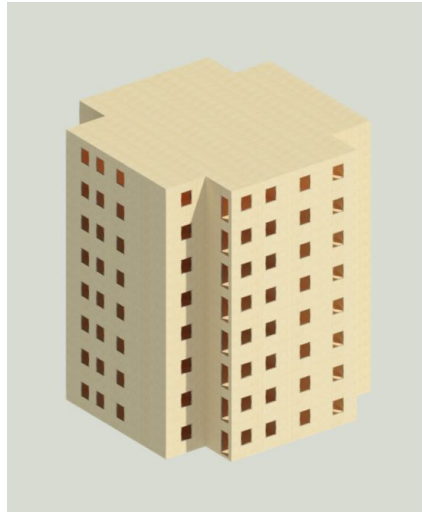




Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE



Studieprogram/spesialisering:

Bachelorstudium - Ingeniørfag Bygg,
konstruksjonsteknikk

Høstsemesteret, 2022

Åpen

Forfatter: Mats Aleksander Berntsen

Fagansvarlig og veileder: Guillermo Rojas Orts

Tittel på bacheloroppgaven:

Optimal dimensjonering av massivtrekonstruksjoner: En studie av hvordan ulike fasthetsklasser påvirker kostnader i tverrsnitt av massivtre

Engelsk tittel:

Optimal structural design of CLT construction: A study on how different strength classes affect cost in CLT cross sections

Studiepoeng: 20

Emneord: CLT, Massivtre,
trevirke, elementer
konstruksjonsvirke,
fasthetsklasse, analyse,
kostnader

Sidetall: 48 sider

+vedlegg/annet: 75 sider

Stavanger, 31. januar 2023

Forord

Denne bacheloroppgaven markerer slutten på et 3-års bachelorstudieprogram i ingeniørfag Bygg - konstruksjonsteknikk ved Universitetet i Stavanger.

Trearbeid er en stor interesse for meg utenfor studier. Ulike prosjekter som inkluderer alt i fra lokal produsert villmarkspanel, skjærefjølere og andre møbler har gitt meg innsikt i hvordan treverk opptrer under bearbeidelse, sammenliming og luftfuktighet. En fisketur i Oslofjorden høsten 2021 førte til en samtale om massivtre i forbindelse med etableringen av Södras nye massivtrefabrikk i Väro, Sverige. Det ble opprettet kontakt med Södra som kom med en relevant problemstilling innenfor massivtreproduksjon. Bacheloroppgave knyttet til temaet massivtre gir en større innsikt for trevirke brukt i byggematerialer.

Gjennom arbeidet med oppgaven har jeg fått god innsikt på den globale lastanalysen for en konstruksjon med tilhørende dimensjonering av elementer i massivtre for opptredende krefter og momenter. Analysen av tverrsnittet og sammenhengen mellom sjikt i ulike fasthetsklasser og materialkostnader har vært en inspirerende, men samtidig krevende prosess.

I denne forbindelsen ønsker jeg å rette en stor takk til:

- Min veileder Guillermo Rojas Orts for god faglig støtte, diskusjoner og konstruktive tilbakemeldinger på arbeidet.
- Daniel Andersson og Rode Lövgren ved Södra Building Systems for tilegning av oppgaven, gode diskusjoner om temaet samt faglig innspill på både kontekst og beregninger.
- Christen Grønvold – Hansen ved Södra Tofte for fisketuren og opprettelsen av kontakt med Södra Building Systems vedrørende bacheloroppgaven.

30/1-2023, Stavanger



Mats Aleksander Berntsen

Sammendrag

Massivtre eller Kl-tre er et dagsaktuelt byggemateriale. Elementer i massivtre har gunstige styrkeegenskaper, er allsidig i sitt bruk samt innehar gode miljøegenskaper. Hovedmålet for denne oppgaven er å gjennomgå potensialet til råmaterialet av trevirke ved å utnytte lavere fasthetsklasser i et tverrsnitt av massivtre.

For å svare på hovedmålet blir det tatt stilling til følgende delmål:

- Sammenlikning av lastvirkningen på tverrsnitt med samtlige sjikt i fasthetsklasse C24 og tverrsnitt bestående av fasthetsklasse C24 i ytre sjikt og C14 for øvrige sjikt.
- Materialkostnad for en høyblokk på åtte etasjer ved bruk av ulike tverrsnitt for hele konstruksjonen.

En høyblokk på åtte etasjer i massivtre blir analysert i SAP2000 for opptredende krefter og momenter med tverrsnitt i fasthetsklasse C24. Tverrsnitt bestående av fasthetsklasser C24/C14 blir dimensjonert etter laster og momenter fra analysen for høyblokken. Videre blir råmaterialkostnad knyttet sammen med de ulike tverrsnittene i C24 og C24/C14.

Beregningene viser at kombinasjonen mellom tykkelse og fasthetsklasse avgjør lastvirkningen til elementet. Tykkelsen for tverrsnittet har en signifikant større betydning for bøyestivhet enn lavere fasthet i indre sjikt. Ved å følge kostnadskalkylen fra Södra Building Systems er det relativt store kostnadsbesparelser for Revit-prosjektet, ved å utnytte lavere fasthetsklasse i indre sjikt.

Konklusjonen viser til tverrsnitt bestående av høyere kvalitet i ytre sjikt og tilhørende lavere kvalitet i indre sjikt har potensial for reduksjon av materialkostnad i en konstruksjon med lastvirkning som dimensjoneringsfaktor.

Abstract

Cross laminated timber, or CLT is well used as a building material today. CLT elements have favourable strength properties, are versatile in their use and have good environmental properties. The main objective of this task is to review the potential of the raw material of lumber by exploiting lower grades in a solid wood cross-section related to material costs. To answer the main objective, the following sub-goals are considered:

- Comparison of the load effect on the cross section with all layers in grade C24 and cross section consisting of grade C24 for the outer layers and C14 for the inner layers.
- Material cost for the entire project using different cross-sections for the entire structure.

An eight-story high-rise in CLT is analysed in SAP2000 for occurring forces and moments with a cross-section in grade C24. Cross-sections consisting of strength class C24/C14 are dimensioned according to loads and moments from the high-rise analysis. Further is the raw material cost is linked to the different cross-sections in C24 and C24/C14.

The calculations show that the combination of thickness and strength class determines the load effect of the element. The thickness of the cross-section has a significantly greater impact on the bending stiffness than lower strength in the inner layers. By following the cost estimate of raw material from Södra Building Systems, there are relatively large cost savings for the Revit- project by utilizing a lower grade in the inner layers.

The conclusion shows that cross-sections consisting of higher quality in the outer layers and corresponding lower quality in the inner layers have the potential for reducing material cost in a structure with load effect as the design factor.

Innholdsfortegnelse

Forord	1
Sammendrag	2
Abstract	3
1.0 Innledning	6
1.1 Formål.....	6
1.2 Avgrensing.....	7
2.0 Teori	8
2.1 Massivtre	8
.....	9
2.2 Definisjon av fasthetsklasser	10
2.3 Mechanically jointed members, Gamma-metoden	14
3.0 Analyse	18
3.1 Geometri og materialer	19
3.2 Laster og lastkombinasjon.....	21
3.2.1 Nytte-og egenlast	21
3.2.2 Snø- og vindlast	23
3.2.3 Lastkombinasjoner, brudd- og bruksgrensetilstand.....	24
3.3 Global lastanalyse.....	25
3.4 Dimensjonering av vegger og etasjeskiller	30
3.4.1 Yttervegg - Gamma metoden	31
3.4.2 Innervegg - Gamma metoden	32
3.4.3 Etasjeskille - Gamma metoden.....	33
3.4.5 Materialkostnad for bygg	34
4.0 Resultater	36
4.1 Yttervegg	36
4.2 Innervegg.....	36
4.3 Etasjeskille	36
4.4 Total materialkostnad	37
4.5 Drøfting av resultatene	37

5.0 Konklusjon	42
6.0 Litteratur	43
Figurliste	44
Tabelliste	45
Oversikt vedlegg	46
Vedlegg	48

1.0 Innledning

Treet har vært en viktig og allsidig ressurs for mennesker gjennom historien og har blitt brukt til alt fra byggematerialer til møbler, papir og andre treprodukter. Trevirke som råstoff er en betinget fornybar ressurs. Det innebærer at treindustrien bør stå for et bærekraftig uttak av trevirke for å bevare skogen som biologisk samfunn. Data fra Landbruksdirektoratet viser til en generell økning i uttak av tømmer til skogindustrien de siste 18 årene (Landbruksdirektoratet, u.å.). Uttakene de siste 18 årene viser til at andelen av sagtømmer til skurlast er oftest større enn for massevirke til treforedlingsindustrien.

Bruken av massivtre som byggemateriale startet i Mellom-Europa tidlig på 1990-tallet og spredte seg siden til de nordiske landene. I dag ansees massivtre som et respektert byggemateriale for bruk i ulike konstruksjoner som offentlig bygg, boliger og skoler (Aarstad et al., 2008, s. 2).

1.1 Formål

Formålet med denne oppgaven er å gjennomgå potensialet til råmaterialet av trevirke ved å utnytte lavere fasthetsklasser i et tverrsnitt av massivtre. Oppgaven knyttes til følgende problemstilling:

I hvilket omfang kan ulike kvaliteter av trevirke knyttes til kostnadsbesparelse i konstruksjoner i massivtre?

Bakgrunnen for problemstillingen er at Södra Building Systems vurderer å inkorporere andre fasthetsklasser enn C24 som de benytter i massivtreelementer på nåværende tidspunkt. Hvert parti med sortert råmateriale i fasthetsklasse C24 inneholder både lavere og høyere fasthetsklasser. Ved ytterlig sortering av partiet kan styrken i de ulike fasthetsklassene utnyttes på en mer kostnadseffektiv og bærekraftig måte.

Gjennom et samarbeid med Södra Building Systems har det blitt tildelt et Revit-prosjekt; En høyblokk på 8 etasjer bestående av bæresystem i massivtre ment for boligformål. Gjennom FEM-design programvare, SAP2000, utføres en lastanalyse av høyblokken.

Analysen brukes videre til å dimensjonere opprinnelige tverrsnitt fra Revit-prosjektet samt ulike tverrsnitt i vegger og etasjeskiller etter brudd- og bruksgrensetilstand.

For å se videre på formålet vil følgende undersøkes:

1. Sammenlikning av lastvirkningen på tverrsnitt med samtlige sjikt i fasthetsklasse C24 og tverrsnitt bestående av fasthetsklasse C24 i ytre sjikt og C14 for resterende sjikt.
2. Materialkostnad for hele prosjektet ved bruk av ulike tverrsnitt for hele konstruksjonen.

1.2 Avgrensing

I denne oppgaven er det utelukkende fokusert på styrkeberegningen av ulike 5-lags CLT elementer. Det er følgelig ikke tatt hensyn til andre dimensjonerende faktorer slik som ulykke, brann, energieffektivitet, jordskjelv, lyd og vibrasjoner. Likeledes er innfestninger og forankringer i alle knutepunkter, samt fundament ansett som tilstrekkelig for å tåle gitt belastning og er ikke iberegnet.

Lastanalysen som er utført i FEM-design programvaren er kun utført etter angitte materialer fra Revit-prosjektet. Det medfører til lik egenvekt for alle tverrsnitt derav lik belastning som gir grunnlaget for dimensjoneringen av alle tverrsnitt som beregnes i bruddgrensetilstand.

Et utvalg bestående av én yttervegg, én innervegg og ett etasjeskille er vurdert som tilstrekkelig i dimensjoneringsammenheng for anvendelse i alle yttervegger, innervegger og etasjeskiller i konstruksjonen. De øvrige veggene har mindre eller lik belastning og de øvrige etasjeskillene har kortere spennvidde. Videre er veggene tilhørende etasjeskille som gir beregningsgrunnlag for trykk vinkelrett på fibrene.

Kostnadsoverslaget ser kun på materialkostnad av lameller inn til fabrikk, øvrige kostnader knyttet til produksjon av elementene er utelatt. Mottatt kostnadskalkyle fra Södra Building Systems er oppgitt i svensker kroner.

2.0 Teori

2.1 Massivtre

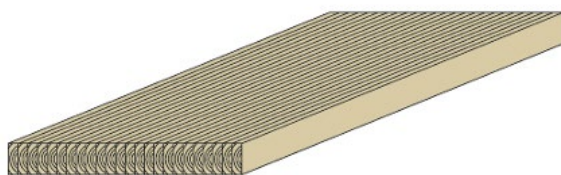
Massivtreelementer, *KL-tre* eller *CLT* er fellesbetegnelsen for lameller i trevirke som er satt sammen til elementer. Skjøting av lameller i lengderetning utføres ved enten fingerskjøting eller kantliming. Elementene kan deles inn i to ulike kategorier:

Kantstilte elementer

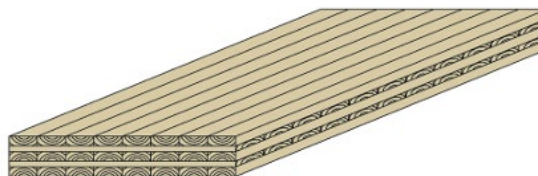
Elementer framstilles av lameller som står på høykant. Lamellene festes sammen ved enten mekanisk eller kjemiske forbindelser. De mekaniske forbindelsene består ofte av tredybler, skrue, spiker eller stålstag. Den kjemiske forbindelsen er ved bruk av lim (Aarstad et al., 2008, s. 2).

Krysslagte elementer

Elementer som utformes av liggende lameller sammenføyet til sjikt. De ulike sjiktene settes sammen i krysslagte lag med 90 eller 45 grader i forhold til hverandre. Vekselvis orientering av trefibrene fører til et mer dimensjonsstabilt element. Dette fører til liten dimensjonsforandring i tverrmål, men normal økning av ytre mål i lengderetning som for vanlig konstruksjonsvirke. Sammenføyningen består enten av mekanisk forbindelse som tredybler eller kjemiske forbindelse i form av lim (Aarstad et al., 2008, s. 2).



Figur 1: Kantstilt element, Treteknisk Hefte 1 Massivtre

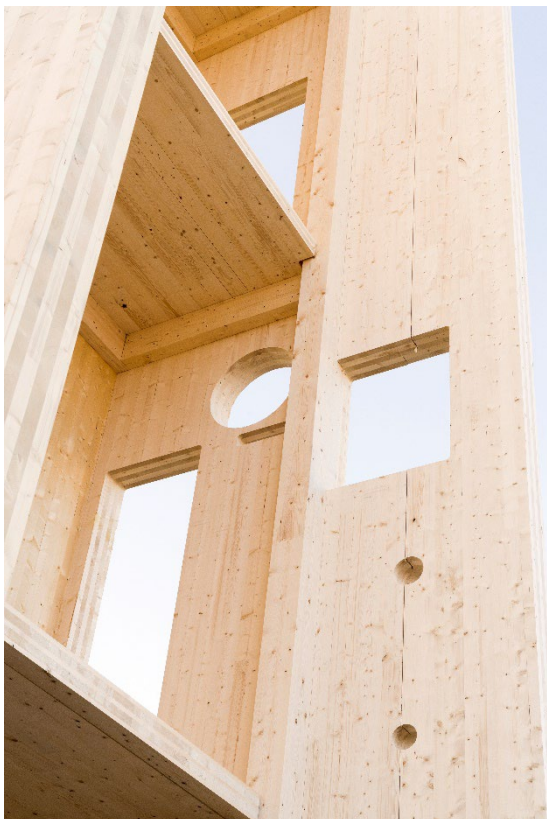


Figur 2: Krysslagt element, Treteknisk Hefte 1 Massivtre

Massivtreelementer fremstår som et byggemateriale med egenskaper egnet til et mangfoldig bruk. Bygg med massivtre gir stor fleksibilitet under prosjekteringen. Elementene tåler lange spennvidder for etasjeskiller som medfører til gunstige betingelser for ulike planløsninger. CLT kan produseres i alle mulige fasonger og kan kombineres med andre byggematerialer som betong og stål for flere ulike formål. Etasjeskiller og vegger kan produseres ferdig tilpasset med spor til gulvvarme eller rørføring av vann, kloakk og elektrisitet og

utsparinger til vinduer og dører. Byggeprosessen blir kortere med ferdigtilpasset produserte elementer som heises på korrekt beliggenhet (Aarstad et al., 2008, s. 2-3).

Trevirket i KL-tre har gode miljøegenskaper som med som bidra til en reduksjon i tilførselen av CO₂ klimagass i atmosfæren. Fremstillingen av materialet tilfører lite fossil energi til atmosfæren og etter endt bruk kan det gjenvinnes videre til et CO₂-nøytralt biobrensel eller andre produkter basert på tre. Materialer i treverk har en positiv innvirkning på inneklime og -miljø ved å regulere avvik i relativ luftfuktighet og temperatur (Aarstad et al., 2008, s. 7).



Figur 1: Massivtreelement Skellefteås kulturhus i Sverige. Foto: Martinsons / Jonas Westling



Figur 2: Massivtreelement som heises på plass i Skellefteås kulturhus i Sverige. Foto: Martinsons / Jonas Westling

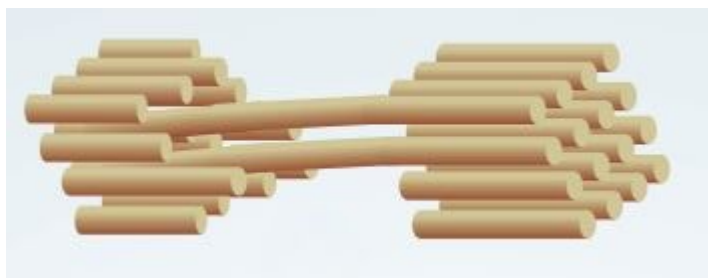
2.2 Definisjon av fasthetsklasser

Lamellene i et massivtreelement benyttes etter NS-EN 338. Treverk som konstruksjonsvirke har høy styrke i forhold til vekt, med en trykkfasthet som er relativt lavere enn strekkfasthet. Bøyefastheten er en kombinasjon av både strekk og trykk og vil derfor ha en verdi som ligger mellom strekk- og trykkfastheten. Konstruksjonsvirke klassifiseres inn i ulike fasthetsklasser i NS-EN 338 etter styrke på virket (Øvrum & Skaug, 2007, s. 3).

Klasser NS-EN 338	Bøye- fasthet N/mm ²	Elastisi- tets- modul kN/mm ²	Densitet kg/m ³
C14	14	7	290
C18	18	9	320
C24	24	11	350
C30	30	12	380

Tabell 1: De vanligste fasthetsklassene for konstruksjonsvirke etter NS-EN 338, Treteknisk FOKUS på tre nr.43

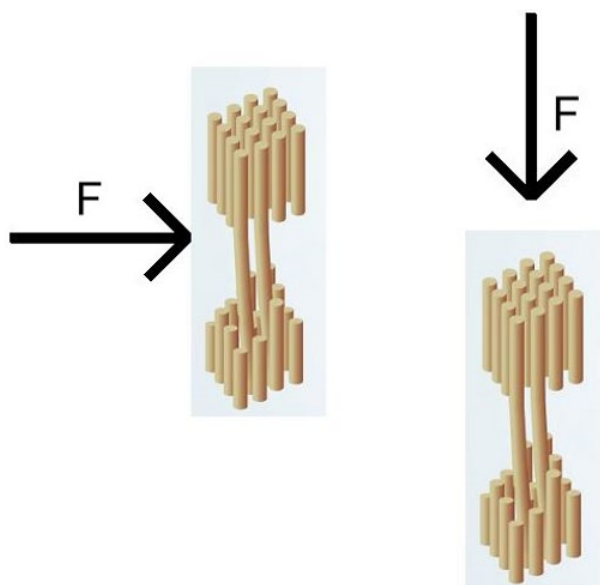
I hovedsak består trevirke av cellulose og lignin. Cellulose er lange, hule fibre med svært stor strekkfasthet. Ligninet binder og fyller hulrommene mellom cellulosefibre slik at de ikke bryter sammen og faller fra hverandre. Ligninet står for trykkfastheten i virket. (Øvrum & Skaug, 2007, s. 3).



Figur 3: Cellulosestruktur, Treteknisk FOKUS på tre nr.40

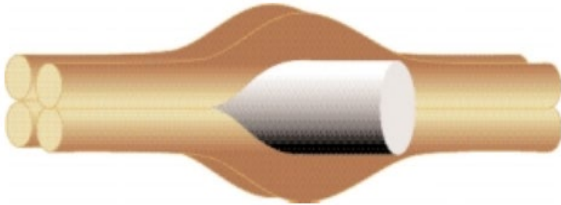
Trevirke er et heterogent materiale - ingen tre er like. De ulike bestanddelene i treet har forskjellige innvirkning for trelastens styrke. Enkelte deler har betydelig stor styrke, andre har lav styrke eller negativ innvirkning for delene med stor styrke (Øvrum & Skaug, 2007, s. 3).

Helling av fibre i forhold til lengderetningen ansees svært tungtveiende for styrken. Krefter påført i lengderetningen fører til at fibre presses fra hverandre, og gir lav trykkfasthet. Krefter påført vinkelrett på lengderetningen er mer gunstig, og fibre holdes mer sammen, noe som gir høy strekkfasthet (Øvrum & Skaug, 2007, s. 4).



Figur 4: Laster fra ulike retninger på trefiber, redigert fra Treteknisk FOKUS på tre nr. 40

Kvister bidrar svært negativt til styrken for konstruksjonsvirke. Veden i trestammen må vokse rundt kvisten og fører til fiberforstyrrelser i området. Den nye orienteringen av fibrene fører til at kreftene virker mer transversalt. Den lave trykkfastheten som oppstår, blir overført til lengderetningen til virket (Øvrum & Skaug, 2007, s. 4).



Figur 5: Fiberforløpet rundt en kvist, *Treteknisk FOKUS på tre nr. 43*

Trykkved, eller *tennar*, har stor negativ innvirkning på trevirkets egenskaper. Tennar oppstår når treet forsøker å støtte opp skjevheter under veksten. Tennarved har et mindre innhold av cellulose i cellene i tillegg til betydelig fiberhelling. Områder med tennarved innehar stor trykkfasthet, men svært redusert strekkfasthet. Under tørking av konstruksjonsvirke vil det oppstå spenninger mellom normal ved og trykkved som fører til deformasjon av virket (Øvrum & Skaug, 2007, s. 5).



Figur 6: Det mørke feltet er tennarved, *Treteknisk FOKUS på tre nr. 40*

Årringsbredde er avstanden mellom årringene i tverrsnittet til et tre. Tettere årringer viser til en høyere densitet som gir høyere styrke på trevirke. Trevirke som har dårligere vekstforhold kan også ha tettere årringer, men med svakere styrkeegenskaper. (Øvrum & Skaug, 2007, s. 5).

Sprekker i trevirke er i tilnærmet alle tilfeller i fiberretning og skaper sjelden forstyrrelser for strekk- og trykkfastheten. Langsgående sprekker kan føre til utfordringer for skjærfastheten som holder materialet sammen (Øvrum & Skaug, 2007, s. 5).

Biologiske skader av ulike arter kan svekke trevirket. Svortesopp er sopp som fører til forringelse i utseende på trevirket. Svortesopper fører ikke til reduksjon av styrken. Råtesopp bruker cellulose og lignin i virket som næring som fører til en reduksjon av fastheten (Øvrum & Skaug, 2007, s.5). Ulike former for sopp i treverk gjengir ugunstige fuktforhold.

