker pris for beslag/festemidler for limtre, i enheten % per kubikk eller evt. kg stål per kubikk (eller annet enhet som gjør beregningen lett). Legger ved modellen i både som IFC-fil og DWG-format. Kalkylen er et txt. dokument og kan åpnes i excel (husk å trykk vi alle filer for å kunne åpne den i excel)

mvh

Håvard Sylte

14.05.2019, 16:02

## SV: Spørsmål til rapporten Laminated timber versus on-site cast concrete: a comparative study

Petter Torås Halseth <petter.halseth@veidekke.no>

to. 21.02.2019 21:54

Til: Per Øyvind Moeng <peromoe@stud.ntnu.no>

Kopi: Odin Strandkleiv Thorsrud <odint@stud.ntnu.no>; Håvard Toreli Sylte <haavarts@stud.ntnu.no>; Sigbjørn Faanes <sigbjorn.faaner@veidekke.no>; Torstein Østnor <torstein.ostnor@veidekke.no>

Hei

Skal forsøke å svare på spørsmålene så godt jeg klarer:

- 1.
2. Lydløsninger som måtte gjennomføres for massivtrebygget ble mer omfattende og dyrere på grunn av at tre ikke har samme lyddempende egenskaper som betong (lavere densitet, vekt per volum). Det var dermed nødvendig å gjøre ekstra tiltak i massivtrebygget for å øke vekten og reduksjonsevnen på vegger og etasjeskillere. I tillegg finnes det lite dokumentert forskning/tester på lydegenskaper til ulike detaljer i massivtre, og det er ingen preaksepterte løsninger fra TEK. Dette var med på å øke omfanget på prosjekteringen. Det er verdt å nevne at dette var en boligblokk, noe som gir andre lydkrav og andre problemstillinger enn hva et samfunnshus vil gi.
3. Det er ikke blitt sett spesifikk på hvilke effekter reduserte dimensjoner har gitt på kostnad. For lydisolasjonen har den blitt gjennomført likt for hele bygget, og blitt prosjektert til sikker side hele veien. Det vil uansett ikke være stor forskjell på lydisolasjonen ved en liten reduksjon i dimensjonene på massivtreet, da de ekstra tiltakene for å øke lydisolasjonen er det som gir hovedeffekten av lydisoleringen.
4. Studien viste at fra oppstart 1. etasje til overtakelse bygg, var byggetiden for massivtrebygget omtrent 25% kortere enn for betongbygget
5. Massivtrebygget ble 12-15% dyrere enn betongbygget i denne studien, dette er dog uten å regne inn positive kapitaleffekter byggherre oppnår pga. kortere byggetid, mindre fundamentering pga. at et massivtrebygg er lettere enn et betongbygg eller evt. besparte kostnader i byggenes driftsperiode. Funn fra studien tydet også på at massivtrebygget hadde et større forbedringspotensialet for økt effektivitet og bedret gjennomføring enn betongbygget.

Det er igjen verdt å nevne at dette var en boligblokk, noe som ga store utslag på kostnadene på grunn av krav og omfang av løsninger som måtte benyttes for å tilfredsstille krav til brann og lyd. Et samfunnshus vil ha andre forutsetninger.

Håper dette ga noen svar på det dere lurte på

Mvh Petter Torås Halseth

---

**Fra:** Torstein Østnor <torstein.ostnor@veidekke.no>

**Sendt:** tirsdag 19. februar 2019 15:11

**Til:** Per Øyvind Moeng <peromoe@stud.ntnu.no>; Sigbjørn Faanes <sigbjorn.faaner@veidekke.no>; Petter Torås Halseth <petter.halseth@veidekke.no>

**Kopi:** Odin Strandkleiv Thorsrud <odint@stud.ntnu.no>; Håvard Toreli Sylte <haavarts@stud.ntnu.no>

**Emne:** SV: Spørsmål til rapporten Laminated timber versus on-site cast concrete: a comparative study

14.05.2019, 16:02

Hei,  
Først, jeg har videresendt mail til Petter Halseth som har skrevet master om andre del av prosjektet og oppsummering av prosjektet.