Sorteringen av de ulike fasthetsklassene foregår visuelt og maskinelt og bedømmes etter virkeegenskaper som:

- Hefter fiberens retning parallelt med lengderetningen.
- Svekker trefibrene.

(Øvrum & Skaug, 2007, s. 3)

Den maskinelle sorteringen tar i hovedsak for seg kvist og andre fiberforstyrrelser og er innstilt etter del 4 av NS-EN 14081. Biologiske skader, tennar og vridninger sorteres visuelt (Øvrum & Skaug, 2007, s. 3). NS-INSTA 142 definerer nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast. Sorteringskrav i standarden viser til toleranser for de ulike virkeegenskapene. Det er ulike krav for trelast med tykkelse ≥ 45 mm eller bredde > 75 mm og trelast med tykkelse ≤ 45 mm eller bredde ≤ 75 mm, der sistnevnte har strengere betingelser.

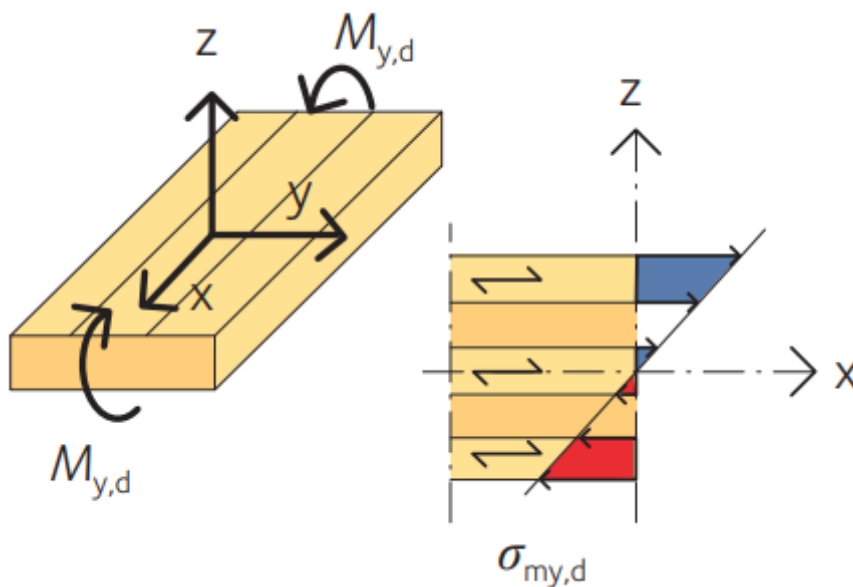
Tabellen nedenfor viser de vanligste fasthetsklassene definert i NS-EN 338 som korresponderer med de ulike sorteringsklassene i NS-INSTA 142.

Fasthetsklasse NS-EN 338	Sorteringsklasse NS-INSTA 142
C30	T3
C24	T2
C18	T1
C14	T0

Tabell 2: Samsvarende fasthetsklasser i NS-EN 338 og sorteringsklasser i NS-INSTA 142

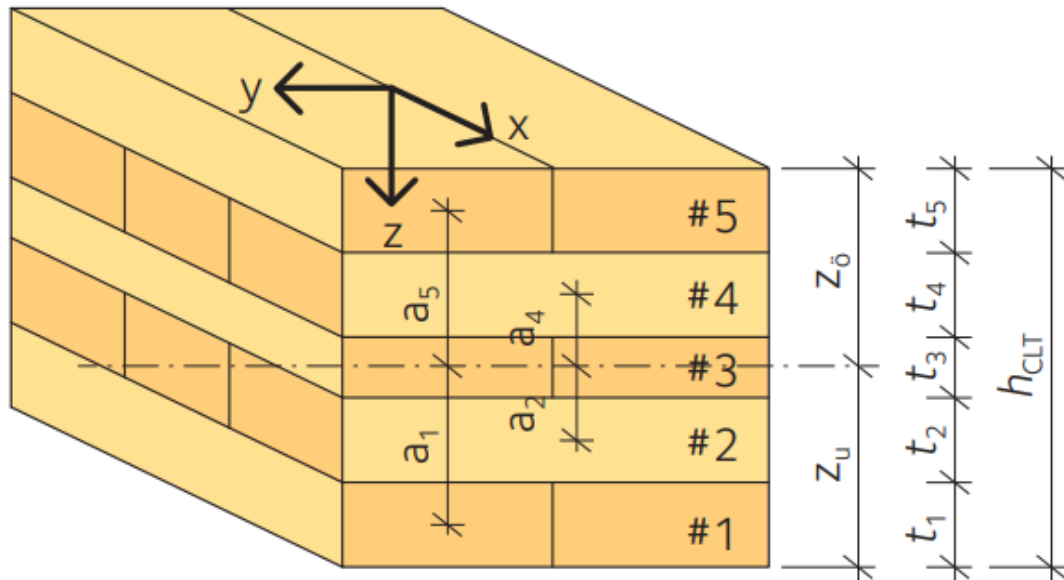
2.3 Mechanically jointed members, Gamma-metoden

Et signifikant aspekt ved deformasjon i et CLT element er skjærdeformasjon. Deformasjonen fra skjærkrefter er beskrevet på en forenklet måte i Eurokode 5 tillegg B. Ved betraktning av ren bøyning er bøyestivheten EI_{net} kalkulert med nettotverrsnitt, som inkluderer de langsgående lagene. For anvendelse av «Mechanically jointed members», eller Gamma-metoden, introduseres et effektivt bøyemoment I_{ef} i kalkulasjonen. For Gamma-metoden er det betraktet kun lameller i lengderetning som bidrar til bøyestivheten. De langsgående sjiktene blir sett på som bjelker festet mekanisk sammen med stivhet tilsvarende rulleskjærdeformasjonen i tverrlagene. For hvert langsgående lag blir Steiners sats redusert med en Gamma-verdi som avhenger av spennvidde (Gustafsson, 2019, s. 48-49). Figuren under viser at bøyebelastningen virker kun i de langsgående lagene



Figur 7: Bøyepåkjenning om y-akse, The CLT handbook s.25

Teorien i Eurokode 5 tillegg B er gjeldene for 3- og 5-lags elementer. Med samme fremgangsmåte som for et element på 5 lag kan metoden benyttes for et 7-lags element med forutsetning av de 2 ytterste sjiktene har samme orientering.



Figur 8: Tverrsnitts 5-lags element, *The CLT handbook* s.50

For et KL-tre på 5-lag med symmetrisk tverrsnitt ($t_1=t_3=t_5$) er fremgangsmåten for beregning av *Effektiv bøymoment* og påfølgende *Gamma-verdi*:

Utdrag av formler fra *The CLT Handbook* s.50

Effektiv treghetsmoment mot bøyning, $I_{x,ef}$:

$$I_{x,ef} = \sum \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} * \frac{b_x t_i^3}{12} + \gamma_i \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} b_x t_i a_i^2$$

Forenklet formel ved symmetrisk tverrsnitt ($t_1=t_3=t_5$) med samme fasthetsklasse i alle sjikt

$$I_{x,ef} = b_x \left(\frac{3t_1^3}{12} + 2\gamma_1 t_1 a_1^2 \right)$$

Forenklet formel ved symmetrisk tverrsnitt ($t_1=t_3=t_5$) med høyere fasthetsklasse i ytre lameller og lavere fasthetsklasse i øvrige indre lameller.

$$I_{x,ef} = b_x \left(\left(\frac{2t_1^3}{12} + 2\gamma_1 t_1 a_1^2 \right) + \left(\frac{E_{x,i}}{E_{ref}} * \frac{b_x t_3^3}{12} \right) \right)$$

Her er,

b_x = Elementbredde, settes normalt lik 1000mm etter stripemetoden

a_i =Avstand fra tverrsnittets tyngdepunktsakse til gitt sjikt tyngdepunktsakse. (For 5-lags element benyttes a_1 og a_5 . $a_3=0$ ved symmetrisk tverrsnitt.)

γ_i = Gamma-verdi gitt sjikt (For 5-lags element benyttes sjikt 1, 3 og 5)

$E_{x,i}$ = Elastisitetsmodul for gitt ytre sjikt

E_{ref} = Elastisitetsmodul for gitt indre sjikt

Gamma-verdi, γ :

Beregnes kun for langsgående lag.

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 * E_{x,1} * t_1}{I_{ref}^2} * \frac{t_2}{G_{9090,2}}}$$

Her er,

γ_1 = Gamma-verdi sjikt 1

$E_{x,1}$ = Elastisitetsmodul for sjikt 1

t_1 = Tykkelse for sjikt 1

I_{ref} = Referanselengde på element

t_2 = Tykkelse for sjikt 2

G_{9090} = Rulleskjærmodul for tilhørende sjikt 2

$$\gamma_3 = 1$$

$$\gamma_5 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 * E_{x,5} * t_5}{I_{ref}^2} * \frac{t_4}{G_{9090,4}}}$$

Her er,

γ_5 = Gamma-verdi sjikt 5

$E_{x,5}$ = Elastisitetsmodul for sjikt 5

t_5 = Tykkelse for sjikt 1

I_{ref} = Lengde på element

t_4 = Tykkelse for sjikt 4

G_{9090} = Rulleskjærmodul for tilhørende sjikt 4

(Gustafsson, 2019, s. 50-51).

3.0 Analyse

Det fokuseres utelukkende på én yttervegg, én innervegg og et etasjeskille fra Revit-prosjektet som dimensjoneres og kontrolleres for lastvirkning i brudd- og bruksgrensetilstand. Den samme lasten som oppstår fra tverrsnitt i Revit- prosjektet benyttes for dimensjoneringen av de andre tverrsnittene

Programvare benyttet som hjelpemiddel for analyse av konstruksjonen:

Autodesk Revit – BIM programvare, brukes til modellering av detaljerte konstruksjoner i 3D. Benyttet for målsetting og tegninger i oppgaven.

Prodlib – Plug-in for Autodesk Revit. Södra Building Systems har et eget materialbibliotek med tilhørende gulv- og veggelementer som de produserer. De ulike elementene brukes i Revit-prosjektet og gir informasjon om volum og areal per elementtype.

SAP2000 – FEM-design programvare. Benyttet til modellering av Revit-prosjektet med påfølgende global lastanalyse.

Microsoft Office Excel – Programvare for utarbeidelse av tabeller samt beregning og analyse av data i regneark. Benyttet til ulike tabeller i oppgaven inkluderende dimensjonering av ulike tverrsnitt i massivtre, volum og kostnadsberegninger.

PTC Mathcad Prime 8.0.0 – Programvare for beregning og dokumentasjon. Benyttet til håndberegninger i oppgaven.

Standarder og håndbok benyttet i denne oppgaven:

NS-EN 1990 Eurokode 0 - Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner

NS-EN 1991 Eurokode 1 - Laster på konstruksjoner

NS-EN 1995 Eurokode 5 - Prosjektering av trekonstruksjoner

NS-EN 14080 - Trekonstruksjoner: Limtre og limt laminert heltre

NS-EN 338 - Konstruksjonsvirke fasthetsklasser

NS-INSTA 142- Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast

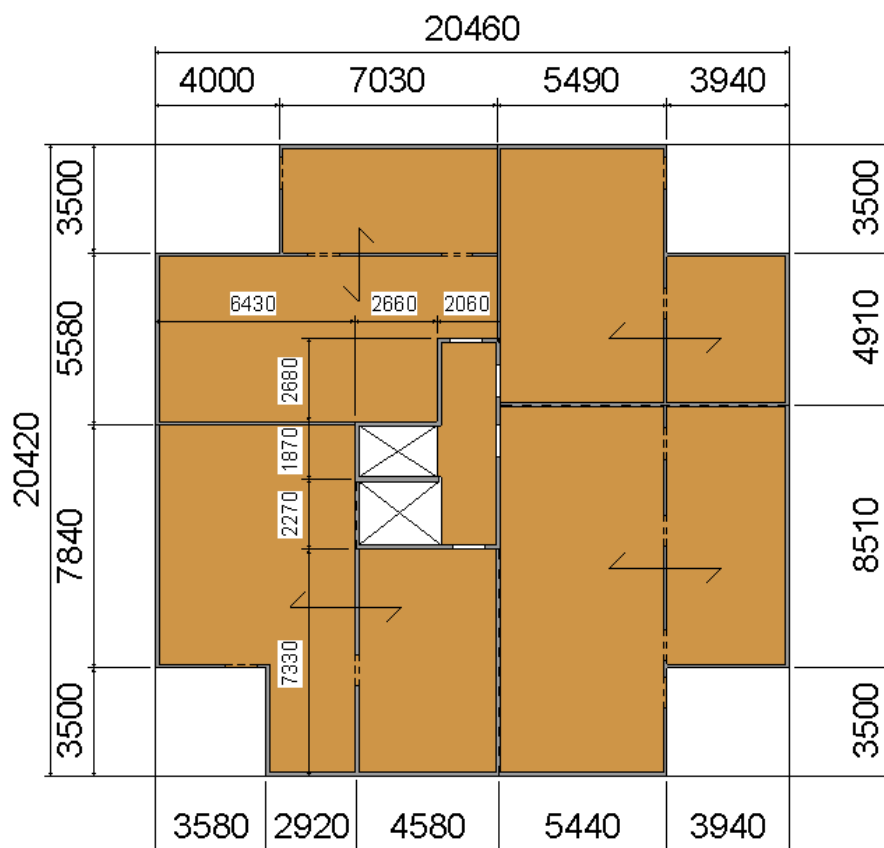
The CLT Handbook: CLT structures – facts and planning

3.1 Geometri og materialer

Södra Building Systems sørget for en egnet konstruksjon til analysering og statikkberegninger, hvor benyttet tverrsnittene allerede er dimensjonert for brudd- og bruksgrensetilstanden, energieffektivitet, brann, lyd og vibrasjoner. Konstruksjonen består av en høyblokk på 8 etasjer med bæresystem i massivtre ment for boligformål. Hver etasje har en høyde på 3.0m. Konstruksjonen har lik planløsning i alle 8 etasjer og ytre mål og form på konstruksjonen er tilnærmet symmetrisk. I Revit-prosjektet er det benyttet følgende tverrsnitt:

Element	Type	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅
Yttervegg	CLT 120 5s	30	20	20	20	30
Innervegg	CLT 120 5s	30	20	20	20	30
Etasjeskiller	CLT 240 7s2	40+40	20	40	20	40+40

Tabell 3: Type elementer benyttet i Revit-prosjekt

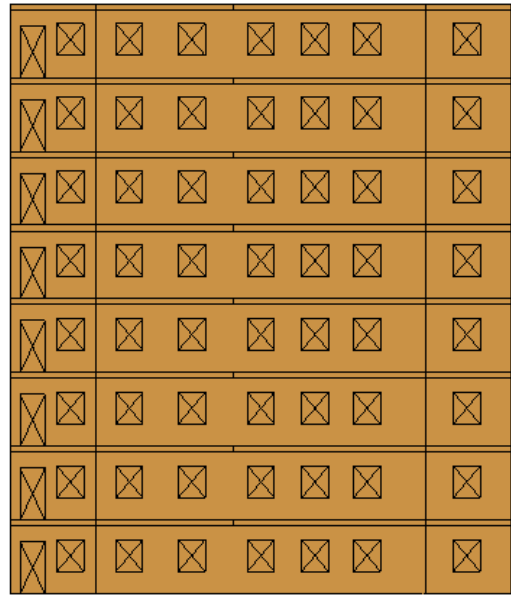


Figur 9: Plantegning fra Revit-prosjekt

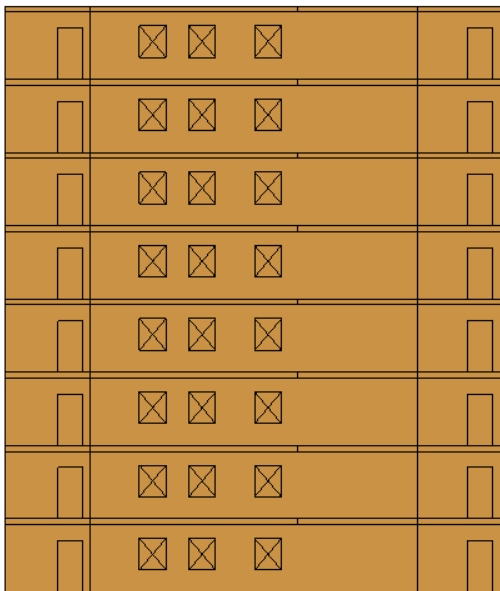


③ Fasade Sør
1:100

Figur 10: Fasade Sør og vest

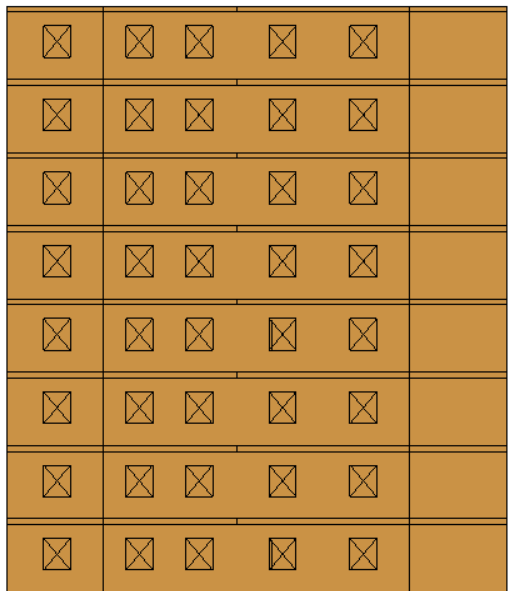


④ Fasade Vest
1:100



① Fasade Øst
1:100

Figur 11: Fasade Øst og Nord



② Fasade Nord
1:100

Prodlib plug-in i Revit viser type, areal, volum, vekt, tykkelse, karbonutslipp og antall av elementer som er brukt i Revit-prosjektet. Tabellene nedenfor viser informasjon fra etasjeskille og vegger.

<Södra CLT Floor Schedule>							
A	B		C	D	E	F	G
Type	Size (mm)		Carbon footprint, CO2 (kg CO2e)	Weight (kg)	Count	Area	Volume
	Length	Width					
CLT 240 L7s2	240		22997	284077	40	2818 m ²	676 m ³
Grand total			22997	284077	40	2818 m ²	676 m ³

Tabell 4: Data for etasjeskille fra Prodlib Plug-in

<Södra CLT Wall Schedule>									
A	B	C		D	E	F	G	H	I
Type	Length	Size (mm)		Unconnected Height	Weight (kg)	Carbon footprint, CO2 (kg CO2e)	Count	Area	Volume
		Width							
CLT 120 C5s	1181970	120		<varies>	160212	12970	160	3179 m ²	381 m ³
Grand total	1181970				160212	12970	160	3179 m ²	381 m ³

Tabell 5: Data for vegger fra Prodlib Plug-in

3.2 Laster og lastkombinasjon

Konstruksjonen dimensjoneres for brudd- og bruksgrensetilstand. Bruddgrensetilstand angir den mest ugunstige lastkombinasjonen med tilhørende ugunstige lastfaktorer som fører til brudd i konstruksjonen. Bruksgrensetilstand angir lastkombinasjon for egenlast og nyttelast uten tilhørende lastfaktor som fører til deformasjoner og vibrasjoner. For dimensjoneringen av vegger er det benyttet bruddgrensetilstand. For dimensjonering av etasjeskille er det benyttet både brudd- og bruksgrensetilstand.

3.2.1 Nyttelast

Konstruksjonen er ment for boligformål og har nyttelast gitt etter *NS-EN-1991-1-1 2002+NA 2008*.

Fra tabell NA.6.2 - Nyttelaster på gulv, balkonger og trapper i bygninger:

Kategori A Gulv - $q_k = 2.0 \text{ kN/m}^2$.

For å simplifisere egenlast er det valgt å bruke samme egenlast for tilleggsmaterialer i yttervegg og innervegg. Ved neglisjering av massivtreelementet i ytter- og innervegg er egenlasten for kledning, utlektning, isolasjon, vindsperre og gips for yttervegg relativ lik påføring og gips for innervegg. Ytterligere materialer for hverken vegger eller etasjeskiller er vurdert for brannkapasitet, energieffektivitet eller lyd. Tabellene under viser til benyttet egenlast for vegger og etasjeskille fra tverrsnittene i Revit-prosjektet.

Egenlast yttervegg

Egenlast for tilleggsmaterialer til yttervegg fra Punkt 67 i blad 471.031- Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler i Byggforskserien.

Materiale	Egenlast
Trekledning	0.3kN/m²
Utlektning	
Vindsperre	
200mm mineralull og stendere med c/c 0.6m	
CLT 120 5s C24	$350\text{kg/m}^3 * 0.120\text{m} * 0.00981\text{m/s}^2 = \mathbf{0.412\text{kN/m}^2}$
Sum	$g_k = 0.712\text{kN/m}^2$

Tabell 6: Egenlast for yttervegg

Egenlast Innervegg

Egenlast for tilleggsmaterialer til innervegg ansees som tilsvarende for yttervegg.

Materiale	Egenlast
13mm gipsplate	≈ 0.3kN/m²
50mm Påføring	
50mm Påføring	
13mm gipsplate	
CLT 120 5s C24	$350\text{kg/m}^3 * 0.120\text{m} * 0.00981\text{m/s}^2 = \mathbf{0.41\text{kN/m}^2}$
Sum	$g_k = 0.71\text{ kN/m}^2$

Tabell 7: Egenlast innervegg

Egenlast Etasjeskille

Egenlast for tilleggsmaterialer fra structure 11 i tabell 5.2 fra *The CLT Handbook* s. 103

Materiale	Egenlast
14mm heltre tregulv	$89\text{kg/m}^2 * 0.00981\text{m/s}^2 = \mathbf{0.87\text{kN/m}^2}$
13mm gulvgips	
13mm gulvgips	
22mm fiberplate	
Tilfarer	
260mm mineralull	
13mm gipsplate himling	
CLT 240 7s2 C24	
Sum	$350\text{kg/m}^3 * 0.240\text{m} * 0.00981\text{ m/s}^2 = \mathbf{0.82\text{kN/m}^2}$ $g_k = 1.69\text{ kN/m}^2$

Tabell 8 Egenlast etasjeskille

3.2.2 Snø- og vindlast

Snø- og vindlastberegninger baseres på lokasjonen til byggestedet. Bygget ligger i Växjö, midt i Småland landskapet i Sverige. Karakteristisk verdi for snølast på mark og basisvindhastighet er hentet fra kart på nettsiden Boverket.se. Boverket er et tilsvarende organ slik SINTEF Byggforsk er i Norge.

Snølastberegninger er beregnet etter blad 471.041 – Snølast på tak i Byggforskserien. Se vedlegg 1 *Snø- og vindlastberegninger* for håndberegninger tilvirket i Mathcad.

For bygget er det antatt kotehøyde under høydegrensene for snø- og vindlast. Byggestedets beliggenhet korresponderer med terrengkategori III og har ingen overgangssone, topografifaktor eller turbulensfaktor å ta hensyn til. Vindlastberegningen er forenklet ved antatt kvadratisk plansnitt helt uten former.