Videre, spørsmål 1: I betongbygget vil stålsøyler representere punktlaster som føres fra Dekke over kjeller og ned i bunnplata som er dimensjonert for aksialkreftene. I massivtrebygget vil alle massivtrevegger i 1.etg. føre linjelaster ned på dekke over kjeller. Disse måtte tas opp gjennom store bjelker under dekke over kjeller for å føre kreftene ut til søyler, for så å føre kreftene ned i bunnplata. Derfor ble betong/stålforkret bruket større under massivtrebygget. RIB-jobben ble mer omfattende og utførelsen mer kostbar. Var dette svar på spørsmålet?

De andre spørsmålene må jeg nesten henvise til Sigbjørn og Petter, som har fulgt prosjektet tett i andre halvdel. Jeg sitter nå på et annet prosjekt (siden august), og har ikke detaljkunnskap på samme nivå som de.

Mvh.  
Torstein Østnor  
Anleggslederassistent, Holtermannsveien 1

### **Veidekke Entreprenør AS**

Region Trøndelag  
(+47)95859145  
[torstein.ostnor@veidekke.no](mailto:torstein.ostnor@veidekke.no)  
[www.veidekke.no](http://www.veidekke.no)

---

**Fra:** Per Øyvind Moeng <[peromoe@stud.ntnu.no](mailto:peromoe@stud.ntnu.no)>  
**Sendt:** tirsdag 19. februar 2019 13.35  
**Til:** Torstein Østnor <[torstein.ostnor@veidekke.no](mailto:torstein.ostnor@veidekke.no)>; Sigbjørn Faanes <[sigbjorn.faanes@veidekke.no](mailto:sigbjorn.faanes@veidekke.no)>  
**Kopi:** Odin Strandkleiv Thorsrud <[odint@stud.ntnu.no](mailto:odint@stud.ntnu.no)>; Håvard Toreli Sylte <[haavarts@stud.ntnu.no](mailto:haavarts@stud.ntnu.no)>  
**Emne:** Spørsmål til rapporten Laminated timber versus on-site cast concrete: a comparative study

Hei Torstein og Sigbjørn

Vi er en gruppe på tre studenter som går byggingeniørstudiet ved NTNU i Ålesund, og skriver nå en bacheloroppgave om et nytt studenthus som skal bygges ved NTNU i Ålesund. Bygget er tegnet av arkitekten i massivtre, og vår oppgave går i å dimensjonere og konstruere bygget i massivtre. Bygget er til sammen 7 etasjer + kjeller. I tillegg har vi som mål å sammenligne pris for et tilsvarende bygg i stål & betong.

Studien dere har gjort i Trondheim med to nesten identiske bygg og sammenlignet massivtre mot stål & betong er i så måte meget interessant for oss. Håper det er greit vi stiller noen spørsmål til rapporten, gitt at bygningene nå sannsynligvis nærmer seg ferdigstilling og dere helt sikkert sitter med mer informasjon om hvordan ting har utviklet seg??

[https://www.researchgate.net/publication/326466534\\_Laminated\\_Timber\\_Versus\\_on-Site\\_Cast\\_Concrete\\_A\\_Comparative\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/326466534_Laminated_Timber_Versus_on-Site_Cast_Concrete_A_Comparative_Study)

14.05.2019, 16:02

Håper dere kan ta tid til å gi litt mer svar til følgende spørsmål:

*The structural engineer estimated that it took triple the time to complete the design of the concrete ground floor in building B than for building A, primarily because the CLT elements lacked the ability to distribute the vertical loads horizontally in the load bearing walls.*

Kan dere utdype dette litt nærmere? Hvorfor måtte dekket i 1. etasje forsterkes mere for bygget i massivtre enn bygget i stål & betong? Bøyer veggene i massivtre seg så mye at det gir et moment, ikke bare aksialkraft, som overføres til dekket?

*The two main issues influencing both design and planned production evidently were fire and acoustic-related challenges.*

Det skrives at det er brukt mer tid på både brann- og lydutfordringer i konseptfasen, og at for lyd så ble det estimert 100% mer tid på bygning B (enn bygning A?). Har dere noen erfaringer nå på hvorfor spesielt lydprosjekteringen ble så mye dyrere for bygning B? Er det rett og slett manglende erfaring på massivtre fra arkitekt og akustikk-ingeniørene som gjør at man "prøver seg fram" og kanskje overdimensjonerer for å møte kravene i TEK?