Vindlastberegninger er beregnet med vind etter blad 471.043 – Vindlaster på bygninger i Byggforskserien. Se vedlegg 1 *Snø- og vindlastberegninger* for håndberegninger tilvirket i Mathcad.

3.2.3 Lastkombinasjoner, brudd- og bruksgrensetilstand

For bruddgrensetilstand er dimensjonerende snittkrefter og momenter fra SAP200 angitt fra den lastkombinasjonen som er mest ugunstig. Følgende 8 lastkombinasjoner er definert etter Eurokode 1 Tabell NA.A1.2(A) – Dimensjonerende verdier for laster (STR) (Sett A)

Ligning 6.10a):

$$\text{ULS101: } 1.35 * g_k + 1.5 * \psi_0 * q_k + 1.5 * \psi_{0,s} * S + 1.5 * \psi_{0,w} * w_x$$

$$\text{ULS102: } 1.35 * g_k + 1.5 * \psi_0 * q_k + 1.5 * \psi_{0,s} * S + 1.5 * \psi_{0,w} * w_y$$

Ligning 6.10b):

$$\text{ULS201: } 1.2 * g_k + 1.5 * S + 1.5 * \psi_0 * q_k + 1.5 * \psi_{0,w} * w_x$$

$$\text{ULS202: } 1.2 * g_k + 1.5 * S + 1.5 * \psi_0 * q_k + 1.5 * \psi_{0,w} * w_y$$

$$\text{ULS301: } 1.2 * g_k + 1.5 * q_k + 1.5 * \psi_{0,s} * S + 1.5 * \psi_{0,w} * w_x$$

$$\text{ULS302: } 1.2 * g_k + 1.5 * q_k + 1.5 * \psi_{0,s} * S + 1.5 * \psi_{0,w} * w_y$$

$$\text{ULS401: } 1.2 * g_k + 1.5 * w_x + 1.5 * \psi_0 * q_k + 1.5 * \psi_{0,s} * S$$

$$\text{ULS402: } 1.2 * g_k + 1.5 * w_y + 1.5 * \psi_0 * q_k + 1.5 * \psi_{0,s} * S$$

Hvor,

g_k =Egenlast

q_k =Nyttelast

w_x =Vindlast x-retning

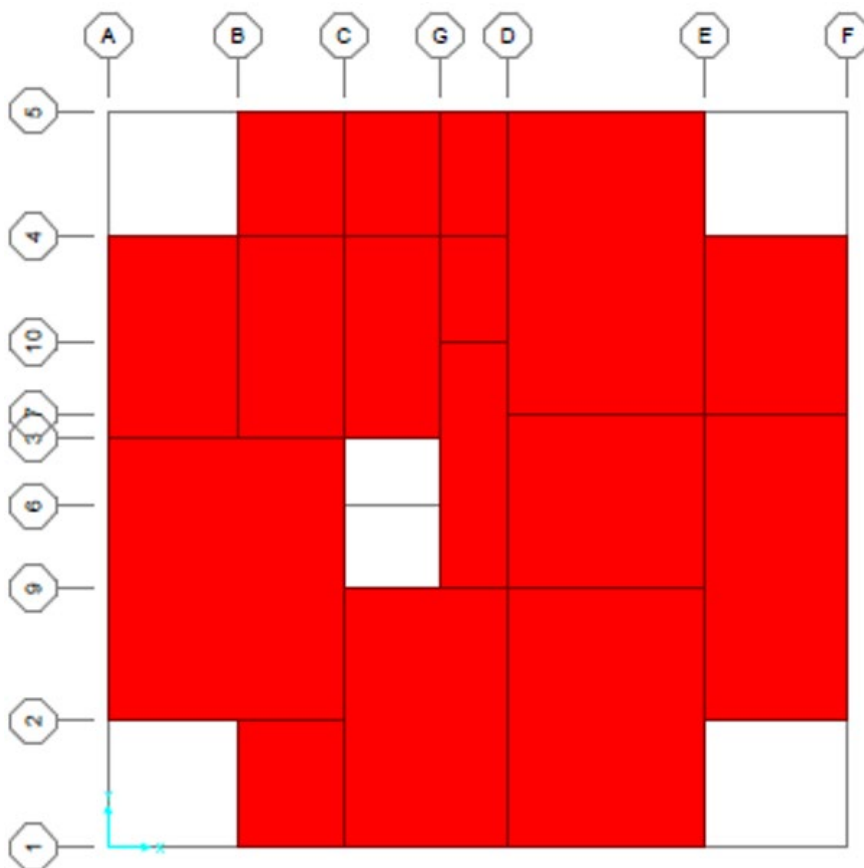
w_y =Vindlast y-retning

$\psi_{0,s}$ =Kombinasjonsfaktor, snø

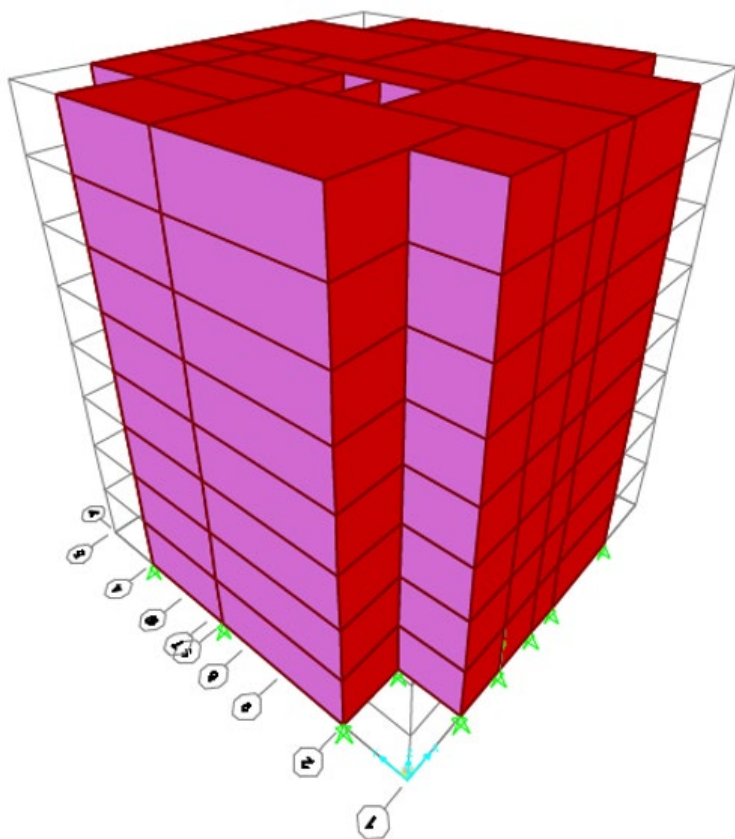
ψ_0 = kombinasjonsfaktor, nyttelast

3.3 Global lastanalyse

I dette prosjektet er det anvendt SAP 2000 som programvare for den strukturelle analysen av tverrsnittene benyttet i Revit-prosjektet. Programmet bruker koordinatsystem bestående av x, y, z akser og materialene blir lagt inn som «membraner». I planet er x-aksen vertikal og y-akse horisontal. Koordinatsystemet konstrueres etter ytre og indre målsetting fra bygget. For å gjengi i SAP2000 at etasjeskillene er enveis lastbærende må de «deles» opp. Plantegningen i SAP2000 vil derfor ha visse avvik sammenlignet med plantegning i Revit-prosjektet.



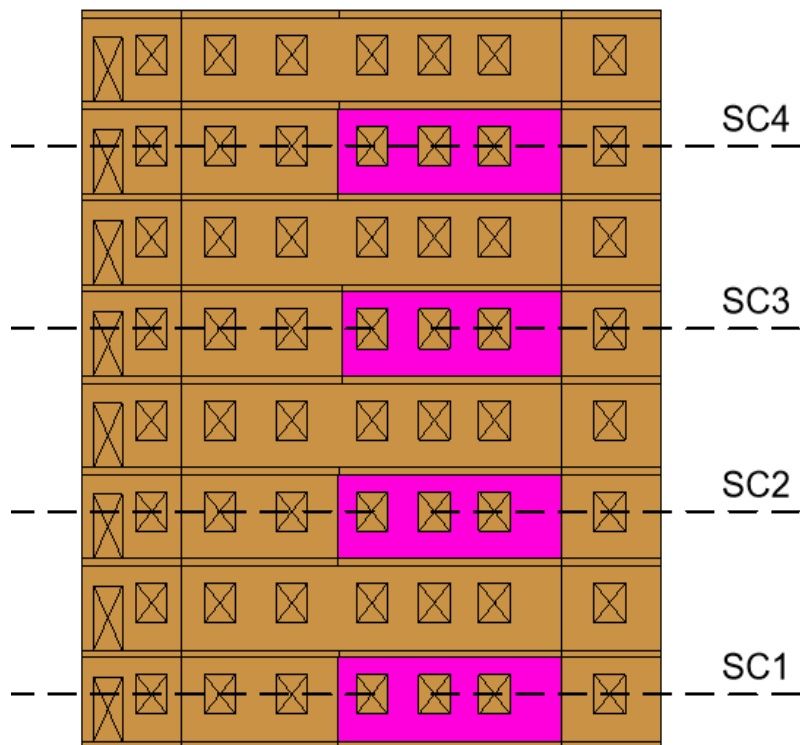
Figur 12: Plantegning SAP2000 modell



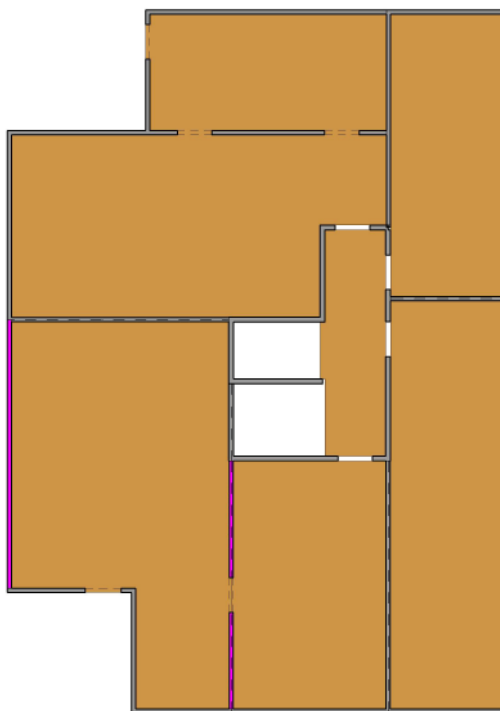
Figur 13: 3D visning SAP2000 modell

Videre legges vegger og etasjeskiller inn som membraner med tilhørende tykkelse fra prosjektet. For simplifisering av modelleringen ble materialet definert som homogent uten sjikt med densitet og E-modul på henholdsvis 350kg/m^3 og $11\,000\text{MPa}$ lik fasthetsklasse C24. Egenlaster for elementene blir definert fra densiteten og volumet gitt av lengde, høyde og tykkelse til membranene. Egenlast for tilleggsmaterialene i vegger og etasjeskiller påføres membranene. Fasade sør som ligger parallelt med x-aksen og fasade vest som ligger parallelt med y-aksen påføres vindlast i henhold til håndberegningene. Taket påføres snølast i henhold til håndberegningen. Videre føres de ulike lastkombinasjonene inn.

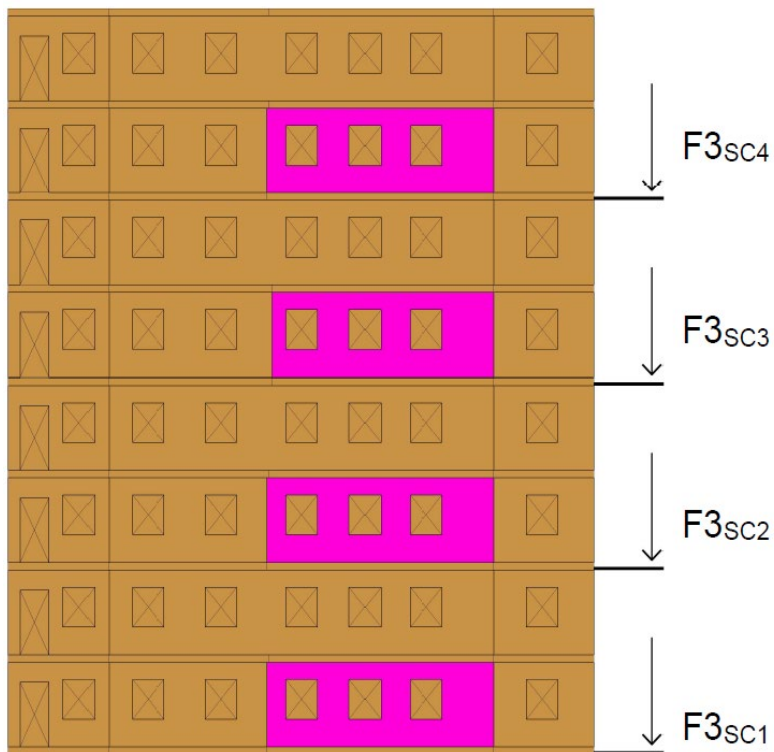
Analyseringen av valgt ytter- og innervegg oppnås ved et imaginært «Section cut», seksjonskutt, som går gjennom elementet. Det er benyttet seksjonskutt for hver 2. etasje. Nyttelasten er ekvivalent for alle etasjene, og det ansees som unødvendig med seksjonskutt for samtlige etasjer. Snittkrefter og moment for seksjonskutt SC1 benyttes i dimensjoneringen for vegger i 1. og 2. etasje. Det er tilsvarende sammenheng for SC2, SC3, SC4.



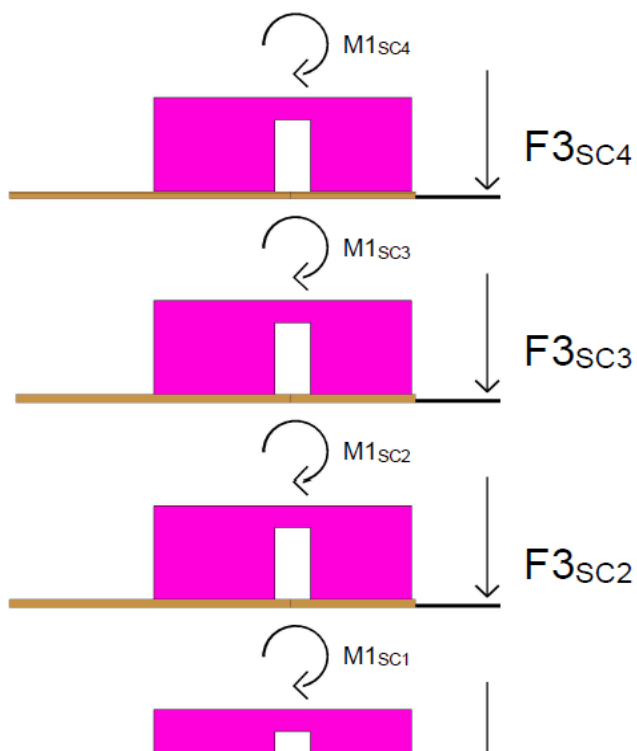
Figur 14: Illustrert plassering av seksjonskutt i SAP2000 modell



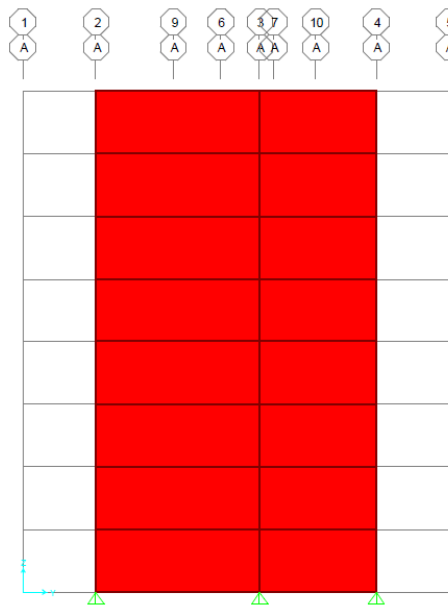
Figur 15: Markerte vegger for dimensjonering



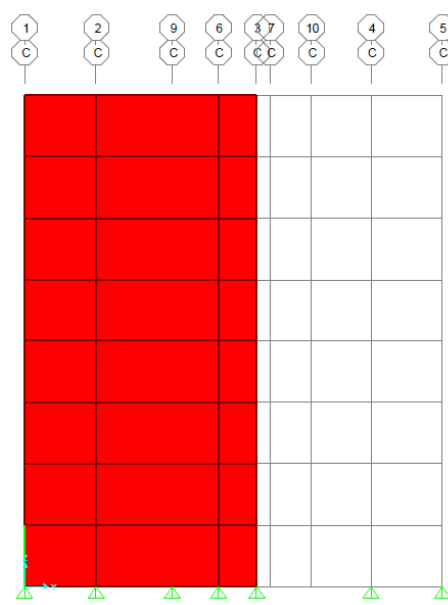
Figur 16: Illustrert visning av vertikal last knyttet til seksjonskutt i yttervegg



Figur 17: Illustrert visning av vertikal last og moment knyttet til seksjonskutt i innervegg.



Figur 18: Visning i SAP2000 av yttervegger langs akse A. Bestemt seksjonskutt er mellom akse 2 og 3.



Figur 19: Visning i SAP2000 av innervegger langs akse C. Bestemt seksjonskutt er mellom akse 1 og 9.

Resultatet av seksjonskuttet angir snittkrefter i retning x, y, z og moment i planet x, y, z respektivt F_1 , F_2 , F_3 og M_1 , M_2 , M_3 i analyserapporten. I planet er x-aksen vertikal og y-aksen horisontal, globalt er z-aksen vertikal. Analyserapporten angir maksimum og minimumsverdi for alle snittkrefter og momenter i hvert enkelt seksjonskutt. For dimensjoneringen av vegg- og gulvelement er det benyttes den verdien som er mest ugunstig. Snittkreftene i rapporten er inkorporert som en verdi for hele elementet og det er nødvendig å dele på avstanden mellom knutepunktene for en korrekt last for dimensjoneringen. Avstand mellom knutepunktene er i praksis lengden på veggen som dimensjoneres.

TABLE: Section Cut Forces - Analysis									
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	F_1	F_2	F_3	M_1	M_2	M_3
	ULS	ULS		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
Innervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Max	0,666	38,203	196,59	-126,602	0,2172	1,5984
Innervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Min	0,181	-19,371	126,04	-270,567	-0,233	-0,5789
Innervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Max	2,029	9,19	115,58	-121,257	0,7541	0,5407
Innervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Min	1,57	-20,341	80,801	-191,84	0,5414	-1,4269
Innervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Max	1,574	5,431	78,817	-97,9122	0,5837	0,2507
Innervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Min	1,231	-13,273	61,833	-131,672	0,4493	-1,1041
Innervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Max	1,138	1,451	39,504	-56,3442	0,4552	-0,0176
Innervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Min	0,699	-6,587	34,037	-65,9236	0,2391	-0,5956
Yttervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Max	8,123	10,053	387,09	374,7141	4,023	-3,2827
Yttervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Min	-6,723	-112,46	188,02	-116,32	-0,003	-6,2975
Yttervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Max	6,143	2,111	324,79	146,9134	4,7924	-3,3543
Yttervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Min	-12,81	-93,978	193,02	-83,9256	-1,013	-13,832
Yttervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Max	3,931	-3,693	230,81	21,3228	3,1106	-0,9118
Yttervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Min	-13,91	-66,618	167,62	-54,0121	-2,017	-12,87
Yttervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Max	1,871	-6,582	119,4	-22,2819	1,5587	0,9688
Yttervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Min	-14,87	-36,271	100,44	-28,0395	-2,721	-10,804

Tabell 9: Analyseresultat for seksjonskutt

SAP2000 innehar funksjoner for grafisk fremstilling av den globale lastanalysen som viser både kraftanalyse med fargeindikator og deformasjoner:

Se vedlegg 31 *3D Kraftresultant Sør- Vest*

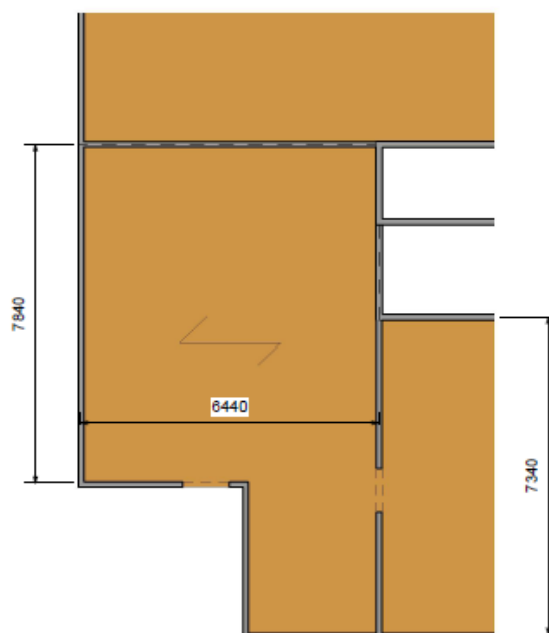
Se vedlegg 32 *Kraftanalyse yttervegg*

Se vedlegg 33 *Kraftanalyse innervegg*

3.4 Dimensjonering av vegger og etasjeskiller

Veggelementene dimensjoneres for bruddgrensetilstanden som inkluderer snø-, vind-, egen- og nyttelast. Etasjeskilleelementene dimensjoneres for brudd- og bruksgrensetilstand som inkluderer egen- og nyttelast. Det benyttes Gamma-metoden for alle beregningene.

Det er utført to sett håndberegninger for yttervegger, innervegger og etasjeskiller med like tverrsnitt fra Revit-prosjektet. Det ene settet består av beregninger der alle sjiktene i elementet er i fasthetsklasse C24. Det andre settet består av beregninger der de ytre sjiktene i elementene er i fasthetsklasse C24 og de indre sjiktene består av fasthetsklasse C14. Begge settene med håndberegninger bruker snittkrefter og moment fra seksjonskutt 1. Regnearkene fra Excel viser beregninger for ulike typer tverrsnittene C24 og C24/C14 med forskjellige tykkelser fra samme posisjon som i Revit- prosjektet og med alle seksjonskuttene med tilhørende snittkrefter og moment.



Figur 20: Arbeidsfelt med mål på yttervegg, innervegg og etasjeskille

3.4.1 Yttervegg - Gamma metoden

Yttervegger dimensjoneres for trykk og moment fra bruddgrensetilstanden. Fra analyserapporten i SAP2000 benyttes det kun vertikal last F_3 . Den vertikale lasten fordeles på lengden, $l_e=7.84\text{m}$, til ytterveggen. Momentet oppstår fra vindlast med utvendig koeffisient D_{sonc} og innvendig koeffisient C_{pi} .

TABLE: Section Cut Forces - Analysis					
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	F_3	F_3/l_e
	ULS	ULS		KN	KN
Yttervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Max	387,093	49,37
Yttervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Min	188,015	
Yttervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Max	324,794	41,43
Yttervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Min	193,024	
Yttervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Max	230,811	29,44
Yttervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Min	167,622	
Yttervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Max	119,401	15,23
Yttervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Min	100,444	

Tabell 10: Analyserapport fra SAP200 for yttervegger

Se vedlegg 2 *Dimensjonering bruddgrensetilstand yttervegg C24* for håndberegninger av tverrsnitt CLT 120 5s C24 i 1. og 2. etasje tilvirket i Mathcad.

Se vedlegg 3 *Dimensjonering bruddgrensetilstand yttervegg C24/C14* for håndberegninger av tverrsnitt CLT 120 5s C24/C14 1. og 2. etasje tilvirket i Mathcad.

Se vedlegg 4 *Egenskaper bruddgrensetilstand yttervegg C24* for tabell av ulike tverrsnittsegenskaper i yttervegger C24 tilvirket i Excel.

Se vedlegg 5 *Egenskaper bruddgrensetilstand yttervegg C24/C14* for tabell av ulike tverrsnittsegenskaper i yttervegger C24/C14 tilvirket i Excel.

Se vedlegg 6 *Kapasitet bruddgrensetilstand yttervegg C24* for tabell av kapasitetskontroll for bruddgrensetilstand av tverrsnitt i yttervegg C24 for alle seksjonskutt tilvirket i Excel.

Se vedlegg 7 *Kapasitet bruddgrensetilstand yttervegg C24/C14* for tabell av kapasitetskontroll for bruddgrensetilstand av tverrsnitt i yttervegg C24/C14 for alle seksjonskutt tilvirket i Excel.

3.4.2 Innervegg - Gamma metoden

Innervegger dimensjoneres etter trykk fra bruddgrensetilstanden. Fra analyserapporten i SAP2000 benyttes det vertikale last F_3 og moment M_1 . F_3 fordeles over lengden, $l_e=7.84\text{m}$, på veggen. M_1 i planet bidrar til ytterligere vertikale trykk på elementet med en distribusjon for trykk på $M_1/0.8l_e$. Distribusjonen er betraktet konservativ.

TABLE: Section Cut Forces - Analysis							
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	F_3	F_3/l_e	M_1	N_d bidrag trykk fra M_1
	ULS	ULS		KN	KN	KN-m	KN
Innervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Max	387,093	26,78	-126,6019	
Innervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Min	188,015		-270,567	46,08
Innervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Max	324,794	15,75	-121,2567	
Innervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Min	193,024		-191,8403	32,67
Innervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Max	230,811	10,74	-97,9122	
Innervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Min	167,622		-131,6724	22,42
Innervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Max	119,401	5,38	-56,3442	
Innervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Min	100,444		-65,9236	11,23

Tabell 11: Analyserapport fra SAP2000 for innervegger

Se vedlegg 8 *Dimensjonering bruddgrensetilstand innervegg C24* for håndberegninger av tverrsnitt CLT 120 5s C24 i 1. og 2. etasje tilvirket i Mathcad.

Se vedlegg 9 *Dimensjonering bruddgrensetilstand innervegg C24/C14* for håndberegninger av tverrsnitt CLT 120 5s C24/C14 1. og 2. etasje tilvirket i Mathcad.

Se vedlegg 10 *Egenskaper bruddgrensetilstand innervegg C24* for tabell av ulike tverrsnittsegenskaper i yttervegger C24 tilvirket i Excel.

Se vedlegg 11 *Egenskaper bruddgrensetilstand innervegg C24/C14* for tabell av ulike tverrsnittsegenskaper i yttervegger C24/C14 tilvirket i Excel.

Se vedlegg 12 *Kapasitet bruddgrensetilstand innervegg C24* for tabell av kapasitetskontroll for bruddgrensetilstand av tverrsnitt i innervegg C24 for alle seksjonskutt tilvirket i Excel.

Se vedlegg 13 *Kapasitet bruddgrensetilstand innervegg C24/C14* for tabell av kapasitetskontroll for bruddgrensetilstand av tverrsnitt i innervegg C24/C14 for alle seksjonskutt tilvirket i Excel.

3.4.3 Etasjeskille - Gamma metoden

Etasjeskille beregnes for brudd- og bruksgrensetilstand.

Elementet som er benyttet i Revit-prosjektet er CLT 240 7s2 C24. Notasjon 7s2 betyr at elementet består av 7 lag, der de 2 ytterste sjiktene har samme orientering. Gamma-metoden kan i utgangspunktet brukes kun for 3-lags eller 5-lags elementer. Likevel kan metoden benyttes ved at de 2 ytterste sjiktene regnes som ett sjikt med en laghøyde tilsvarende sjikt 1,2 og 6,7. Alle utregninger for trykkspenning vinkelrett på fiberretning er gjort på grunnlag av krefter fra SC1 grunnet størst last i første etasje.

Se vedlegg 14 *Dimensjonering brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24* for håndberegninger av tverrsnitt CLT 120 5s C24/C14 1. og 2. etasje tilvirket i Mathcad.

Se vedlegg 15 *Dimensjonering brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24/C14* for håndberegninger av tverrsnitt CLT 120 5s C24/C14 1. og 2. etasje tilvirket i Mathcad.

Se vedlegg 16 *Egenskaper brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24* for tabell av ulike tverrsnittsegenskaper i yttervegger C24/C14 tilvirket i Excel.

Se vedlegg 17 *Egenskaper brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24/C14* for tabell av ulike tverrsnittsegenskaper i yttervegger C24/C14 tilvirket i Excel.

Se vedlegg 18 *Kapasitet bruddgrensetilstand etasjeskille C24* for tabell av kapasitetskontroll for bruddgrensetilstand av tverrsnitt i etasjeskiller C24 tilvirket i Excel.

Se vedlegg 19 *Kapasitet bruddgrensetilstand etasjeskille C24/C14* for tabell av kapasitetskontroll for bruddgrensetilstand av tverrsnitt i etasjeskiller C24/C14 tilvirket i Excel.

Se vedlegg 20 *Nedbøyning bruksgrensetilstand etasjeskille C24* for tabell av kontroll av nedbøyning for bruksgrensetilstand for tverrsnitt i etasjeskiller C24 tilvirket i Excel.

Se vedlegg 21 *Nedbøyning bruksgrensetilstand etasjeskille C24/C14* for tabell av kontroll av nedbøyning for bruksgrensetilstand for tverrsnitt i etasjeskiller C24/C14 tilvirket i Excel.

3.4.5 Materialkostnad for bygg

Södra Building systems har gitt følgende kostnadskalkyle for lamelltykkelse og fasthetsklasse C24 og C14:

C24:

- 40mm 2500 SEK/m³
- 30mm 2550 SEK/m³
- 20mm 2350 SEK/m³

C14 (-10%):

- 40mm 2250 SEK/m³
- 30mm 2300 SEK/m³
- 20mm 2100 SEK/m³

Kostnadskalkylen gitt fra Södra Building Systems er flytende og blir påvirket av mange ulike parametere. Kalkylen benyttes kun for sammenligningsgrunnlag av materialkostnad for konstruksjonen.

I utregningen av materialkostnad er benyttet data fra Prodlib tabeller for vegger og etasjeskiller. Informasjonen fra Prodlib-dataene knyttes sammen med lamelltykkelse og fasthetsklassen i kostnadskalkylen.

Det er valgt 4 ulike scenarioer for utregning av materialkostnad med samme tverrsnitt i alle etasjer.

Bygg A:

- Tverrsnitt CLT 120 5s fasthetsklasse C24 i yttervegger
- Tverrsnitt CLT 120 5s fasthetsklasse C24 i innervegger
- Tverrsnitt CLT 7 240 fasthetsklasse C24 7s2 i etasjeskiller

Bygg B:

- Tverrsnitt CLT 120 5s fasthetsklasse C24/C14 i yttervegger
- Tverrsnitt CLT 120 5s fasthetsklasse C24/C14 i innervegger
- Tverrsnitt CLT 7 240 7s fasthetsklasse C24/C14 i etasjeskiller

Bygg C:

- Tverrsnitt CLT 100 5s fasthetsklasse C24 i yttervegger
- Tverrsnitt CLT 100 5s fasthetsklasse C24 i innervegger
- Tverrsnitt CLT 190 7s2 fasthetsklasse C24 i etasjeskiller

Bygg D:

- Tverrsnitt CLT 100 5s fasthetsklasse C24/C14 i yttervegger
- Tverrsnitt CLT 100 5s fasthetsklasse C24/C14 i innervegger
- Tverrsnitt CLT 190 7s2 fasthetsklasse C24/C14 i etasjeskiller

Materialkostnaden for Bygg A, med elementer fra Revit-prosjekt, gir et sammenlikningsgrunnlag for øvrige scenarioer. Bygg B har samme type element som Bygg A, men med lavere fasthetsklasse i indre sjikt. Bygg C og D er optimalisert og innehar høyest utnyttelsesgrad for vegger og maks nedbøyning innenfor bruksgrensetilstand for etasjeskiller. Se kapittel 4.4 *Materialkostnad* for resultat av beregningene og diagrammer.

4.0 Resultater

4.1 Yttervegg

Det fremkommer av beregningene en redusering av effektivt treghetsmoment mot bøyning i tverrsnitt med fasthetsklasse C24/C14 sammenliknet med tverrsnitt med fasthetsklasse C24. Reduseringen fører til en forhøyet reduksjonsfaktor k_{cy} med en noe høyere risiko for knekking om svak akse.

En forhøyet reduksjonsfaktor fører til redusering av kapasiteten til tverrsnittet med fasthetsklasse C24/C14.

For utnyttelsesgraden i både tverrsnitt C24 og tverrsnitt C24/C14 fremkommer trykk i fiberretningen som den største faktoren i kapasiteten.

Se vedlegg 22 *Sammenligning utnyttelsesgrad yttervegg* for tabell av utnyttelsesgrad for tverrsnitt i C24 og C24/C14 tilvirket i Excel.

4.2 Innervegg

Av beregningene observeres det en større reduksjon av kapasiteten til tverrsnitt med fasthetsklasse C24/C14 sammenliknet med tverrsnitt i C24.

Se vedlegg 23 *Sammenligning utnyttelsesgrad innervegg* for tabell av utnyttelsesgrad for tverrsnitt i C24 og C24/C14 tilvirket i Excel.

4.3 Etasjeskille

Av beregningene observeres det en reduksjon i effektivt treghetsmoment mot bøyning som for ytter-og innervegger. For etasjeskiller er det ingen endring for kapasiteten i bruddgrensetilstand for tverrsnitt C24/C14. Reduksjonen forekommer for bruksgrensetilstanden i beregningen av nedbøyning. For tverrsnitt bestående av C24/C14 er deformasjonen noe større.

Se vedlegg 24 *Sammenligning nedbøyning etasjeskille* for tabell av nedbøyning for tverrsnitt i C24 og C24/C14 tilvirket i Excel.

4.4 Total materialkostnad

Se vedlegg 25 *Materialkostnad Bygg A*

Se vedlegg 26 *Materialkostnad Bygg B*

Se vedlegg 27 *Materialkostnad Bygg C*

Se vedlegg 28 *Materialkostnad Bygg D*

Se vedlegg 29 *Total materialkostnad*

Se vedlegg 30 *Total materialkostnad per gulvflate*

Bygg C og Bygg D er optimalisert med høyere utnyttelsesgrad og større nedbøyning med følgelig tynnere tverrsnitt i vegger og etasjeskiller. Reduksjonen i materialkostnad for vegger i Bygg C sammenlignet med Bygg A fremgår av tynnere tverrsnitt i tilknytning til tynnere lameller.

Tilsvarende situasjon i kostnadskutt av materialkostnaden for vegger i Bygg B sammenlignet med Bygg D. Videre vil Bygg B og D få en reduksjon sammenlignet med øvrige bygg grunnet lavere kostnader for fasthetsklasse C14. Etasjeskiller i Bygg A og B benytter tykkere tverrsnitt med større andel tykkere lameller i forhold til Bygg D og C som påvirker kostnaden negativt.

4.5 Drøfting av resultatene

Ettersom alle tverrsnittene er symmetriske, eksisterer ikke avstanden a_2 fra tverrsnittets tyngdepunktsakse til tyngdepunktaksen i sjiktet i senter av tverrsnittet. Det medfører til et fradrag i bidraget av den totale bøyestivheten for sjiktet i senter. Ytterligere reduksjon i tverrsnitt C24/C14 for effektivt treghetsmoment mot bøyning fremkommer av fradraget for Steiners sats for sjikt i senter på en verdi tilsvarende $\frac{E_{C14}}{E_{C24}} = \frac{7000\text{Mpa}}{11000\text{Mpa}}$. Sjiktet i senter av tverrsnittet bidrar begrenset til bøyestivheten for tverrsnittet fra før og en ytterligere reduksjon av Steiner sats for sjikt i senter fører til en tynn økning i utnyttelsesgraden til tverrsnitt C24/C14 sammenlignet med tverrsnitt C24.

Kapasiteten i bruddgrensetilstand for yttervegger av tverrsnitt C24/C14 har en mager reduksjon sammenliknet med tverrsnitt C24. Ved å se på sammenligningen av utnyttelsesgraden på samme type tverrsnitt fra Revit-prosjektet, kan det sees en reduksjon for SC1, SC2, SC3, SC4 på henholdsvis 0.012, 0.010, 0.007 og 0.004 prosentpoeng. Reduksjonen har mindre til ingen betydning i dimensjoneringsammenheng for element i yttervegger i denne konstruksjonen.

		SC1		SC2		SC3		SC4	
		Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)
10	CLT 120 5s	9,297	9,309	8,275	8,285	6,735	6,742	4,908	4,912

Tabell 12: Sammenligning av utnyttelsesgrad i yttervegger for tverrsnitt CLT 120 5s i C24 og C24/C14

Kapasiteten i bruddgrensetilstand for innervegger av tverrsnitt C24/C14 har en mager reduksjon sammenliknet med tverrsnitt C24. Ved å se på sammenligningen av utnyttelsesgraden på samme type tverrsnitt fra Revit-prosjektet, kan det sees en reduksjon for SC1, SC2, SC3, SC4 på henholdsvis 0.018, 0.012, 0.008 og 0.004 prosentpoeng. Reduksjonen har mindre til ingen betydning i dimensjoneringsammenheng for element i innervegger i denne konstruksjonen.

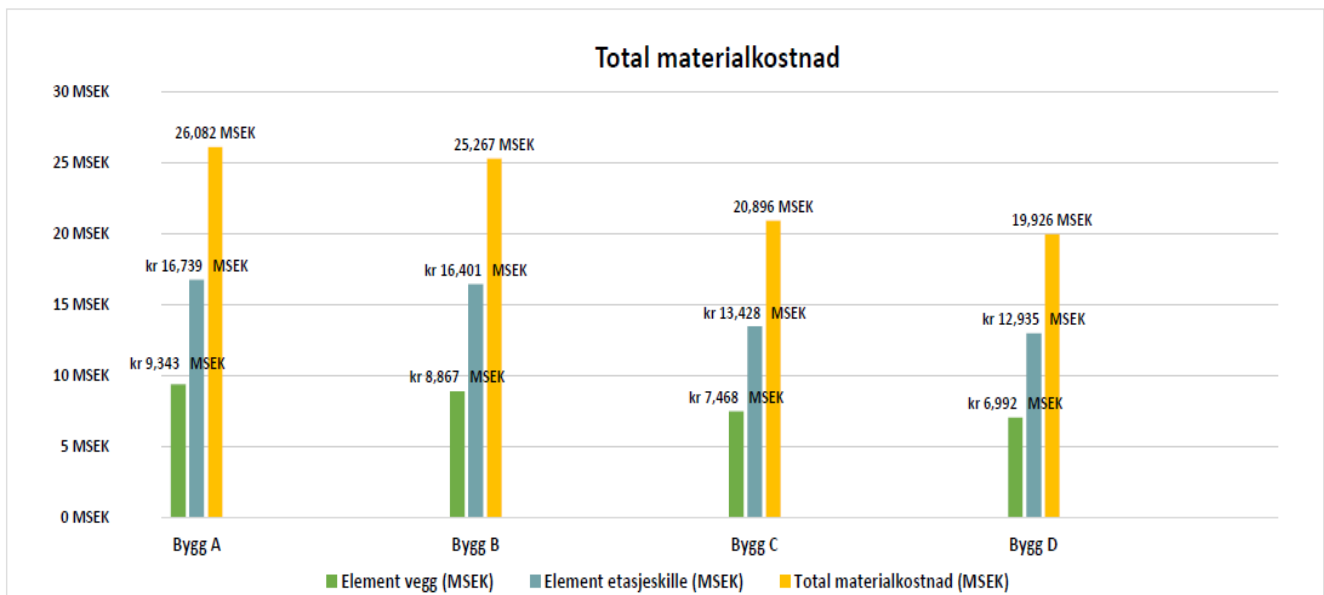
		SC1		SC2		SC3		SC4	
		Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)
10	CLT 120 5s	9,367	9,385	6,224	6,236	4,263	4,271	2,135	2,139

Tabell 13: Sammenligning av utnyttelsesgrad i innervegger for tverrsnitt CLT 120 5s i C24 og C24/C14

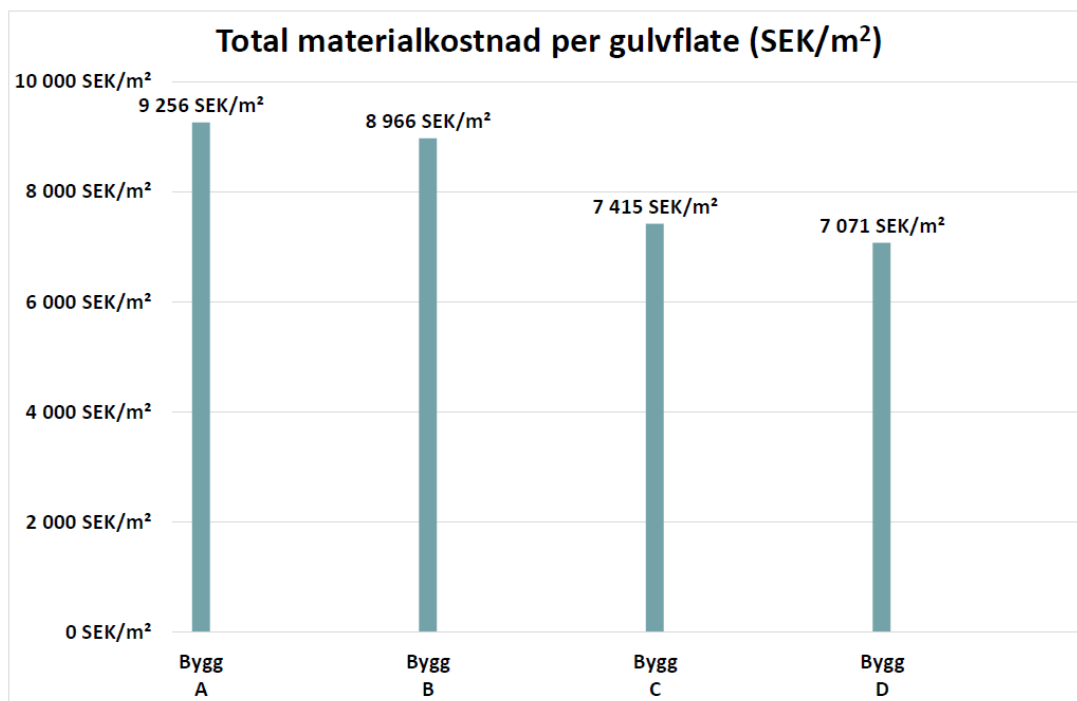
For etasjeskiller det nedbøyningen ved bruksgrensetilstanden som er dimensjonerende. Sammenligningen av nedbøyningen for samme type tverrsnitt fra Revit-prosjektet, viser til en svært mager økning i deformasjonen for tverrsnitt C24/C14. For korttids nedbøyning og langtids nedbøyning er økningen henholdsvis 0.01 og 0.02 mm. Økningen er av liten betydning, men det bør også være innenfor krav i bruksgrensetilstand.

No.	Type	Sum nedbøyning nyttelast, korttids (mm)		Sum nedbøyning, langtidslast (mm)	
		C24	C24/C14	C24	C24/C14
7	CLT 240 L7s2	7,27	7,28	10,88	10,90

Tabell 14: Sammenligning av nedbøyning i etasjeskiller for tverrsnitt CLT 240 L7s2s i C24 og C24/C14



Figur 21: Søylediagram total materialkostnad



Figur 22: Søylediagram total materialkostnad per gulvflate

Materialkostnaden for konstruksjonen er kun definert ut ifra råmaterialet brukt for tilvirkningen av elementene. Absolutt elementkostnader består av produksjonskostnader med tilhørende forbruk av materiell og slitasje på utstyr. Ved produksjon av elementer som inneholder ulike fasthetsklasser er det dessuten tilleggskostnader knyttet til lagerlogistikk og annet maskinelt utstyr for produksjon av elementene.

Total materialkostnad viser materialkostnad knyttet til de 4 ulike scenarioene. Kostnadskuttet for total materialkostnad fra Bygg A til Bygg B, C og D er henholdsvis 0.815, 5.186 og 6.156 MSEK, respektivt 3.12%, 19.88%, 23.6%.

Tilsvarende kostnadskutt for total materialkostnad per gulv flate er 290, 1841 og 2185 SEK/m². Det største kostnadskuttet fremgår ved å benytte tynnere tverrsnitt for både vegger og etasjeskiller. Branndimensjonering av respektive element bør kontrolleres før det benyttes tynnere tverrsnitt. Dersom det kreves tiltak for brannmotstanden elementene vil kostnadskuttet minke.

Ytterligere tiltak for brannmotstand kan være brannimpregneret trevirke i elementet eller ekstra brannhemmendeplater ikledd elementene med respektive tilhørende kostnader knyttet til produksjon av materialkostnad eller brannhemmendeplater og montering av disse.

Et alternativ kan være å beholde opprinnelig tverrsnitt fra BYGG A i etasjeskiller C24 og benytte tverrsnitt C24/C14 fra BYGG B vegger. Det gir en total materialkostnad på 25.606 MSEK med tilhørende kostnadskutt på 0.476 MSEK eller 1.83%. For etasjeskillene fra BYGG A er vibrasjoner tatt i betraktning og er innenfor toleransekrav, i motsetning til etasjeskiller i Bygg B som ikke er kontrollert. Veggelementer for BYGG A er dimensjonert for brannmotstand. Ettersom tykkelsen for tverrsnitt i vegger i BYGG B er identisk med BYGG A bør brannmotstanden være tilstrekkelig for vegger i BYGG B.

5.0 Konklusjon

En kort redegjørelse for delmålene før konklusjonen:

1. Sammenlikning av lastvirkningen på tverrsnitt med samtlige sjikt i fasthetsklasse C24 og tverrsnitt bestående av fasthetsklasse C24 i ytre sjikt og C14 for resterende sjikt:

Beregningene viser at kombinasjonen mellom tykkelse og fasthetsklasse avgjør lastvirkningen til elementet. Tykkelsen for tverrsnittet har en signifikant større betydning enn lavere fasthet i indre sjikt. De indre lagene bidrar i mindre grad for styrken av elementet. Videre bør det tas stilling til benyttelse av trevirke med enda lavere kvalitet enn C14 eller andre typer byggemateriale i de indre lagene.