*The possibility for labour saving copying of work in the BIM-model decreases when the dimensions are changing. This variation has led to more time spent to adjust the BIM-model for building B. It was an effect that was hard to mitigate when the main contractor also wanted to limit the CLT-volume to reduce costs.*

Er det gjort noen analyse i ettertid på om det totalt sett ble noen besparelse i kostnad (og byggetid?) på å redusere materialmengden i etasjene oppover i forhold til tida brukt på å modellere og dimensjonere hver etasje hver for seg? Reduksjon av vegg- og etasjeskillertykkelse har vel også en påvirkning på lydisolasjon?

*The total construction time from the ground floor to move-in ready for building B were scheduled for 38 weeks and for building A, 42 weeks.*

Hvordan har disse planene holdt seg? Ble byggetiden på bygning B kortere enn for bygning A?

Ut i fra tabell 1 og 2 i rapporten så var bygningen i massivtre ganske mye dyrere og prosjektere enn bygningen i stål & betong. Om dere har analysert kostnader videre etter hvert som prosjektet har gått frem, hvordan er byggekostnaden for massivtrebygget i forhold til bygget i stål & betong, pr kvadratmeter? Har dere på dette tidspunkt noen oversikt over totalkostnaden, pr kvadratmeter, for de to bygningene? Hvor mye dyrere/billigere er massivtre kontra stål & betong?

Håper dere har tid og mulighet til å svare på disse spørsmålene, da prosjektet er ganske unikt og gir en god sammenligning av to forholdsvis like bygg i massivtre og stål & betong bygd ved siden av hverandre.

## Vedlegg 22

# Kalkyle for bæresystemet med massivtre og limtre



## Vedlegg 23

# Kalkyle for bæresystemet med hulldekke og stål

Limtre

Limtre

| GRAN  |          |          |          |
|-------|----------|----------|----------|
| Høyde | Bredde   |          |          |
|       | 90       | 115      | 140      |
|       | Nobbnr.  | Nobbnr.  | Nobbnr.  |
| 90    | 25681818 | 25681982 | 26241018 |
| 115   |          | 25681883 |          |
| 135   | 25823014 | 25823733 | 25681933 |
| 180   | 25681826 | 25986761 | 26092353 |
| 225   | 25681834 | 25681891 | 25681941 |
| 270   | 25681842 | 26093484 | 26093492 |
| 315   | 25681859 | 25681909 | 25681958 |
| 360   | 25681867 | 26166116 | 22131957 |
| 405   | 25681875 | 25681917 | 25681966 |
| 450   | 26166124 | 26166132 | 26166140 |
| 495   | 26166157 | 25681925 | 26855635 |
| 540   | 26166365 | 26240937 | 26240945 |
| 585   | 26240952 | 26240960 | 25681974 |
| 630   | 26240978 | 26240986 | 26240994 |

| TRYKKIMPREGNERT TMF leveres fra Moelv og Trondheim |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|
| Høyde  | Bredde   |          |          |
|  | 90       | 115      | 140      |
|  | Nobbnr.  | Nobbnr.  | Nobbnr.  |
| 90   | 26241026 | 26241109 | 28305985 |
| 115  |          | 26241042 |          |
| 133  | 28305993 | 28306009 | 28306017 |
| 200  | 26241034 | 26241091 | 28306173 |
| 233  | 26241141 | 26241158 | 26241166 |
| 266  | 28306025 | 28306033 | 28306041 |
| 300  | 26241067 | 26241075 | 26241083 |
| 333  | 28306058 | 28306066 | 28306074 |
| 366  | 28306082 | 28306090 | 28306108 |
| 400  | 26241265 | 26241273 | 22789345 |
| 433  | 26241281 | 26241299 | 26241307 |
| 466  | 28306136 | 28306124 | 28306132 |
| 500  | 26241331 | 26241349 | 26241356 |
| 533  | 26241364 | 26241372 | 26241380 |
| 566  | 28306140 | 28306157 | 28306165 |
| 600  | 28306215 | 28306223 | 23114721 |
| 633  | 26241422 | 26241430 | 26241448 |

**Styrke/spesifikasjon:**

Bjelkene har CE-godkjenning 1070-CPR-501 i styrkeklassen GL 30c. Trykkimpregnet limtre er av furu, med miljøvennlig, fargeløs impregnering (TMF®) som standard. Kobberimpregnering (Cu) leveres kun som standard fra vår fabrikk i Agder, og ellers på bestilling. Alle bjelker i lista er i standard overflatekvalitet. Limtre i gran er emballert i blå plast. Impregnet limtre er emballert med grønn plast.