2. Materialkostnad for hele prosjektet ved bruk av ulike tverrsnitt for hele konstruksjonen:

Ved å følge kostnadskalkylen fra Södra Building Systems er det relativt store kostnadsbesparelser for Revit-prosjektet, ved å utnytte lavere fasthetsklasse i indre sjikt. Sammenligningen av Bygg A og B med samme type tverrsnitt er det en besparelse på 0.815 MSEK. Det er en enda større besparelse ved å benytte Bygg C og D som har tilstrekkelig kapasitet for lastvirkningen, men ikke tatt dimensjoneringen for brann i betraktning. Tiltak for tilstrekkelig brannmotstand, lyd og vibrasjonskrav samt absolutte elementkostnader for elementer som inneholder ulike fasthetsklasser, kan redusere besparelsen og bør studeres nærmere.

Ved å fremheve problemstillingen:

«I hvilket omfang kan ulike kvaliteter av trevirke knyttes til kostnadsbesparelse i konstruksjoner av massivtre?», er konklusjonen:

Tverrsnitt bestående av høyere kvalitet i ytre sjikt og tilhørende lavere kvalitet i indre sjikt har potensial for reduksjon av materialkostnad i en konstruksjon med lastvirkning som dimensjoneringsfaktor.

6.0 Litteratur

Gustafsson, A. (2019). *The CLT Handbook: CLT structures – facts and planning*. Föreningen Sveriges Skogsindustrier. <https://www.svenskttra.se/publikationer-start/publikationer/the-clt-handbook/>

Landbruksdirektoratet. (u.å.). *Tømmeravvirkning og -priser*. Hentet 12. januar 2023 fra <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/statistikk-og-utviklingstrekk/utviklingstrekk-i-skogbruket/tommeravvirkning-og-priser>

Meløysund, V. (2003). Snølast på tak: Dimensjonerende laster. *Byggforskserien*, (471.041), 1-8.

Meløysund, V. & Strandholmen, B. (2003). Vindlaster på bygninger. *Byggforskserien*, (471.043), 1-8.

Silseth, M. K. (2013). Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler. *Byggforskserien*, (471.031), 1-8.

Standard Norge. (2002a). *Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner* (NS-EN 1990).

Standard Norge. (2002b). *Laster på konstruksjoner* (NS-EN 1991).

Standard Norge. (2004). *Prosjektering av trekonstruksjoner* (NS-EN 1995).

Standard Norge. (2010). *Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast* (NS-INSTA 142:2009).

Standard Norge. (2013). *Trekonstruksjoner: Limtre og limt laminert heltre – krav* (NS-EN 14080:2013).

Standard Norge. (2016). *Konstruksjonsvirke – Fasthetsklasser* (NS-EN 338:2016).

Øvrum, A. & Skaug, E. (2007). Konstruksjonsvirke. *FOKUS på tre*, (43), 1-6. <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-43.pdf>

Aarstad, J., Glasø, G. & Bunkholt, Aa. (2008). Massivtre. *FOKUS på tre*, (20), 1-8. <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-20.pdf>

Figurliste

FIGUR 1: KANTSTILT ELEMENT, TRETEKNISK HEFTE 1	8
FIGUR 2: KRYSSLAGT ELEMENT, TRETEKNISK HEFTE 1	8
FIGUR 3: MASSIVTREELEMENT SKELLEFTEÅS KULTURHUS I SVERIGE. FOTO: MARTINSONS / JONAS WESTLING.....	9
FIGUR 4: MASSIVTREELEMENT SOM HEISES PÅ Plass I SKELLEFTEÅS KULTURHUS I SVERIGE. FOTO: MARTINSONS / JONAS WESTLING.....	9
10	
FIGUR 5: CELLULOSESTRUKTUR, TRETEKNISK FOKUS PÅ TRE NR.40.....	10
FIGUR 6: LASTER FRA ULIKE RETNINGER PÅ TREFIBER, REDIGERT FRA TRETEKNISK FOKUS PÅ TRE NR. 40.....	11
FIGUR 7: FIBERFORLØPET RUNDT EN KVIST, TRETEKNISK FOKUS PÅ TRE NR. 43	12
FIGUR 8: DET MØRKE FELTET ER TENNARVED, TRETEKNISK FOKUS PÅ TRE NR. 40	12
FIGUR 9: BØYEPÅKJENNING OM Y-AKSE, CLT HANDBOOK S.25	14
FIGUR 10: TVERRSNITTS 5-LAGS ELEMENT, THE CLT HANDBOOK S.50	15
FIGUR 11: FASADE SØR OG VEST.....	20
FIGUR 12: FASADE ØST OG NORD.....	20
FIGUR 13: PLANTEGNING FRA REVIT-PROSJEKT	19
FIGUR 14: PLANTEGNING SAP2000 MODELL.....	25
FIGUR 15: 3D VISNING SAP2000 MODELL	26
FIGUR 16: ILLUSTRERT Plassering AV SEKSJONSKUTT I SAP2000 MODELL ...	27
FIGUR 17: MARKERTE VEGGER FOR DIMENSJONERING.....	27
FIGUR 18: ILLUSTRERT VISNING AV VERTIKAL LAST KNYTTET TIL SEKSJONSKUTT I YTTERVEGG	28
FIGUR 19: ILLUSTRERT VISNING AV VERTIKAL LAST OG MOMENT KNYTTET TIL SEKSJONSKUTT I INNERVEGG.....	28
FIGUR 20: VISNING I SAP2000 AV INNERVEGGER LANGS AKSE C. BESTEMT SEKSJONSKUTT ER MELLOM AKSE 1 OG 9.....	29
FIGUR 21: VISNING I SAP2000 AV YTTERVEGGER LANGS AKSE A. BESTEMT SEKSJONSKUTT ER MELLOM AKSE 2 OG 3.	29
FIGUR 22: ARBEIDSFELT MED MÅL PÅ YTTERVEGG, INNERVEGG OG ETASJESKILLE	30
FIGUR 23: SØYLEDIAGRAM TOTAL MATERIALKOSTNAD.....	39
FIGUR 24: SØYLEDIAGRAM TOTAL MATERIALKOSTNAD PER GULVFLATE	40

Tabelliste

TABELL 1: DE VANLIGSTE FASTHETSKLASSENE FOR KONSTRUKSJONSVIRKE ETTER NS-EN 338, TRETEKNISK FOKUS PÅ TRE NR.43.....	10
TABELL 2: SAMSVARENDE FASTHETSKLASSER I NS-EN 338 OG SORTERINGSKLASSER I NS-INSTA 142.....	13
TABELL 3: TYPE ELEMENTER BENYTTET I REVIT-PROSJEKT	19
TABELL 4: DATA FOR ETASJESKILLER FRA PRODLIB PLUG- IN	21
TABELL 5: DATA FOR VEGGER FRA PRODLIB PLUG-IN	21
TABELL 6: EGENLAST FOR YTTERVEGG	22
TABELL 7: EGENLAST INNERVEGG	22
TABELL 8 EGENLAST ETASJESKILLE	23
TABELL 9: ANALYSERESULTAT FOR SEKSJONSKUTT.....	29
TABELL 10: ANALYSERAPPORT FRA SAP2000 FOR YTTERVEGGER.....	31
TABELL 11: ANALYSERAPPORT FRA SAP2000 FOR INNERVEGGER	32
TABELL 12:SAMMENLIGNING AV UTNYTTELSESGRAD I YTTERVEGGER FOR TVERRSNITT CLT 120 5S I C24 OG C24/C14	38
TABELL 13: SAMMENLIGNING AV UTNYTTELSESGRAD I INNERVEGGER FOR TVERRSNITT CLT 120 5S I C24 OG C24/C14	38
TABELL 14: SAMMENLIGNING AV NEDBØYNING I ETASJESKILLER FOR TVERRSNITT CLT 240 L7S2S I C24 OG C24/C14	39

Oversikt vedlegg

Vedlegg 1 <i>Snø- og vindlastberegninger</i>	Antall sider: 4
Vedlegg 2 <i>Dimensjonering bruddgrensetilstand yttervegg C24</i>	Antall sider: 4
Vedlegg 3 <i>Dimensjonering bruddgrensetilstand yttervegg C24/C14</i>	Antall sider: 4
Vedlegg 4 <i>Egenskaper bruddgrensetilstand yttervegg C24</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 5 <i>Egenskaper bruddgrensetilstand yttervegg C24/C14</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 6 <i>Kapasitet bruddgrensetilstand yttervegg C24</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 7 <i>Kapasitet bruddgrensetilstand yttervegg C24/C14</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 8 <i>Dimensjonering bruddgrensetilstand innervegg C24</i>	Antall sider: 4
Vedlegg 9 <i>Dimensjonering bruddgrensetilstand innervegg C24/C14</i>	Antall sider: 4
Vedlegg 10 <i>Egenskaper bruddgrensetilstand innervegg C24</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 11 <i>Egenskaper bruddgrensetilstand innervegg C24/C14</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 12 <i>Kapasitet bruddgrensetilstand innervegg C24</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 13 <i>Kapasitet bruddgrensetilstand innervegg C24/C14</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 14 <i>Dimensjonering brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24</i>	Antall sider: 7
Vedlegg 15 <i>Dimensjonering brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24/C14</i>	Antall sider: 7
Vedlegg 16 <i>Egenskaper brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 17 <i>Egenskaper brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24/C14</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 18 <i>Kapasitet bruddgrensetilstand etasjeskille C24</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 19 <i>Kapasitet bruddgrensetilstand etasjeskille C24/C14</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 20 <i>Nedbøyning bruksgrensetilstand etasjeskille C24</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 21 <i>Nedbøyning bruksgrensetilstand etasjeskille C24/C14</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 22 <i>Sammenligning utnyttelsesgrad yttervegg</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 23 <i>Sammenligning utnyttelsesgrad innervegg</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 24 <i>Sammenligning nedbøyning etasjeskille</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 25 <i>Materialkostnad Bygg A</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 26 <i>Materialkostnad Bygg B</i>	Antall sider: 1

Vedlegg 27 <i>Materialkostnad Bygg C</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 28 <i>Materialkostnad Bygg D</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 29 <i>Total materialkostnad</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 30 <i>Total materialkostnad per gulvflate</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 31 <i>3D Kraftresultant Sør- Vest</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 32 <i>Kraftanalyse yttervegg</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 33 <i>Kraftanalyse innervegg</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 34 <i>3D visning</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 35 <i>Fasade Nord</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 36 <i>Fasade Sør</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 37 <i>Fasade Vest</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 38 <i>Fasade Øst</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 39 <i>Plantegning 1-8 Etasje</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 40 <i>3D Sections cuts</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 41 <i>Arbeidsfelt</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 42 <i>Analyse veggkonstruksjoner</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 43 <i>Analyse etasjeskiller</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 44 <i>Section cuts SAP2000</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 45 <i>Section cuts Yttervegg</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 46 <i>Section cuts Innervegg</i>	Antall sider: 1
Vedlegg 47 <i>Seksjonskutt lastanalyse</i>	Antall sider: 1

Vedlegg

Vedlegg 1 - Snø- og vindlastberegninger

Snølast; Beregninger gjort etter blad 471.041 fra Byggforskserien

Växjö

Plassering

$$S_{k.0} := 2.0 \frac{kN}{m^2}$$

Karakteristisk snølast på mark, $H < H_g := 150 \text{ m}$

$$\mu_1 := 0.8$$

Formfaktor, tak

$$C_e := 1$$

Eksponeringsfaktor, ikke gjeldene

$$C_t := 1$$

Termisk faktor, ikke gjeldene

$$S := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_{k.0} = 1.6 \frac{kN}{m^2}$$

Karakteristisk snølast på tak

Vindlast; Beregninger gjort etter blad 471.043 fra Byggforskserien

Växjö

Plassering

TerrengIII

Terrengkategori for sammenhengende småhusbebyggelse industriområder eller skogsområder

$$\rho_{luft} := 1.25 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

Luftens densitet

$$k_T := 0.22$$

Terrengruhet kategori III, fra tabell 321 i blad 471.041 Byggforskserien

$$z_0 := 0.3 \text{ m}$$

Ruhetslengde, fra tabell 321 i blad 471.041 Byggforskserien

$$z_{e1} := 24 \text{ m}$$

Høyde på konstruksjon over terrenget, $z > z_{min} := 8 \text{ m}$

$$c_{tt} := 1.0$$

Turbulensfaktor, ingen effekt

$$c_t := 1.0$$

Topografifaktor, ingen effekt

$$c_{r24} := k_T \cdot \ln\left(\frac{z_{e1}}{z_0}\right) = 0.964 \quad \text{Terrengruhetsfaktor}$$

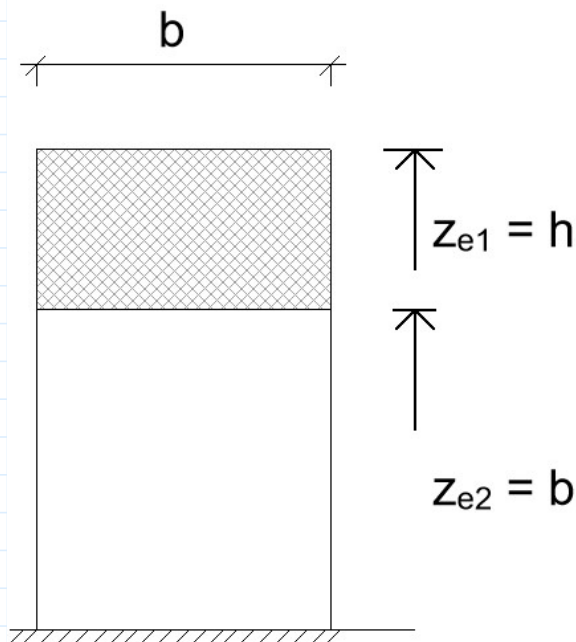
$$v_b := 24 \frac{m}{s} \quad \text{Basisvindhastighet}$$

$$q_{kast24} := \frac{1}{2} \cdot \rho_{luft} \cdot c_{r24}^2 \cdot c_t^2 \cdot v_b^2 \cdot \left(1 + 7 \cdot \frac{c_{tt} \cdot k_T}{c_{r24} \cdot c_t}\right) = 0.869 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Vindkasthastighets-trykk}$$

$$b := 20.46 \text{ m} \quad \text{Bredde konstruksjon}$$

$$h := 24 \text{ m} \quad \text{Høyde konstruksjon}$$

$$b < h < 2b \quad \text{Kriteriet for gitt høydeinndeling av vindtrykk}$$



Figur 1: Soneinndeling for referanseshøyde, $b < h < 2b$

$$z_{e2} := 20.46 \text{ m} \quad \text{Høyde på konstruksjon over} \quad z > z_{min} := 8 \text{ m} \\ \text{terreng}$$

$$c_r := k_T \cdot \ln\left(\frac{z_{e2}}{z_0}\right) = 0.929 \quad \text{Terrengruhetsfaktor}$$

$$q_{kast20.46} := \frac{1}{2} \cdot \rho_{luft} \cdot c_r^2 \cdot c_t^2 \cdot v_b^2 \cdot \left(1 + 7 \cdot \frac{c_{tt} \cdot k_T}{c_r \cdot c_t}\right) = 0.826 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Vindkasthastighets-trykk}$$

Basisvindhastighet q_{kast24} og $q_{kast20.46}$ har en relativt mager differanse, og anser gjennomsnittlig verdi som gjeldene for vindlast på konstruksjonen.

$$q_{kast} := \frac{q_{kast24} + q_{kast20.46}}{2} = 0.85 \frac{kN}{m^2}$$

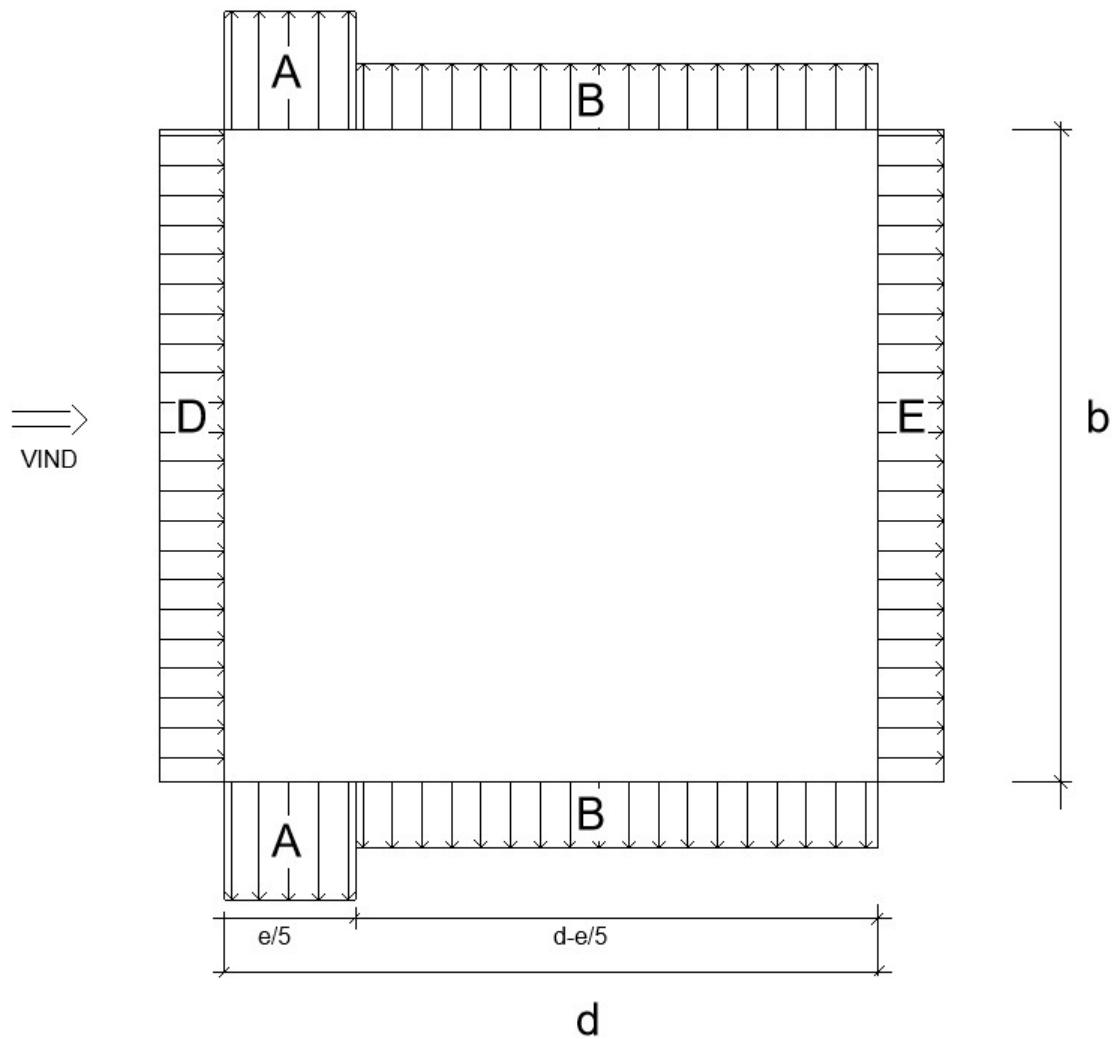
Vindkasthastighetstrykk
for konstruksjon

$$d := 20.46 \text{ m}$$

$$e := \min(b, 2h) = 20.46 \text{ m}$$

$$e \geq d$$

Kriteriet for gitt soneinndeling av utvendige formfaktorer for vegger



Figur 2: Soneinndeling av utvendige formfaktorer, $e \leq d$

$$A_{ref} := h \cdot b = 491.04 \text{ m}^2 \quad A_{ref} > 10 \text{ m}^2 \quad \text{Referanseareal over } 10 \text{ m}^2 \text{ fastsetter } C_{pe} = C_{pe.10}$$

$$\frac{h}{d} = 1.173 \text{ gir} \quad \text{Høyde/bredde forhold}$$

$$D_{sone} C_{pe.10} := 0.8 \quad \text{Utvendig formfaktor, fra tabell 432 i blad 471.041 Byggforskserien}$$

Interpolasjon fra verdier av $h/d=5$ og $h/d=1$ ettersom verdien av h/d for konstruksjonen ligger i mellom:

$$E_{sone} C_{pe.10} := -0.7 - \left(\frac{-0.7 - (-0.5)}{5 - 1} \right) \left(5 - \frac{h}{d} \right) = -0.509 \quad \text{Utvendig formfaktor, fra tabell 432 i blad 471.041 Byggforskserien}$$

$$W_y := q_{kast} \cdot D_{sone} C_{pe.10} = 0.68 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Vindlast for konstruksjon, satt i y-retning SAP2000}$$

$$W_x := q_{kast} \cdot |E_{sone} C_{pe.10}| = 0.43 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Vindlast for konstruksjon, satt i x-retning SAP2000}$$

Dimensjonerende vindlast for yttervegg:

$$C_{pi} := 0.2 \quad \text{Innvedning koeffisient}$$

$$b_x := 1.0 \text{ m} \quad \text{Elementbredde}$$

$$W_{\text{øst}} := q_{kast} \cdot |D_{sone} C_{pe.10} + C_{pi}| = 0.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Dimensjonerende vindlast fra øst for yttervegg}$$

$$\gamma_Q := 1.5 \quad \text{Lastfaktor, ugunstig}$$

$$q_d := W_{\text{øst}} \cdot b_x \cdot \gamma_Q = 1.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Dimensjonerende vindlast fra øst for yttervegg}$$

Vedlegg 2

Dimensjonering bruddgrensetilstand yttervegg C24

Yttervegg C24

Karakteristiske verdier og konstanter CLT 120 5s C24

$\gamma_M := 1.15$	Materialfaktor, Norge
$\gamma_d := 1.0$	Partiellfaktor for sikkerhetsklasse 3
$k_{mod} := 1.1$	Modifikasjonsfaktor, klimaklasse 1 øyeblikkslast
$k_{sys} := 1.0$	Systemeffektsfaktor, konservativt
$f_{ck} := 21 \text{ MPa}$	Karakteristisk trykkfasthet i fiberretning
$f_{cd} := \frac{k_{mod} \cdot f_{ck}}{\gamma_M} = 20.09 \text{ MPa}$	Dimensjonerende trykkfasthet
$f_{mk} := 24 \text{ MPa}$	Karakteristisk bøyefasthet
$f_{md} := \frac{k_{mod} \cdot f_{mk} \cdot k_{sys}}{\gamma_M} = 22.96 \text{ MPa}$	Dimensjonerende bøyefasthet
$E_0 := 11000 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, sjikt
$E_{0k} := 7400 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, 5% fraktil
$G_{9090} := 50 \text{ MPa}$	Rulleskjær modul, på tvers av fiberretning

Bruddgrensetilstand av element CLT 120 5s C24

Tverrsnittsegenskaper CLT 120 5s C24

$$l_e := 3.0 \text{ m}$$

Vegghøyde

$$b_x := 1000 \text{ mm}$$

Enhetsbredde

$$t_1 := 30 \text{ mm}$$

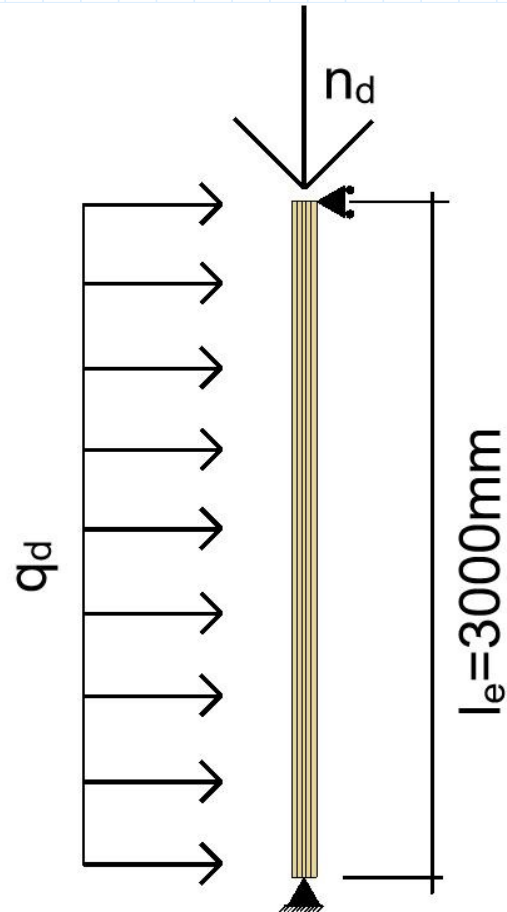
$$t_2 := 20 \text{ mm}$$

$$t_3 := 20 \text{ mm}$$

$$t_4 := 20 \text{ mm}$$

$$t_5 := 30 \text{ mm}$$

Sjikhøyde CLT 120 5s



Figur 1: Statisk system, yttervegg påført vindlast og vertikal last

$$h_{CLT} := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 120 \text{ mm}$$

Tverrsnittshøyde

$$z_s := \frac{h_{CLT}}{2} = 60 \text{ mm}$$

Nøytralakse tverrsnitt

$$a_1 := 45 \text{ mm}$$

$$a_3 := 0 \text{ mm}$$

$$a_5 := 45 \text{ mm}$$

Avstand til nøytralaksen i tverrsnittet

$$A_{x.net} := b_x \cdot ((2 \cdot t_1) + t_3) = 80000 \text{ mm}^2$$

Areal tverrsnitt i kraftretning

$$I_{x.net} := b_x \cdot \left(\frac{2 t_1^3}{12} + 2 t_1 \cdot a_1^2 + \frac{t_3^3}{12} + t_3 \cdot a_3^2 \right) = (1.267 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

Netto treghetsmoment

$$W_{x.net} := \frac{I_{x.net}}{z_s} = 2111111.11 \text{ mm}^3$$

Motstandsmoment

$$\gamma_1 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_0 \cdot t_1}{l_e^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090}}} = 0.87$$

Gammaverdi for sjikt 1

$$\gamma_3 := 1$$

Gammaverdi for sjikt 3

$$\gamma_5 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_0 \cdot t_5}{l_e^2} \cdot \frac{t_4}{G_{9090}}} = 0.87$$

Gammaverdi for sjikt 5

$$I_{x.ef} := b_x \cdot \left(\left(\frac{2 t_1^3}{12} + 2 \gamma_1 \cdot t_1 \cdot a_1^2 \right) + \left(\frac{t_3^3}{12} \right) \right) = 11130.299 \text{ cm}^4$$

Effektiv treghetsmoment mot bøyning

$$i_{x.ef} := \sqrt{\frac{I_{x.ef}}{A_{x.net}}} = 3.73 \text{ cm}$$

Effektiv treghetsradius

$$\lambda_y := \frac{l_e}{i_{x.ef}} = 80.43$$

Slankhetsfaktor

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{E_{0k}}} = 1.36 > 0.3 \text{ risiko for knekking}$$

Relativ slankhetsfaktor

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + 0.1 (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 1.48$$

Ustabilitetsfaktor

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.48$$

<1 anvendelig! Reduksjonsfaktor

Bruddgrensetilstand

$$q_d := 1.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Dimensjonerende vindlast, fra Beregninger_snølast_vindlast

$$M_{y,d} := \frac{q_d \cdot l_e^2}{8} = 1.43 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dimensjonerende moment gitt vindlast

$$F_{dSC1} := \frac{387.093}{7.84} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vertikal last fra Sap2000

$$N_d := F_{dSC1} \cdot b_x = 49.374 \text{ kN}$$

Dimensjonerende vertikal last for antatt 1m bredde

$$\sigma_{cd} := \frac{N_d}{A_{x.net}} = 0.62 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende trykk i fiberretning

$$\sigma_{md} := \frac{M_{y.d}}{W_{x.net}} = 0.68 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende bøyespenning om y-y

$$\frac{\sigma_{cd}}{k_{cy} \cdot f_{cd}} + \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} = 0.09296$$

Kapasitetskontroll, trykk i fiberretning og moment om y-y

$$\text{kontroll} := \begin{cases} \text{if } \frac{\sigma_{cd}}{k_{cy} \cdot f_{cd}} + \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} \leq 1 \\ \quad \text{return "Godkjent"} \\ \text{else} \\ \quad \text{return "Underkjent"} \end{cases} = \text{"Godkjent"} \text{ Kapasitetskontroll, trykk i fiberretning og moment om y-y}$$

Vedlegg 3

Dimensjonering bruddgrensetilstand yttervegg C24/C12

Yttervegg C24/C14

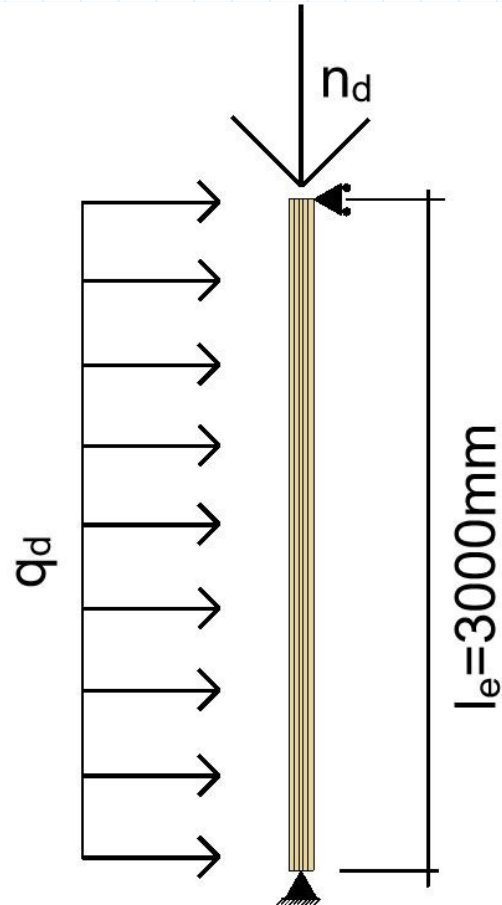
Karakteristiske verdier og konstanter CLT 120 5s C24/C14

$\gamma_M := 1.15$	Materialfaktor, Norge
$\gamma_d := 1.0$	Partiellfaktor for sikkerhetsklasse 3
$k_{mod} := 1.1$	Modifikasjonsfaktor, klimaklasse 1 øyeblikkslast
$k_{sys} := 1.0$	Systemeffektsfaktor, konservativt
$f_{ck} := 21 \text{ MPa}$	Karakteristisk trykkfasthet i fiberretning
$f_{cd} := \frac{k_{mod} \cdot f_{ck}}{\gamma_M} = 20.087 \text{ MPa}$	Dimensjonerende trykkfasthet
$f_{mk} := 24 \text{ MPa}$	Karakteristisk bøyefasthet
$f_{md} := \frac{k_{mod} \cdot f_{mk} \cdot k_{sys}}{\gamma_M} = 22.957 \text{ MPa}$	Dimensjonerende bøyefasthet
$E_{0C24} := 11000 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, C24
$E_{0C14} := 7000 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, C14
$E_{0k} := 7400 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, 5% fraktil
$G_{9090} := 50 \text{ MPa}$	Rulleskjær modul, på tvers av fiberretning

Bruddgrensetilstand av element CLT 120 5s C24/C14

Tverrsnittsegenskaper CLT 120 5s C24/C14

$l_e := 3.0 \text{ m}$		Vegghøyde
$b_x := 1000 \text{ mm}$		Enhetsbredde
$t_1 := 30 \text{ mm}$	C24	
$t_2 := 20 \text{ mm}$	C14	Sjikthøyde
$t_3 := 20 \text{ mm}$	C14	CLT 120 5s,
$t_4 := 20 \text{ mm}$	C14	fasthetsklasse per
$t_5 := 30 \text{ mm}$	C24	lamellsjikt



Figur 1: Statisk system, yttervegg påført vindlast og vertikal last

$$h_{CLT} := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 120 \text{ mm}$$

Tverrsnittshøyde

$$z_s := \frac{h_{CLT}}{2} = 60 \text{ mm}$$

Nøytralakse tverrsnitt

$$a_1 := 45 \text{ mm}$$

$$a_3 := 0 \text{ mm}$$

$$a_5 := 45 \text{ mm}$$

Avstand til nøytralaksen i tverrsnittet

$$A_{x.net} := b_x \cdot ((2 \cdot t_1) + t_3) = 80000 \text{ mm}^2$$

Areal tverrsnitt i kraftretning

$$I_{x.net} := b_x \cdot \left(\frac{2 t_1^3}{12} + 2 t_1 \cdot a_1^2 + \frac{t_3^3}{12} + t_3 \cdot a_3^2 \right) = (1.267 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

Netto treghetsmoment

$$W_{x.net} := \frac{I_{x.net}}{z_s} = (2.111 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

Motstandsmoment

$$\gamma_1 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{0C24} \cdot t_1}{l_e^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090}}} = 0.874$$

Gammaverdi for sjikt 1

$$\gamma_3 := 1$$

Gammaverdi for sjikt 3

$$\gamma_5 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{0C24} \cdot t_5}{l_e^2} \cdot \frac{t_4}{G_{9090}}} = 0.874$$

Gammaverdi for sjikt 5

$$I_{x.ef} := b_x \cdot \left(\left(\frac{2 \cdot t_1^3}{12} + 2 \gamma_1 \cdot t_1 \cdot a_1^2 \right) + \frac{E_{0C14}}{E_{0C24}} \cdot \frac{t_3^3}{12} \right) = 11106.056 \text{ cm}^4$$

Effektiv treghetsmoment mot bøyning

$$i_{x.ef} := \sqrt{\frac{I_{x.ef}}{A_{x.net}}} = 3.726 \text{ cm}$$

Effektiv treghetsradius

$$\lambda_y := \frac{l_e}{i_{x.ef}} = 80.517$$

Slankhetsfaktor

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{E_{0k}}} = 1.365 > 0.3 \text{ risiko for knekking}$$

Relativ slankhetsfaktor

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + 0.1 (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.485$$

Ustabilitetsfaktor

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.483$$

<1 anvendelig!

Reduksjonsfaktor

Bruddgrensetilstand

$$q_d := 1.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Dimensjonerende vindlast, fra Beregninger_snølast_vindlast

$$M_{y,d} := \frac{q_d \cdot l_e^2}{8} = 1.429 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dimensjonerende moment gitt vindlast

$$F_{dSC1} := \frac{387.093}{7.84} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vertikal last fra Sap2000

$$N_d := F_{dSC1} \cdot b_x = 49.374 \text{ kN}$$

Dimensjonerende vertikal last for antatt 1m bredde

$$\sigma_{cd} := \frac{N_d}{A_{x.net}} = 0.617 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende trykk i fiberretning

$$\sigma_{md} := \frac{M_{y.d}}{W_{x.net}} = 0.677 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende moment om y-y

$$\frac{\sigma_{cd}}{k_{cy} \cdot f_{cd}} + \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} = 0.09309$$

Kapasitetskontroll, trykk i fiberretning og moment om y-y

$$\text{kontroll} := \begin{cases} \text{if } \frac{\sigma_{cd}}{k_{cy} \cdot f_{cd}} + \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} \leq 1 \\ \quad \text{return "Godkjent"} \\ \text{else} \\ \quad \text{return "Underkjent"} \end{cases} = \text{"Godkjent"} \text{ Kapasitetskontroll, trykk i fiberretning og moment om y-y}$$

Vedlegg 4

Egenskaper bruddgrensetilstand yttervegg C24

No.	Type	Tversnittshøyde (mm)	Tykkelse per sjikt (mm)					Netto Areal tversnitt (mm ²)	Avstand fra sjikt t_1 t_3 t_5 til nøytralakse (mm ²)			Netto treghetsmoment (mm ⁴)	Motstandsmomen t (mm ³)	Gammaverdi for sjikt t_1 t_3 t_5			Effektiv treghetsmoment mot bøying (cm ⁴)	Effektiv treghetsradius (cm)	Slankhetsfaktor	Relativ slankhetsfaktor	Ustabilitetsfaktor	Reduksjonsfaktor
			t_1	t_2	t_3	t_4	t_5		$A_{x,net}$	a_1	a_3			a_5	$I_{x,net}$	$W_{x,net}$						
1	CLT 100 5s	100	20	20	20	20	20	60000	40	0	40	6,600E+07	1320000	0,912	1	0,912	6,037E+07	3,172	94,579	1,604	1,851	0,360
2	CLT 120 5s	120	20	30	20	30	20	60000	50	0	50	1,020E+08	1700000	0,874	1	0,874	8,935E+07	3,859	77,739	1,318	1,420	0,514
3	CLT 140 5s	140	20	40	20	40	20	60000	60	0	60	1,460E+08	2085714	0,838	1	0,838	1,227E+08	4,522	66,339	1,125	1,174	0,662
4	CLT 110 5s	110	20	20	30	20	20	70000	45	0	45	8,458E+07	1537879	0,912	1	0,912	7,745E+07	3,326	90,188	1,529	1,731	0,393
5	CLT 130 5s	130	20	30	30	30	20	70000	55	0	55	1,246E+08	1916667	0,874	1	0,874	1,093E+08	3,951	75,927	1,287	1,378	0,535
6	CLT 150 5s	150	20	40	30	40	20	70000	65	0	65	1,726E+08	2301111	0,838	1	0,838	1,452E+08	4,555	65,860	1,117	1,164	0,669
7	CLT 120 5s	120	20	20	40	20	20	80000	50	0	50	1,067E+08	1777778	0,912	1	0,912	9,787E+07	3,498	85,773	1,454	1,615	0,431
8	CLT 140 5s	140	20	30	40	30	20	80000	60	0	60	1,507E+08	2152381	0,874	1	0,874	1,325E+08	4,069	73,727	1,250	1,329	0,562
9	CLT 160 5s	160	20	40	40	40	20	80000	70	0	70	2,027E+08	2533333	0,838	1	0,838	1,710E+08	4,623	64,897	1,100	1,146	0,683
10	CLT 120 5s	120	30	20	20	20	30	80000	45	0	45	1,267E+08	2111111	0,874	1	0,874	1,113E+08	3,730	80,429	1,364	1,483	0,484
11	CLT 140 5s	140	30	30	20	30	30	80000	55	0	55	1,867E+08	2666667	0,822	1	0,822	1,543E+08	4,392	68,313	1,158	1,214	0,634
12	CLT 160 5s	160	30	40	20	40	30	80000	65	0	65	2,587E+08	3233333	0,775	1	0,775	2,018E+08	5,022	59,739	1,013	1,049	0,757
13	CLT 130 5s	130	30	20	30	20	30	90000	50	0	50	1,568E+08	2411538	0,874	1	0,874	1,378E+08	3,913	76,674	1,300	1,395	0,526
14	CLT 150 5s	150	30	30	30	30	30	90000	60	0	60	2,228E+08	2970000	0,822	1	0,822	1,842E+08	4,524	66,310	1,124	1,173	0,663
15	CLT 170 5s	170	30	40	30	40	30	90000	70	0	70	3,008E+08	3538235	0,775	1	0,775	2,347E+08	5,107	58,742	0,996	1,031	0,771
16	CLT 140 5s	140	30	20	40	20	30	100000	55	0	55	1,913E+08	2733333	0,874	1	0,874	1,684E+08	4,103	73,109	1,240	1,315	0,570
17	CLT 160 5s	160	30	30	40	30	30	100000	65	0	65	2,633E+08	3291667	0,822	1	0,822	2,181E+08	4,670	64,237	1,089	1,133	0,693
18	CLT 180 5s	180	30	40	40	40	30	100000	75	0	75	3,473E+08	3859259	0,775	1	0,775	2,716E+08	5,211	57,569	0,976	1,010	0,787
19	CLT 140 5s	140	40	20	20	20	40	100000	50	0	50	2,113E+08	3019048	0,838	1	0,838	1,790E+08	4,231	70,912	1,202	1,268	0,599
20	CLT 160 5s	160	40	30	20	30	40	100000	60	0	60	2,993E+08	3741667	0,775	1	0,775	2,347E+08	4,844	61,928	1,050	1,089	0,726
21	CLT 180 5s	180	40	40	20	40	40	100000	70	0	70	4,033E+08	4481481	0,721	1	0,721	2,942E+08	5,424	55,313	0,938	0,972	0,816
22	CLT 150 5s	150	40	20	30	20	40	110000	55	0	55	2,549E+08	3398889	0,838	1	0,838	2,158E+08	4,429	67,737	1,149	1,202	0,642
23	CLT 170 5s	170	40	30	30	30	40	110000	65	0	65	3,509E+08	4128431	0,775	1	0,775	2,750E+08	5,000	59,997	1,017	1,053	0,754
24	CLT 190 5s	190	40	40	30	40	40	110000	75	0	75	4,629E+08	4872807	0,721	1	0,721	3,376E+08	5,540	54,153	0,918	0,953	0,829
25	CLT 160 5s	160	40	20	40	20	40	120000	60	0	60	3,040E+08	3800000	0,838	1	0,838	2,574E+08	4,631	64,774	1,098	1,143	0,685
26	CLT 180 5s	180	40	30	40	30	40	120000	70	0	70	4,080E+08	4533333	0,775	1	0,775	3,200E+08	5,164	58,095	0,985	1,019	0,780
27	CLT 200 5s	200	40	40	40	40	40	120000	80	0	80	5,280E+08	5280000	0,721	1	0,721	3,854E+08	5,667	52,936	0,898	0,933	0,843

Vedlegg 5

Egenskaper bruddgrensetilstand yttervegg C24/C14

No.	Type	Tversnittshøyde (mm)	Tykkelse per sjikt (mm)					Netto Areal tversnitt (mm ²)	Avstand fra sjikt t_1 t_3 t_5 til nøytralakse (mm ²)			Netto treghetsmoment (mm ⁴)	Motstandsmoment (mm ³)	Gammaverdi for sjikt t_1 t_3 t_5			Effektiv treghetsmoment mot bøyning (cm ⁴)	Effektiv treghetsradius (cm)	Slankhetsfaktor	Relativ slankhetsfaktor	Ustabilitetsfaktor	Reduksjonsfaktor
			t_1	t_2	t_3	t_4	t_5		$A_{x,net}$	a_1	a_3			a_5	$l_{x,net}$	$W_{x,net}$						
1	CLT 100 5s	100	20	20	20	20	20	60000	40	0	40	6,600E+07	1320000	0,912	1	0,912	6,012E+07	3,166	94,770	1,607	1,857	0,359
2	CLT 120 5s	120	20	30	20	30	20	60000	50	0	50	102000000	1700000	0,874	1	0,874	8,911E+07	3,854	77,844	1,320	1,422	0,512
3	CLT 140 5s	140	20	40	20	40	20	60000	60	0	60	1,460E+08	2085714	0,838	1	0,838	1,225E+08	4,518	66,405	1,126	1,175	0,661
4	CLT 110 5s	110	20	20	30	20	20	70000	45	0	45	8,458E+07	1537879	0,912	1	0,912	7,664E+07	3,309	90,668	1,537	1,744	0,390
5	CLT 130 5s	130	20	30	30	30	20	70000	55	0	55	1,246E+08	1916667	0,874	1	0,874	1,085E+08	3,936	76,212	1,292	1,385	0,531
6	CLT 150 5s	150	20	40	30	40	20	70000	65	0	65	1,726E+08	2301111	0,838	1	0,838	1,444E+08	4,542	66,047	1,120	1,168	0,667
7	CLT 120 5s	120	20	20	40	20	20	80000	50	0	50	1,067E+08	1777778	0,912	1	0,912	9,593E+07	3,463	86,636	1,469	1,638	0,424
8	CLT 140 5s	140	20	30	40	30	20	80000	60	0	60	1,507E+08	2152381	0,874	1	0,874	1,305E+08	4,039	74,273	1,259	1,341	0,555
9	CLT 160 5s	160	20	40	40	40	20	80000	70	0	70	2,027E+08	2533333	0,838	1	0,838	1,690E+08	4,596	65,268	1,107	1,153	0,678
10	CLT 120 5s	120	30	20	20	20	30	80000	45	0	45	1,267E+08	2111111	0,874	1	0,874	1,111E+08	3,726	80,517	1,365	1,485	0,483
11	CLT 140 5s	140	30	30	20	30	30	80000	55	0	55	1,867E+08	2666667	0,822	1	0,822	1,540E+08	4,388	68,366	1,159	1,215	0,634
12	CLT 160 5s	160	30	40	20	40	30	80000	65	0	65	2,587E+08	3233333	0,775	1	0,775	2,015E+08	5,019	59,775	1,014	1,049	0,757
13	CLT 130 5s	130	30	20	30	20	30	90000	50	0	50	1,568E+08	2411538	0,874	1	0,874	1,370E+08	3,901	76,902	1,304	1,400	0,523
14	CLT 150 5s	150	30	30	30	30	30	90000	60	0	60	2,228E+08	2970000	0,822	1	0,822	1,834E+08	4,514	66,458	1,127	1,176	0,661
15	CLT 170 5s	170	30	40	30	40	30	90000	70	0	70	3,008E+08	3538235	0,775	1	0,775	2,339E+08	5,098	58,844	0,998	1,033	0,770
16	CLT 140 5s	140	30	20	40	20	30	100000	55	0	55	1,913E+08	2733333	0,874	1	0,874	1,664E+08	4,080	73,534	1,247	1,325	0,564
17	CLT 160 5s	160	30	30	40	30	30	100000	65	0	65	2,633E+08	3291667	0,822	1	0,822	2,162E+08	4,649	64,524	1,094	1,138	0,689
18	CLT 180 5s	180	30	40	40	40	30	100000	75	0	75	3,473E+08	3859259	0,775	1	0,775	2,696E+08	5,193	57,776	0,980	1,014	0,784
19	CLT 140 5s	140	40	20	20	20	40	100000	50	0	50	2,113E+08	3019048	0,838	1	0,838	1,787E+08	4,228	70,961	1,203	1,269	0,598
20	CLT 160 5s	160	40	30	20	30	40	100000	60	0	60	2,993E+08	3741667	0,775	1	0,775	2,344E+08	4,842	61,960	1,051	1,089	0,726
21	CLT 180 5s	180	40	40	20	40	40	100000	70	0	70	4,033E+08	4481481	0,721	1	0,721	2,939E+08	5,421	55,336	0,938	0,972	0,815
22	CLT 150 5s	150	40	20	30	20	40	110000	55	0	55	2,549E+08	3398889	0,838	1	0,838	2,149E+08	4,420	67,866	1,151	1,205	0,641
23	CLT 170 5s	170	40	30	30	30	40	110000	65	0	65	3,509E+08	4128431	0,775	1	0,775	2,742E+08	4,993	60,086	1,019	1,055	0,753
24	CLT 190 5s	190	40	40	30	40	40	110000	75	0	75	4,629E+08	4872807	0,721	1	0,721	3,368E+08	5,533	54,219	0,919	0,954	0,829
25	CLT 160 5s	160	40	20	40	20	40	120000	60	0	60	3,040E+08	3800000	0,838	1	0,838	2,555E+08	4,614	65,020	1,103	1,148	0,681
26	CLT 180 5s	180	40	30	40	30	40	120000	70	0	70	4,080E+08	4533333	0,775	1	0,775	3,181E+08	5,148	58,272	0,988	1,023	0,778
27	CLT 200 5s	200	40	40	40	40	40	120000	80	0	80	5,280E+08	5280000	0,721	1	0,721	3,835E+08	5,653	53,070	0,900	0,935	0,842