**Utvalg:**

Alle uthevede dimensjoner (hvite tall i røde felt) lagerføres, med bestillingsfrist innen kl. 14.00, to arbeidsdager før avgang på gjeldende kjørerute. (Se egen oversikt over kjøreruter.) På ikke-lagerførte dimensjoner beregnes produksjonstid, avhengig av dimensjon og sesong, til ca. 2 uker. For andre bredder og høyder avtales leveringstid ihvert enkelt tilfelle.

**Furu ubehandlet:**

Limtrebjelker i ubehandlet furu kan leveres på forespørsel.

**Priser:**

Alle priser er pr løpemeter i 12 eller 15 meters lengder. For kappede bjelker tilkommer et kappetillegg på kr. 30,- brutto, pr. kapp. Alle priser er eks. mva. Prisene er tilgjengelige på NOBB.

**Frakt:**

Frakt med våre til enhver tid gjeldende kjøreruter. Annen distriksbusjon kan avtales. Kontakt vårt kundesenter på tlf 06123 for nærmere informasjon om kjøreruter og priser der det ikke allerede er avtalt.

| TRYKKIMPREGNERT CU leveres fra Agder |          |          |          |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| Høyde                                | Bredde   |          |          |
|                                      | 90       | 115      | 140      |
|                                      | Nobbnr.  | Nobbnr.  | Nobbnr.  |
| 90                                   | 51009912 |          |          |
| 115                                  |          | 51010332 |          |
| 133                                  | 51009961 | 51010343 | 51011637 |
| 200                                  | 51009976 | 51010358 | 51011743 |
| 233                                  | 51009980 | 51010362 | 51011762 |
| 266                                  | 51009995 | 51010377 | 51011796 |
| 300                                  | 51010120 | 51010381 | 51011834 |
| 333                                  | 51010173 | 51010396 | 51011845 |
| 366                                  | 51010184 | 51010415 | 51011853 |
| 400                                  | 51010192 | 51010555 | 51011864 |
| 433                                  | 51010203 | 51010884 | 51011872 |
| 466                                  | 51010218 | 51010975 | 51011883 |
| 500                                  | 51010222 | 51010986 | 51011955 |
| 533                                  | 51010241 | 51011592 | 51011955 |
| 566                                  | 51010256 | 51011603 | 51011985 |
| 600                                  | 51010313 | 51011618 | 51011993 |
| 633                                  | 51010324 | 51011618 | 51012004 |

Limtre

Limtre

| GRAN  |          |          |          |
|-------|----------|----------|----------|
| Høyde | Bredde   |          |          |
|       | 90       | 115      | 140      |
|       | Nobbnr.  | Nobbnr.  | Nobbnr.  |
| 90    | 25681818 | 25681982 | 26241018 |
| 115   |          | 25681883 |          |
| 135   | 25823014 | 25823733 | 25681933 |
| 180   | 25681826 | 25986761 | 26092353 |
| 225   | 25681834 | 25681891 | 25681941 |
| 270   | 25681842 | 26093484 | 26093492 |
| 315   | 25681859 | 25681909 | 25681958 |
| 360   | 25681867 | 26166116 | 22131957 |
| 405   | 25681875 | 25681917 | 25681966 |
| 450   | 26166124 | 26166132 | 26166140 |
| 495   | 26166157 | 25681925 | 26855635 |
| 540   | 26166365 | 26240937 | 26240945 |
| 585   | 26240952 | 26240960 | 25681974 |
| 630   | 26240978 | 26240986 | 26240994 |