Vedlegg 6

Kapasitet bruddgrensetilstand yttervegg C24

No.	Type	1-2 Etasje Dimensjonerende bøyespenning om y-y (N/mm ²)	1-2 Etasje Dimensjonerende trykk med fibreretting (N/mm ²)	1-2 Etasje Utrnyttelsesgrad (%)	3-4 Etasje Dimensjonerende bøyespenning om y-y (N/mm ²)	3-4 Etasje Dimensjonerende trykk med fibreretting (N/mm ²)	3-4 Etasje Utrnyttelsesgrad (%)	5-6 Etasje Dimensjonerende bøyespenning om y-y (N/mm ²)	5-6 Etasje Dimensjonerende trykk med fibreretting (N/mm ²)	5-6 Etasje Utrnyttelsesgrad (%)	7-8 Etasje Dimensjonerende bøyespenning om y-y (N/mm ²)	7-8 Etasje Dimensjonerende trykk med fibreretting (N/mm ²)	7-8 Etasje Utrnyttelsesgrad (%)
No.	Type	σ_{md1}	σ_{cd1}	SC1	σ_{md2}	σ_{cd2}	SC2	σ_{md3}	σ_{cd3}	SC3	σ_{md4}	σ_{cd4}	SC4
1	CLT 100 5s	1,083	0,823	16,087	1,083	0,690	14,257	1,083	0,491	11,498	1,083	0,254	8,226
2	CLT 120 5s	0,841	0,823	11,638	0,841	0,690	10,354	0,841	0,491	8,419	0,841	0,254	6,124
3	CLT 140 5s	0,686	0,823	9,170	0,686	0,690	8,174	0,686	0,491	6,673	0,686	0,254	4,894
4	CLT 110 5s	0,930	0,705	12,972	0,930	0,592	11,535	0,930	0,421	9,370	0,930	0,218	6,802
5	CLT 130 5s	0,746	0,705	9,814	0,746	0,592	8,757	0,746	0,421	7,164	0,746	0,218	5,275
6	CLT 150 5s	0,621	0,705	7,952	0,621	0,592	7,107	0,621	0,421	5,835	0,621	0,218	4,325
7	CLT 120 5s	0,804	0,617	10,625	0,804	0,518	9,478	0,804	0,368	7,750	0,804	0,190	5,700
8	CLT 140 5s	0,664	0,617	8,361	0,664	0,518	7,480	0,664	0,368	6,154	0,664	0,190	4,580
9	CLT 160 5s	0,564	0,617	6,955	0,564	0,518	6,231	0,564	0,368	5,140	0,564	0,190	3,845
10	CLT 120 5s	0,677	0,617	9,297	0,677	0,518	8,275	0,677	0,368	6,735	0,677	0,190	4,908
11	CLT 140 5s	0,536	0,617	7,178	0,536	0,518	6,399	0,536	0,368	5,223	0,536	0,190	3,830
12	CLT 160 5s	0,442	0,617	5,981	0,442	0,518	5,328	0,442	0,368	4,344	0,442	0,190	3,177
13	CLT 130 5s	0,593	0,549	7,774	0,593	0,460	6,938	0,593	0,327	5,678	0,593	0,169	4,184
14	CLT 150 5s	0,481	0,549	6,217	0,481	0,460	5,553	0,481	0,327	4,554	0,481	0,169	3,368
15	CLT 170 5s	0,404	0,549	5,300	0,404	0,460	4,730	0,404	0,327	3,871	0,404	0,169	2,852
16	CLT 140 5s	0,523	0,494	6,592	0,523	0,414	5,897	0,523	0,294	4,851	0,523	0,152	3,609
17	CLT 160 5s	0,434	0,494	5,439	0,434	0,414	4,868	0,434	0,294	4,007	0,434	0,152	2,986
18	CLT 180 5s	0,371	0,494	4,736	0,371	0,414	4,233	0,371	0,294	3,476	0,371	0,152	2,577
19	CLT 140 5s	0,474	0,494	6,169	0,474	0,414	5,507	0,474	0,294	4,511	0,474	0,152	3,330
20	CLT 160 5s	0,382	0,494	5,048	0,382	0,414	4,503	0,382	0,294	3,682	0,382	0,152	2,708
21	CLT 180 5s	0,319	0,494	4,402	0,319	0,414	3,917	0,319	0,294	3,186	0,319	0,152	2,319
22	CLT 150 5s	0,421	0,449	5,310	0,421	0,377	4,750	0,421	0,268	3,906	0,421	0,138	2,905
23	CLT 170 5s	0,346	0,449	4,472	0,346	0,377	3,995	0,346	0,268	3,276	0,346	0,138	2,423
24	CLT 190 5s	0,293	0,449	3,972	0,293	0,377	3,538	0,293	0,268	2,884	0,293	0,138	2,109
25	CLT 160 5s	0,376	0,411	4,629	0,376	0,345	4,147	0,376	0,245	3,422	0,376	0,127	2,561
26	CLT 180 5s	0,315	0,411	3,999	0,315	0,345	3,576	0,315	0,245	2,939	0,315	0,127	2,184
27	CLT 200 5s	0,271	0,411	3,609	0,271	0,345	3,218	0,271	0,245	2,628	0,271	0,127	1,929

Vedlegg 7

Kapasitet bruddgrensetilstand yttervegg C24/C14

		Dimensjonerende bøyespennning om Y- Y (N/mm ²)	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)	Dimensjonerende bøyespennning om Y- Y (N/mm ²)	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)	Dimensjonerende bøyespennning om Y- Y (N/mm ²)	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)	Dimensjonerende bøyespennning om Y- Y (N/mm ²)	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)
No.	Type	σ_{md1}	σ_{cd1}	SC1	σ_{md2}	σ_{cd2}	SC2	σ_{md3}	σ_{cd3}	SC3	σ_{md4}	σ_{cd4}	SC4
1	CLT 100 5s	1,083	0,823	16,130	1,083	0,690	14,293	1,083	0,491	11,523	1,083	0,254	8,239
2	CLT 120 5s	0,841	0,823	11,657	0,841	0,690	10,370	0,841	0,491	8,430	0,841	0,254	6,129
3	CLT 140 5s	0,686	0,823	9,178	0,686	0,690	8,181	0,686	0,491	6,679	0,686	0,254	4,896
4	CLT 110 5s	0,930	0,705	13,060	0,930	0,592	11,609	0,930	0,421	9,423	0,930	0,218	6,829
5	CLT 130 5s	0,746	0,705	9,856	0,746	0,592	8,792	0,746	0,421	7,189	0,746	0,218	5,288
6	CLT 150 5s	0,621	0,705	7,973	0,621	0,592	7,125	0,621	0,421	5,847	0,621	0,218	4,331
7	CLT 120 5s	0,804	0,617	10,756	0,804	0,518	9,588	0,804	0,368	7,828	0,804	0,190	5,741
8	CLT 140 5s	0,664	0,617	8,428	0,664	0,518	7,537	0,664	0,368	6,194	0,664	0,190	4,601
9	CLT 160 5s	0,564	0,617	6,990	0,564	0,518	6,261	0,564	0,368	5,161	0,564	0,190	3,856
10	CLT 120 5s	0,677	0,617	9,309	0,677	0,518	8,285	0,677	0,368	6,742	0,677	0,190	4,912
11	CLT 140 5s	0,536	0,617	7,184	0,536	0,518	6,403	0,536	0,368	5,227	0,536	0,190	3,831
12	CLT 160 5s	0,442	0,617	5,984	0,442	0,518	5,331	0,442	0,368	4,346	0,442	0,190	3,178
13	CLT 130 5s	0,593	0,549	7,801	0,593	0,460	6,961	0,593	0,327	5,694	0,593	0,169	4,192
14	CLT 150 5s	0,481	0,549	6,230	0,481	0,460	5,564	0,481	0,327	4,562	0,481	0,169	3,372
15	CLT 170 5s	0,404	0,549	5,307	0,404	0,460	4,736	0,404	0,327	3,875	0,404	0,169	2,854
16	CLT 140 5s	0,523	0,494	6,633	0,523	0,414	5,932	0,523	0,294	4,875	0,523	0,152	3,622
17	CLT 160 5s	0,434	0,494	5,461	0,434	0,414	4,886	0,434	0,294	4,020	0,434	0,152	2,993
18	CLT 180 5s	0,371	0,494	4,747	0,371	0,414	4,242	0,371	0,294	3,482	0,371	0,152	2,580
19	CLT 140 5s	0,474	0,494	6,173	0,474	0,414	5,511	0,474	0,294	4,514	0,474	0,152	3,331
20	CLT 160 5s	0,382	0,494	5,050	0,382	0,414	4,505	0,382	0,294	3,683	0,382	0,152	2,709
21	CLT 180 5s	0,319	0,494	4,403	0,319	0,414	3,918	0,319	0,294	3,187	0,319	0,152	2,319
22	CLT 150 5s	0,421	0,449	5,320	0,421	0,377	4,758	0,421	0,268	3,912	0,421	0,138	2,908
23	CLT 170 5s	0,346	0,449	4,477	0,346	0,377	3,999	0,346	0,268	3,279	0,346	0,138	2,424
24	CLT 190 5s	0,293	0,449	3,974	0,293	0,377	3,540	0,293	0,268	2,886	0,293	0,138	2,110
25	CLT 160 5s	0,376	0,411	4,644	0,376	0,345	4,160	0,376	0,245	3,431	0,376	0,127	2,566
26	CLT 180 5s	0,315	0,411	4,007	0,315	0,345	3,583	0,315	0,245	2,944	0,315	0,127	2,186
27	CLT 200 5s	0,271	0,411	3,613	0,271	0,345	3,221	0,271	0,245	2,631	0,271	0,127	1,930

Vedlegg 8

Dimensjonering bruddgrensetilstand innervegg C24

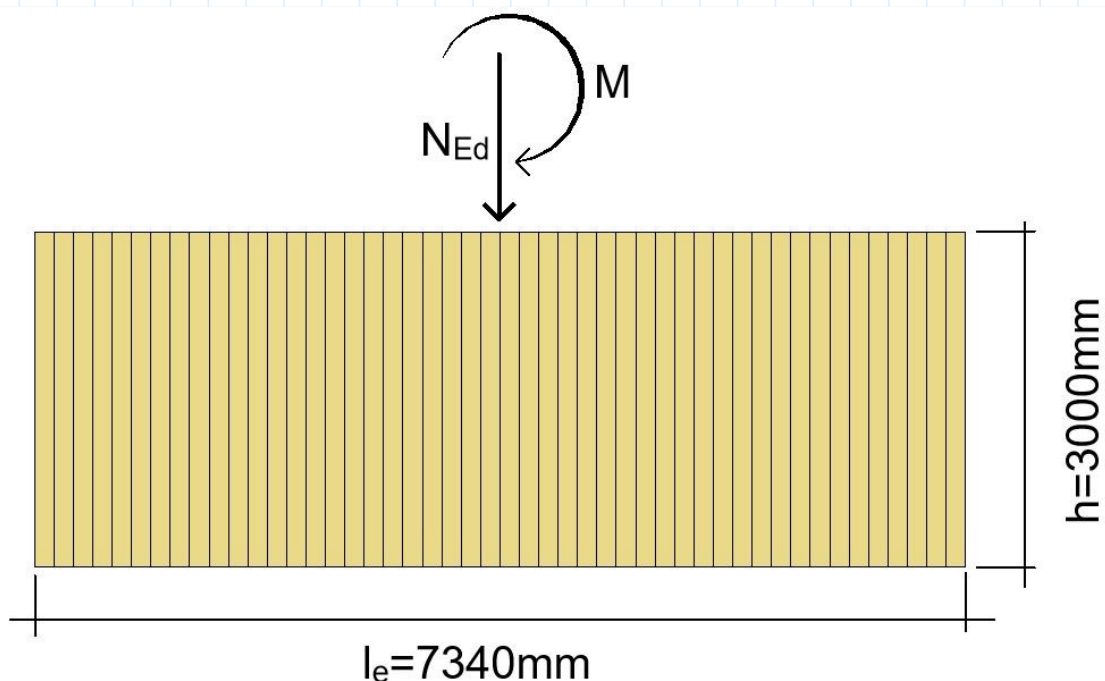
Innervegg C24

Karakteristiske verdier og konstanter CLT 120 5s C24

$\gamma_M := 1.15$	Materialfaktor, Norge
$\gamma_d := 1.0$	Partiellfaktor for sikkerhetsklasse 3
$k_{mod} := 1.1$	Modifikasjonsfaktor, klimaklasse 1
$k_{sys} := 1.0$	Systemeffektsfaktor, konservativt
$f_{ck} := 21 \text{ MPa}$	Karakteristisk trykkfasthet i fiberretning
$f_{cd} := \frac{k_{mod} \cdot f_{ck}}{\gamma_M} = 20.087 \text{ MPa}$	Dimensjonerende trykkfasthet
$f_{mk} := 24 \text{ MPa}$	Karakteristisk bøyefasthet
$f_{md} := \frac{k_{mod} \cdot f_{mk} \cdot k_{sys}}{\gamma_M} = 22.957 \text{ MPa}$	Dimensjonerende bøyefasthet
$E_0 := 11000 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, sjikt
$E_{0k} := 7400 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, 5% fraktil
$G_{9090} := 50 \text{ MPa}$	Rulleskjær modul, på tvers av fiberretning

Bruddgrensetilstand av element CLT 120 5s C24

Tverrsnittsegenskaper CLT 120 5s C24



Figur 1: Statisk system, innervegg påført moment i planet og vertikal last

$$h := 3.0 \text{ m}$$

Vegghøyde

$$b_x := 1000 \text{ mm}$$

Enhetsbredde

$$l_e := 7.34 \text{ m}$$

Lengde på vegg

$$t_1 := 30 \text{ mm}$$

$$t_2 := 20 \text{ mm}$$

$$t_3 := 20 \text{ mm}$$

$$t_4 := 20 \text{ mm}$$

$$t_5 := 30 \text{ mm}$$

Sjikhøyde CLT 120 5s

$$h_{CLT} := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 120 \text{ mm}$$

Tverrsnittshøyde

$$z_s := \frac{h_{CLT}}{2} = 60 \text{ mm}$$

Nøytralakse tverrsnitt

$$a_1 := 45 \text{ mm}$$

$$a_3 := 0 \text{ mm}$$

$$a_5 := 45 \text{ mm}$$

Avstand til nøytralaksen i tverrsnittet

$$A_{x.net} := b_x \cdot ((2 \cdot t_1) + t_3) = 80000 \text{ mm}^2 \quad \text{Areal tverrsnitt i kraftretning}$$

$$I_{x.net} := b_x \cdot \left(\frac{2 t_1^3}{12} + 2 t_1 \cdot a_1^2 + \frac{t_3^3}{12} + t_3 \cdot a_3^2 \right) = (1.267 \cdot 10^8) \text{ mm}^4 \quad \text{Netto treghetsmoment}$$

$$W_{x.net} := \frac{I_{x.net}}{z_s} = (2.111 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad \text{Motstandsmoment}$$

$$\gamma_1 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_0 \cdot t_1}{h^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090}}} = 0.874 \quad \text{Gammaverdi for sjikt 1}$$

$$\gamma_3 := 1 \quad \text{Gammaverdi for sjikt 3}$$

$$\gamma_5 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_0 \cdot t_5}{h^2} \cdot \frac{t_4}{G_{9090}}} = 0.874 \quad \text{Gammaverdi for sjikt 5}$$

$$I_{x.ef} := b_x \cdot \left(\left(\frac{2 t_1^3}{12} + 2 \gamma_1 \cdot t_1 \cdot a_1^2 \right) + \left(\frac{t_3^3}{12} \right) \right) = 11130.299 \text{ cm}^4 \quad \text{Effektiv treghetsmoment mot bøyning}$$

$$i_{x.ef} := \sqrt{\frac{I_{x.ef}}{A_{x.net}}} = 3.73 \text{ cm} \quad \text{Effektiv treghetsradius}$$

$$\lambda_y := \frac{h}{i_{x.ef}} = 80.429 \quad \text{Slankhetsfaktor}$$

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{E_{0k}}} = 1.364 > 0.3 \text{ risiko for knekking} \quad \text{Relativ slankhetsfaktor}$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + 0.1 (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.483 \quad \text{Ustabilitetsfaktor}$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.484 < 1 \text{ anvendelig!} \quad \text{Reduksjonsfaktor}$$

Bruddgrensetilstand, kontroll

$$F_{3SC1} := 196.585 \text{ kN}$$

Dimensjonerende vertikal last fra Sap2000, Innervegg SC1

$$M_{1SC1} := 270.567 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dimensjonerende moment i planet fra Sap2000, Innervegg SC1

$$N_{Ed.F3SC1} := \frac{F_{3SC1}}{l_e} \cdot b_x = 26.783 \text{ kN}$$

Dimensjonerende vertikal last

$$N_{Ed.M1SC1} := \frac{M_{1SC1}}{0.8 l_e} = 46.077 \text{ kN}$$

Dimensjonerende vertikal last, bidrag fra moment i planet.

$$\sigma_{cd} := \frac{N_{Ed.F3SC1} + N_{Ed.M1SC1}}{A_{x.net}} = 0.911 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende trykk i fiberretning

$$\frac{\sigma_{cd}}{k_{cy} \cdot f_{cd}} = 0.0937$$

Kapasitetskontroll, trykk

$$\text{kontroll} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \frac{\sigma_{cd}}{k_{cy} \cdot f_{cd}} \leq 1 \\ \quad \left\| \text{return "Godkjent"} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "Underkjent"} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Godkjent"} \quad \text{Kapasitetskontroll, trykk}$$

Vedlegg 9

Dimensjonering bruddgrensetilstand innervegg C24/C14

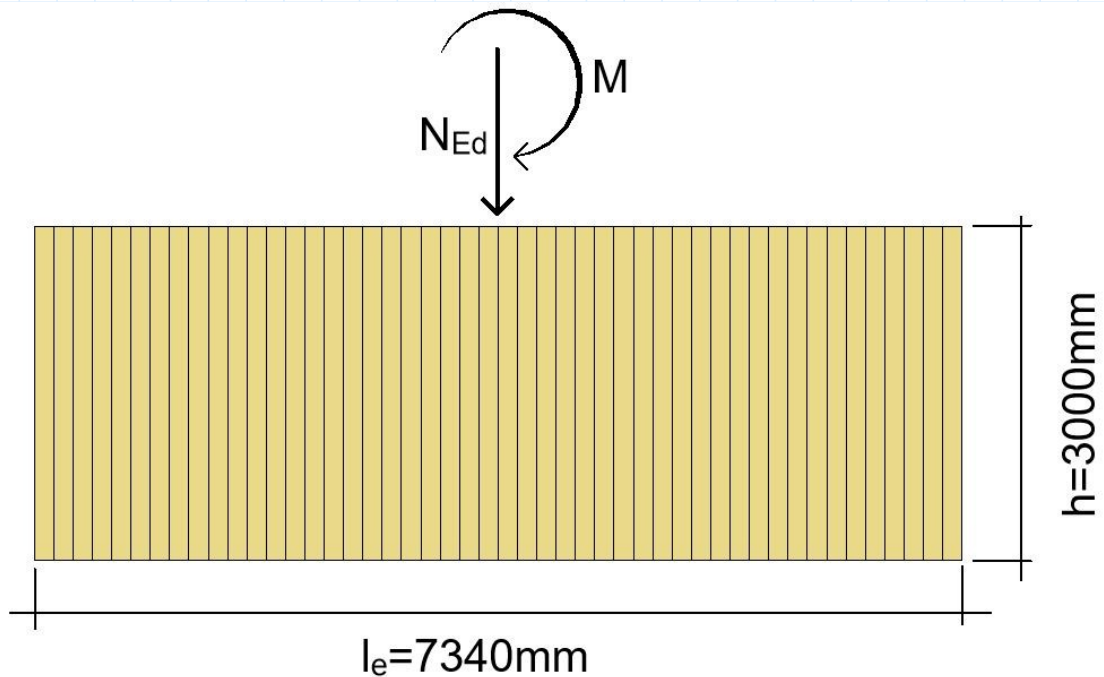
Innervegg C24/C14

Karakteristiske verdier og konstanter CLT 120 5s C24/C14

$\gamma_M := 1.15$	Materialfaktor, Norge
$\gamma_d := 1.0$	Partiellfaktor for sikkerhetsklasse 3
$k_{mod} := 1.1$	Modifikasjonsfaktor, klimaklasse 1 øyeblikkslast
$k_{sys} := 1.0$	Systemeffektsfaktor, konservativt
$f_{ck} := 21 \text{ MPa}$	Karakteristisk trykkfasthet i fiberretning
$f_{cd} := \frac{k_{mod} \cdot f_{ck}}{\gamma_M} = 20.087 \text{ MPa}$	Dimensjonerende trykkfasthet
$f_{mk} := 24 \text{ MPa}$	Karakteristisk bøyefasthet
$f_{md} := \frac{k_{mod} \cdot f_{mk} \cdot k_{sys}}{\gamma_M} = 22.957 \text{ MPa}$	Dimensjonerende bøyefasthet
$E_{0C24} := 11000 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, C24
$E_{0C14} := 7000 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, C14
$E_{0k} := 7400 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, 5% fraktil
$G_{9090} := 50 \text{ MPa}$	Rulleskjær modul, på tvers av fiberretning

Bruddgrensetilstand av element CLT 120 5s C24

Tverrsnittsegenskaper CLT 120 5s C24



Figur 1: Statisk system, innervegg påført moment i planet og vertikal last

$$h := 3.0 \text{ m}$$

Vegghøyde

$$b_x := 1000 \text{ mm}$$

Enhetsbredde

$$l_e := 7.34 \text{ m}$$

Lengde på vegg

$$t_1 := 30 \text{ mm} \quad \text{C24}$$

Sjikhøyde

$$t_2 := 20 \text{ mm} \quad \text{C14}$$

CLT 120 5s,

$$t_3 := 20 \text{ mm} \quad \text{C14}$$

fasthetsklasse per
lamellsjikt

$$t_4 := 20 \text{ mm} \quad \text{C14}$$

$$t_5 := 30 \text{ mm} \quad \text{C24}$$

$$h_{CLT} := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 120 \text{ mm}$$