| TRYKKIMPREGNERT TMF leveres fra Moelv og Trondheim |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|
| Høyde  | Bredde   |          |          |
|  | 90       | 115      | 140      |
|  | Nobbnr.  | Nobbnr.  | Nobbnr.  |
| 90   | 26241026 | 26241109 | 28305985 |
| 115  |          | 26241042 |          |
| 133  | 28305993 | 28306009 | 28306017 |
| 200  | 26241034 | 26241091 | 28306173 |
| 233  | 26241141 | 26241158 | 26241166 |
| 266  | 28306025 | 28306033 | 28306041 |
| 300  | 26241067 | 26241075 | 26241083 |
| 333  | 28306058 | 28306066 | 28306074 |
| 366  | 28306082 | 28306090 | 28306108 |
| 400  | 26241265 | 26241273 | 22789345 |
| 433  | 26241281 | 26241299 | 26241307 |
| 466  | 28306116 | 28306124 | 28306132 |
| 500  | 26241331 | 26241349 | 26241356 |
| 533  | 26241364 | 26241372 | 26241380 |
| 566  | 28306140 | 28306157 | 28306165 |
| 600  | 28306215 | 28306223 | 23114721 |
| 633  | 26241422 | 26241430 | 26241448 |

**Styrke/spesifikasjon:**

Bjelkene har CE-godkjenning 1070-CPR-501 i styrkeklassen GL 30c. Trykkimpregnet limtre er av furu, med miljøvennlig, fargeløs impregnering (TMF®) som standard. Kobberimpregnering (Cu) leveres kun som standard fra vår fabrikk i Agder, og ellers på bestilling. Alle bjelker i lista er i standard overflatekvalitet. Limtre i gran er emballert i blå plast. Impregnet limtre er emballert med grønn plast.

**Utvalg:**

Alle uthevede dimensjoner (hvite tall i røde felt) lagerføres, med bestillingsfrist innen kl. 14.00, to arbeidsdager før avgang på gjeldende kjørerute. (Se egen oversikt over kjøreruter.) På ikke-lagerførte dimensjoner beregnes produksjonstid, avhengig av dimensjon og sesong, til ca. 2 uker. For andre bredder og høyder avtales leveringstid ihvert enkelt tilfelle.

**Furu ubehandlet:**

Limtrebjelker i ubehandlet furu kan leveres på forespørsel.

**Priser:**

Alle priser er pr løpemetre i 12 eller 15 meters lengder. For kappede bjelker tilkommer et kappetillegg på kr. 30,- brutto, pr. kapp. Alle priser er eks. mva. Prisene er tilgjengelige på NOBB.

**Frakt:**

Frakt med våre til enhver tid gjeldende kjøreruter. Annen distribusjon kan avtales. Kontakt vårt kundesenter på tlf 06123 for nærmere informasjon om kjøreruter og priser der det ikke allerede er avtalt.

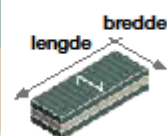
| TRYKKIMPREGNERT CU leveres fra Agder |          |          |          |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| Høyde                                | Bredde   |          |          |
|                                      | 90       | 115      | 140      |
|                                      | Nobbnr.  | Nobbnr.  | Nobbnr.  |
| 90                                   | 51009912 |          |          |
| 115                                  |          | 51010332 |          |
| 133                                  | 51009961 | 51010343 | 51011637 |
| 200                                  | 51009976 | 51010358 | 51011743 |
| 233                                  | 51009980 | 51010362 | 51011762 |
| 266                                  | 51009995 | 51010377 | 51011796 |
| 300                                  | 51010120 | 51010381 | 51011834 |
| 333                                  | 51010173 | 51010396 | 51011845 |
| 366                                  | 51010184 | 51010415 | 51011853 |
| 400                                  | 51010192 | 51010555 | 51011864 |
| 433                                  | 51010203 | 51010884 | 51011872 |
| 466                                  | 51010218 | 51010975 | 51011883 |
| 500                                  | 51010222 | 51010986 | 51011955 |
| 533                                  | 51010241 | 51011592 | 51011955 |
| 566                                  | 51010256 | 51011603 | 51011985 |
| 600                                  | 51010313 | 51011618 | 51011993 |
| 633                                  | 51010324 | 51011618 | 51012004 |

# Standardoppbygninger

## Veggelementer av CLT (C-plater)

Fiberretningen i yttersjiktene er alltid parallell med platebredden.

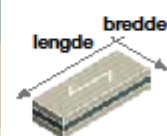
| Tykkelse [mm] | Platetype H | Sjikt H | Plateoppbygning [mm] |    |      |    |      |   |      |  |
|---------------|-------------|---------|----------------------|----|------|----|------|---|------|--|
|               |             |         | C***                 | L  | C*** | L  | C*** | L | C*** |  |
| 60            | C3s         | 3       | 20                   | 20 | 20   |    |      |   |      |  |
| 80            | C3s         | 3       | 30                   | 20 | 30   |    |      |   |      |  |
| 90            | C3s         | 3       | 30                   | 30 | 30   |    |      |   |      |  |
| 100           | C3s         | 3       | 30                   | 40 | 30   |    |      |   |      |  |
| 120           | C3s         | 3       | 40                   | 40 | 40   |    |      |   |      |  |
| 100           | C5s         | 5       | 20                   | 20 | 20   | 20 | 20   |   |      |  |
| 120           | C5s         | 5       | 30                   | 20 | 20   | 20 | 30   |   |      |  |
| 140           | C5s         | 5       | 40                   | 20 | 20   | 20 | 40   |   |      |  |
| 160           | C5s         | 5       | 40                   | 20 | 40   | 20 | 40   |   |      |  |



## Etasjeskillerelementer av CLT (L-plater)

Fiberretningen i yttersjiktene står alltid i rett vinkel mot platebredden.

| Tykkelse [mm] | Platetype H | Sjikt H | Plateoppbygning [mm] |    |    |    |    |    |    |  |
|---------------|-------------|---------|----------------------|----|----|----|----|----|----|--|
|               |             |         | L                    | C  | L  | C  | L  | C  | L  |  |
| 60            | L3s         | 3       | 20                   | 20 | 20 |    |    |    |    |  |
| 80            | L3s         | 3       | 30                   | 20 | 30 |    |    |    |    |  |
| 90            | L3s         | 3       | 30                   | 30 | 30 |    |    |    |    |  |
| 100           | L3s         | 3       | 30                   | 40 | 30 |    |    |    |    |  |
| 120           | L3s         | 3       | 40                   | 40 | 40 |    |    |    |    |  |
| 100           | L5s         | 5       | 20                   | 20 | 20 | 20 | 20 |    |    |  |
| 120           | L5s         | 5       | 30                   | 20 | 20 | 20 | 30 |    |    |  |
| 140           | L5s         | 5       | 40                   | 20 | 20 | 20 | 40 |    |    |  |
| 160           | L5s         | 5       | 40                   | 20 | 40 | 20 | 40 |    |    |  |
| 180           | L5s         | 5       | 40                   | 30 | 40 | 30 | 40 |    |    |  |
| 200           | L5s         | 5       | 40                   | 40 | 40 | 40 | 40 |    |    |  |
| 160           | L5s-2*      | 5       | 60                   | 40 | 60 |    |    |    |    |  |
| 180           | L7s         | 7       | 30                   | 20 | 30 | 20 | 30 | 20 | 30 |  |
| 200           | L7s         | 7       | 20                   | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | 20 |  |
| 240           | L7s         | 7       | 30                   | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 |  |
| 220           | L7s-2*      | 7       | 60                   | 30 | 40 | 30 | 60 |    |    |  |
| 240           | L7s-2*      | 7       | 80                   | 20 | 40 | 20 | 80 |    |    |  |
| 260           | L7s-2*      | 7       | 80                   | 30 | 40 | 30 | 80 |    |    |  |
| 280           | L7s-2*      | 7       | 80                   | 40 | 40 | 40 | 80 |    |    |  |
| 300           | L8s-2**     | 8       | 80                   | 30 | 80 | 30 | 80 |    |    |  |
| 320           | L8s-2**     | 8       | 80                   | 40 | 80 | 40 | 80 |    |    |  |



- \* Yttersjiktene består av to langsgående sjikt.
- \*\* Yttersjiktene og det indre sjiktet består av to langsgående sjikt.
- \*\*\* På C-plater går sliperretningen på tvers av fibre.

Bredde (fakturerbare bredder) ..... 245 cm, 275 cm, 295 cm.  
Lengde (produksjonslengder) ..... Inndeling i trinn på 10 cm  
(fra en minste produksjonslengde på 8,00 m til maksimalt 16,00 m).

# Vedlegg 26

## Tegninger

# Vedlegg 27

## Tredje utkast fra arkitekt

# Vedlegg 28

## Utvalg av Calculatis-beregninger