Tverrsnittshøyde

$$z_s := \frac{h_{CLT}}{2} = 60 \text{ mm}$$

Nøytralakse tverrsnitt

$$a_1 := 45 \text{ mm}$$

Avstand til nøytralaksen i
tverrsnittet

$$a_3 := 0 \text{ mm}$$

$$a_5 := 45 \text{ mm}$$

$$A_{x.net} := b_x \cdot ((2 \cdot t_1) + t_3) = 80000 \text{ mm}^2 \quad \text{Areal tverrsnitt i kraftretning}$$

$$I_{x.net} := b_x \cdot \left(\frac{2 t_1^3}{12} + 2 t_1 \cdot a_1^2 + \frac{t_3^3}{12} + t_3 \cdot a_3^2 \right) = (1.267 \cdot 10^8) \text{ mm}^4 \quad \text{Netto treghetsmoment}$$

$$W_{x.net} := \frac{I_{x.net}}{z_s} = (2.111 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad \text{Motstandsmoment}$$

$$\gamma_1 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{0C24} \cdot t_1}{h^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090}}} = 0.874 \quad \text{Gammaverdi for sjikt 1}$$

$$\gamma_3 := 1 \quad \text{Gammaverdi for sjikt 3}$$

$$\gamma_5 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{0C24} \cdot t_5}{h^2} \cdot \frac{t_4}{G_{9090}}} = 0.874 \quad \text{Gammaverdi for sjikt 5}$$

$$I_{x.ef} := b_x \cdot \left(\left(\frac{2 \cdot t_1^3}{12} + 2 \gamma_1 \cdot t_1 \cdot a_1^2 \right) + \frac{E_{0C14}}{E_{0C24}} \cdot \frac{t_3^3}{12} \right) = 11106.056 \text{ cm}^4 \quad \text{Effektiv treghetsmoment mot bøyning}$$

$$i_{x.ef} := \sqrt{\frac{I_{x.ef}}{A_{x.net}}} = 3.726 \text{ cm} \quad \text{Effektiv treghetsradius}$$

$$\lambda_y := \frac{h}{i_{x.ef}} = 80.517 \quad \text{Slankhetsfaktor}$$

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{E_{0k}}} = 1.365 > 0.3 \text{ risiko for knekking} \quad \text{Relativ slankhetsfaktor}$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + 0.1 (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.485 \quad \text{Ustabilitetsfaktor}$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.483 < 1 \text{ anvendelig!} \quad \text{Reduksjonsfaktor}$$

Bruddgrensetilstand, kontroll

$$F_{3SC1} := 196.585 \text{ kN}$$

Dimensjonerende vertikal last fra Sap2000, Innervegg SC1

$$M_{1SC1} := 270.567 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dimensjonerende moment i planet fra Sap2000, Innervegg SC1

$$N_{Ed.F3SC1} := \frac{F_{3SC1}}{l_e} \cdot b_x = 26.783 \text{ kN}$$

Dimensjonerende vertikal last

$$N_{Ed.M1SC1} := \frac{M_{1SC1}}{0.8 l_e} = 46.077 \text{ kN}$$

Dimensjonerende vertikal last, bidrag fra moment i planet.

$$\sigma_{cd} := \frac{N_{Ed.F3SC1} + N_{Ed.M1SC1}}{A_{x.net}} = 0.911 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende trykk i fiberretning

$$\frac{\sigma_{cd}}{k_{cy} \cdot f_{cd}} = 0.0939$$

Kapasitetskontroll, trykk

$$\text{kontroll} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \frac{\sigma_{cd}}{k_{cy} \cdot f_{cd}} \leq 1 \\ \quad \left\| \text{return "Godkjent"} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "Underkjent"} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Godkjent"} \quad \text{Kapasitetskontroll, trykk}$$

Vedlegg 10

Egenskaper bruddgrensetilstand innervegg C24

No.	Type	Tversnitshøyde (mm)	Tykkelse per sjikt (mm)					Netto Areal tversnitt (mm ²)	Avstand fra sjikt t ₁ t ₃ t ₅ til nøytralakse (mm ²)			Netto treghetsmoment (mm ⁴)	Motstandsmoment (mm ³)	Gammaverdi for sjikt t ₁ t ₃ t ₅			Effektiv treghetsmoment mot bøyning (cm ⁴)	Effektiv treghetsradius (cm)	Slankhetsfaktor λ_y	Relativ slankhetsfaktor $\lambda_{rel,y}$	Ustabilitetsfaktor k _y	Reduksjonsfaktor k _{cy}
			t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅		a ₁	a ₃	a ₅			γ_1	γ_3	γ_5						
1	CLT 100 5s	100	20	20	20	20	20	60000	40	0	40	6,600E+07	1320000	0,912	1	0,912	6,037E+07	3,172	94,579	1,604	1,851	0,360
2	CLT 120 5s	120	20	30	20	30	20	60000	50	0	50	1,020E+08	1700000	0,874	1	0,874	8,935E+07	3,859	77,739	1,318	1,420	0,514
3	CLT 140 5s	140	20	40	20	40	20	60000	60	0	60	1,460E+08	2085714	0,838	1	0,838	1,227E+08	4,522	66,339	1,125	1,174	0,662
4	CLT 110 5s	110	20	20	30	20	20	70000	45	0	45	8,458E+07	1537879	0,912	1	0,912	7,745E+07	3,326	90,188	1,529	1,731	0,393
5	CLT 130 5s	130	20	30	30	30	20	70000	55	0	55	1,246E+08	1916667	0,874	1	0,874	1,093E+08	3,951	75,927	1,287	1,378	0,535
6	CLT 150 5s	150	20	40	30	40	20	70000	65	0	65	1,726E+08	2301111	0,838	1	0,838	1,452E+08	4,555	65,860	1,117	1,164	0,669
7	CLT 120 5s	120	20	20	40	20	20	80000	50	0	50	1,067E+08	1777778	0,912	1	0,912	9,787E+07	3,498	85,773	1,454	1,615	0,431
8	CLT 140 5s	140	20	30	40	30	20	80000	60	0	60	1,507E+08	2152381	0,874	1	0,874	1,325E+08	4,069	73,727	1,250	1,329	0,562
9	CLT 160 5s	160	20	40	40	40	20	80000	70	0	70	2,027E+08	2533333	0,838	1	0,838	1,710E+08	4,623	64,897	1,100	1,146	0,683
10	CLT 120 5s	120	30	20	20	20	30	80000	45	0	45	1,267E+08	2111111	0,874	1	0,874	1,113E+08	3,730	80,429	1,364	1,483	0,484
11	CLT 140 5s	140	30	30	20	30	30	80000	55	0	55	1,867E+08	2666667	0,822	1	0,822	1,543E+08	4,392	68,313	1,158	1,214	0,634
12	CLT 160 5s	160	30	40	20	40	30	80000	65	0	65	2,587E+08	3233333	0,775	1	0,775	2,018E+08	5,022	59,739	1,013	1,049	0,757
13	CLT 130 5s	130	30	20	30	20	30	90000	50	0	50	1,568E+08	2411538	0,874	1	0,874	1,378E+08	3,913	76,674	1,300	1,395	0,526
14	CLT 150 5s	150	30	30	30	30	30	90000	60	0	60	2,228E+08	2970000	0,822	1	0,822	1,842E+08	4,524	66,310	1,124	1,173	0,663
15	CLT 170 5s	170	30	40	30	40	30	90000	70	0	70	3,008E+08	3538235	0,775	1	0,775	2,347E+08	5,107	58,742	0,996	1,031	0,771
16	CLT 140 5s	140	30	20	40	20	30	100000	55	0	55	1,913E+08	2733333	0,874	1	0,874	1,684E+08	4,103	73,109	1,240	1,315	0,570
17	CLT 160 5s	160	30	30	40	30	30	100000	65	0	65	2,633E+08	3291667	0,822	1	0,822	2,181E+08	4,670	64,237	1,089	1,133	0,693
18	CLT 180 5s	180	30	40	40	40	30	100000	75	0	75	3,473E+08	3859259	0,775	1	0,775	2,716E+08	5,211	57,569	0,976	1,010	0,787
19	CLT 140 5s	140	40	20	20	20	40	100000	50	0	50	2,113E+08	3019048	0,838	1	0,838	1,790E+08	4,231	70,912	1,202	1,268	0,599
20	CLT 160 5s	160	40	30	20	30	40	100000	60	0	60	2,993E+08	3741667	0,775	1	0,775	2,347E+08	4,844	61,928	1,050	1,089	0,726
21	CLT 180 5s	180	40	40	20	40	40	100000	70	0	70	4,033E+08	4481481	0,721	1	0,721	2,942E+08	5,424	55,313	0,938	0,972	0,816
22	CLT 150 5s	150	40	20	30	20	40	110000	55	0	55	2,549E+08	3398889	0,838	1	0,838	2,158E+08	4,429	67,737	1,149	1,202	0,642
23	CLT 170 5s	170	40	30	30	30	40	110000	65	0	65	3,509E+08	4128431	0,775	1	0,775	2,750E+08	5,000	59,997	1,017	1,053	0,754
24	CLT 190 5s	190	40	40	30	40	40	110000	75	0	75	4,629E+08	4872807	0,721	1	0,721	3,376E+08	5,540	54,153	0,918	0,953	0,829
25	CLT 160 5s	160	40	20	40	20	40	120000	60	0	60	3,040E+08	3800000	0,838	1	0,838	2,574E+08	4,631	64,774	1,098	1,143	0,685
26	CLT 180 5s	180	40	30	40	30	40	120000	70	0	70	4,080E+08	4533333	0,775	1	0,775	3,200E+08	5,164	58,095	0,985	1,019	0,780
27	CLT 200 5s	200	40	40	40	40	40	120000	80	0	80	5,280E+08	5280000	0,721	1	0,721	3,854E+08	5,667	52,936	0,898	0,933	0,843

Vedlegg 11

Egenskaper bruddgrensetilstand innervegg C24/C14

No.	Type	Tversnitshøyde (mm)	Tykkelse per sikt (mm)					Netto Areal tverrsnitt (mm ²)	Avstand fra sikt t ₁ t ₃ t ₅ til nøytralakse (mm ²)				Netto treghetsmoment (mm ⁴)	Motstandsmoment (mm ³)	Gammaverdi for sikt t ₁ t ₃ t ₅			Effektiv treghetsmoment mot bøying (cm ⁴)	Effektiv treghetsradius (cm)	Slankhetsfaktor	Relativ slankhetsfaktor	Ustabilitetsfaktor	Reduksjonsfaktor
			t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅		A _{x,net}	a ₁	a ₃	a ₅			W _{x,net}	γ ₁	γ ₃						
1	CLT 100 5s	100	20	20	20	20	20	60000	40	0	40	6,600E+07	1320000	0,912	1	0,912	6,012E+07	3,166	94,770	1,607	1,857	0,359	
2	CLT 120 5s	120	20	30	20	30	20	60000	50	0	50	1,020E+08	1700000	0,874	1	0,874	8,911E+07	3,854	77,844	1,320	1,422	0,512	
3	CLT 140 5s	140	20	40	20	40	20	60000	60	0	60	1,460E+08	2085714	0,838	1	0,838	1,225E+08	4,518	66,405	1,126	1,175	0,661	
4	CLT 110 5s	110	20	20	30	20	20	70000	45	0	45	8,458E+07	1537879	0,912	1	0,912	7,664E+07	3,309	90,668	1,537	1,744	0,390	
5	CLT 130 5s	130	20	30	30	30	20	70000	55	0	55	1,246E+08	1916667	0,874	1	0,874	1,085E+08	3,936	76,212	1,292	1,385	0,531	
6	CLT 150 5s	150	20	40	30	40	20	70000	65	0	65	1,726E+08	2301111	0,838	1	0,838	1,444E+08	4,542	66,047	1,120	1,168	0,667	
7	CLT 120 5s	120	20	20	40	20	20	80000	50	0	50	1,067E+08	1777778	0,912	1	0,912	9,593E+07	3,463	86,636	1,469	1,638	0,424	
8	CLT 140 5s	140	20	30	40	30	20	80000	60	0	60	1,507E+08	2152381	0,874	1	0,874	1,305E+08	4,039	74,273	1,259	1,341	0,555	
9	CLT 160 5s	160	20	40	40	40	20	80000	70	0	70	2,027E+08	2533333	0,838	1	0,838	1,690E+08	4,596	65,268	1,107	1,153	0,678	
10	CLT 120 5s	120	30	20	20	20	30	80000	45	0	45	1,267E+08	2111111	0,874	1	0,874	1,111E+08	3,726	80,517	1,365	1,485	0,483	
11	CLT 140 5s	140	30	30	20	30	30	80000	55	0	55	1,867E+08	2666667	0,822	1	0,822	1,540E+08	4,388	68,366	1,159	1,215	0,634	
12	CLT 160 5s	160	30	40	20	40	30	80000	65	0	65	2,587E+08	3233333	0,775	1	0,775	2,015E+08	5,019	59,775	1,014	1,049	0,757	
13	CLT 130 5s	130	30	20	30	20	30	90000	50	0	50	1,568E+08	2411538	0,874	1	0,874	1,370E+08	3,901	76,902	1,304	1,400	0,523	
14	CLT 150 5s	150	30	30	30	30	30	90000	60	0	60	2,228E+08	2970000	0,822	1	0,822	1,834E+08	4,514	66,458	1,127	1,176	0,661	
15	CLT 170 5s	170	30	40	30	40	30	90000	70	0	70	3,008E+08	3538235	0,775	1	0,775	2,339E+08	5,098	58,844	0,998	1,033	0,770	
16	CLT 140 5s	140	30	20	40	20	30	100000	55	0	55	1,913E+08	2733333	0,874	1	0,874	1,664E+08	4,080	73,534	1,247	1,325	0,564	
17	CLT 160 5s	160	30	30	40	30	30	100000	65	0	65	2,633E+08	3291667	0,822	1	0,822	2,162E+08	4,649	64,524	1,094	1,138	0,689	
18	CLT 180 5s	180	30	40	40	40	30	100000	75	0	75	3,473E+08	3859259	0,775	1	0,775	2,696E+08	5,193	57,776	0,980	1,014	0,784	
19	CLT 140 5s	140	40	20	20	20	40	100000	50	0	50	2,113E+08	3019048	0,838	1	0,838	1,787E+08	4,228	70,961	1,203	1,269	0,598	
20	CLT 160 5s	160	40	30	20	30	40	100000	60	0	60	2,993E+08	3741667	0,775	1	0,775	2,344E+08	4,842	61,960	1,051	1,089	0,726	
21	CLT 180 5s	180	40	40	20	40	40	100000	70	0	70	4,033E+08	4481481	0,721	1	0,721	2,939E+08	5,421	55,336	0,938	0,972	0,815	
22	CLT 150 5s	150	40	20	30	20	40	110000	55	0	55	2,549E+08	3398889	0,838	1	0,838	2,149E+08	4,420	67,866	1,151	1,205	0,641	
23	CLT 170 5s	170	40	30	30	30	40	110000	65	0	65	3,509E+08	4128431	0,775	1	0,775	2,742E+08	4,993	60,086	1,019	1,055	0,753	
24	CLT 190 5s	190	40	40	30	40	40	110000	75	0	75	4,629E+08	4872807	0,721	1	0,721	3,368E+08	5,533	54,219	0,919	0,954	0,829	
25	CLT 160 5s	160	40	20	40	20	40	120000	60	0	60	3,040E+08	3800000	0,838	1	0,838	2,555E+08	4,614	65,020	1,103	1,148	0,681	
26	CLT 180 5s	180	40	30	40	30	40	120000	70	0	70	4,080E+08	4533333	0,775	1	0,775	3,181E+08	5,148	58,272	0,988	1,023	0,778	
27	CLT 200 5s	200	40	40	40	40	40	120000	80	0	80	5,280E+08	5280000	0,721	1	0,721	3,835E+08	5,653	53,070	0,900	0,935	0,842	

Vedlegg 12

Kapasitet bruddgrensetilstand innervegg C24

No.	Type	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)
No.	Type	σ_{cd1}	SC1	σ_{cd2}	SC2	σ_{cd3}	SC3	σ_{cd4}	SC4
1	CLT 100 5s	1,214	16,779	0,807	11,150	0,553	7,637	0,277	3,825
2	CLT 120 5s	1,214	11,769	0,807	7,820	0,553	5,356	0,277	2,683
3	CLT 140 5s	1,214	9,125	0,807	6,064	0,553	4,153	0,277	2,080
4	CLT 110 5s	1,041	13,167	0,692	8,750	0,474	5,993	0,237	3,001
5	CLT 130 5s	1,041	9,688	0,692	6,438	0,474	4,409	0,237	2,208
6	CLT 150 5s	1,041	7,741	0,692	5,144	0,474	3,523	0,237	1,765
7	CLT 120 5s	0,911	10,510	0,605	6,984	0,415	4,784	0,208	2,396
8	CLT 140 5s	0,911	8,069	0,605	5,362	0,415	3,672	0,208	1,839
9	CLT 160 5s	0,911	6,635	0,605	4,409	0,415	3,020	0,208	1,512
10	CLT 120 5s	0,911	9,367	0,605	6,224	0,415	4,263	0,208	2,135
11	CLT 140 5s	0,911	7,147	0,605	4,749	0,415	3,253	0,208	1,629
12	CLT 160 5s	0,911	5,985	0,605	3,977	0,415	2,724	0,208	1,364
13	CLT 130 5s	0,810	7,662	0,538	5,091	0,368	3,487	0,185	1,746
14	CLT 150 5s	0,810	6,080	0,538	4,040	0,368	2,767	0,185	1,386
15	CLT 170 5s	0,810	5,224	0,538	3,472	0,368	2,378	0,185	1,191
16	CLT 140 5s	0,729	6,366	0,484	4,230	0,332	2,897	0,166	1,451
17	CLT 160 5s	0,729	5,235	0,484	3,479	0,332	2,383	0,166	1,193
18	CLT 180 5s	0,729	4,608	0,484	3,062	0,332	2,097	0,166	1,050
19	CLT 140 5s	0,729	6,059	0,484	4,026	0,332	2,758	0,166	1,381
20	CLT 160 5s	0,729	4,993	0,484	3,318	0,332	2,273	0,166	1,138
21	CLT 180 5s	0,729	4,446	0,484	2,954	0,332	2,024	0,166	1,013
22	CLT 150 5s	0,662	5,132	0,440	3,410	0,301	2,336	0,151	1,170
23	CLT 170 5s	0,662	4,373	0,440	2,906	0,301	1,990	0,151	0,997
24	CLT 190 5s	0,662	3,975	0,440	2,642	0,301	1,809	0,151	0,906
25	CLT 160 5s	0,607	4,412	0,403	2,932	0,276	2,008	0,138	1,006
26	CLT 180 5s	0,607	3,874	0,403	2,575	0,276	1,763	0,138	0,883
27	CLT 200 5s	0,607	3,585	0,403	2,383	0,276	1,632	0,138	0,817

Vedlegg 13

Kapasitet bruddgrensetilstand innervegg C24/C14

		Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)	Dimensjonerende trykk med fiberretning (N/mm ²)	Utnyttelsesgrad (%)
No.	Type	σ_{cd1}	SC1	σ_{cd2}	SC2	σ_{cd3}	SC3	σ_{cd4}	SC4
1	CLT 100 5s	1,214	16,842	0,807	11,192	0,553	7,665	0,277	3,839
2	CLT 120 5s	1,214	11,796	0,807	7,839	0,553	5,369	0,277	2,689
3	CLT 140 5s	1,214	9,138	0,807	6,073	0,553	4,159	0,277	2,083
4	CLT 110 5s	1,041	13,297	0,692	8,836	0,474	6,052	0,237	3,031
5	CLT 130 5s	1,041	9,750	0,692	6,479	0,474	4,438	0,237	2,222
6	CLT 150 5s	1,041	7,772	0,692	5,165	0,474	3,538	0,237	1,772
7	CLT 120 5s	0,911	10,703	0,605	7,112	0,415	4,871	0,208	2,440
8	CLT 140 5s	0,911	8,168	0,605	5,428	0,415	3,718	0,208	1,862
9	CLT 160 5s	0,911	6,688	0,605	4,444	0,415	3,044	0,208	1,524
10	CLT 120 5s	0,911	9,385	0,605	6,236	0,415	4,271	0,208	2,139
11	CLT 140 5s	0,911	7,155	0,605	4,755	0,415	3,257	0,208	1,631
12	CLT 160 5s	0,911	5,989	0,605	3,980	0,415	2,726	0,208	1,365
13	CLT 130 5s	0,810	7,701	0,538	5,117	0,368	3,505	0,185	1,755
14	CLT 150 5s	0,810	6,099	0,538	4,053	0,368	2,776	0,185	1,390
15	CLT 170 5s	0,810	5,234	0,538	3,478	0,368	2,382	0,185	1,193
16	CLT 140 5s	0,729	6,427	0,484	4,271	0,332	2,925	0,166	1,465
17	CLT 160 5s	0,729	5,267	0,484	3,500	0,332	2,397	0,166	1,200
18	CLT 180 5s	0,729	4,624	0,484	3,073	0,332	2,104	0,166	1,054
19	CLT 140 5s	0,729	6,066	0,484	4,031	0,332	2,761	0,166	1,383
20	CLT 160 5s	0,729	4,996	0,484	3,320	0,332	2,274	0,166	1,139
21	CLT 180 5s	0,729	4,447	0,484	2,955	0,332	2,024	0,166	1,014
22	CLT 150 5s	0,662	5,147	0,440	3,420	0,301	2,342	0,151	1,173
23	CLT 170 5s	0,662	4,381	0,440	2,911	0,301	1,994	0,151	0,999
24	CLT 190 5s	0,662	3,979	0,440	2,644	0,301	1,811	0,151	0,907
25	CLT 160 5s	0,607	4,435	0,403	2,947	0,276	2,019	0,138	1,011
26	CLT 180 5s	0,607	3,886	0,403	2,582	0,276	1,769	0,138	0,886
27	CLT 200 5s	0,607	3,591	0,403	2,387	0,276	1,635	0,138	0,819

Vedlegg 14

Dimensjonering brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24

Etasjeskille C24

Karakteristiske verdier og konstanter CLT 240 7s C24

$\gamma_M := 1.15$	Materialfaktor, Norge
$\gamma_d := 1.0$	Partiellfaktor for sikkerhetsklasse 3
$k_{mod} := 0.8$	Modifikasjonsfaktor, mellomlast
$k_{sys} := 1.1$	System effekt faktor
$f_{m.k} := 24 \text{ MPa}$	Karakteristisk bøyefasthet
$f_{m.d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m.k}}{\gamma_M} = 16.696 \text{ MPa}$	Dimensjonerende bøyefasthet
$f_{v.k} := 4 \text{ MPa}$	Karakteristisk skjærfasthet
$f_{v.d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.783 \text{ MPa}$	Dimensjonerende skjærfasthet
$f_{v.Rk} := 1.1 \text{ MPa}$	Karakteristisk rulleskjærfasthet
$f_{v.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.Rk}}{\gamma_M} = 0.765 \text{ MPa}$	Dimensjonerende rulleskjærfasthet
$k_{c.90} := 1$	Lastkonfigurasjon faktor
$f_{c.90.k} := 2.5 \text{ MPa}$	Karakteristisk trykkfasthet vinkelrett på fiberretning
$f_{c.90.d} := k_{c.90} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.739 \text{ MPa}$	Dimensjonerende trykkfasthet vinkelrett på fiberretning
$k_{def} := 0.80$	Deformasjonsfaktor, Klimaklasse 1
$E_0 := 11000 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, sjikt
$E_{0k} := 7400 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, 5% fraktil
$G_{9090} := 50 \text{ MPa}$	Rulleskjær modul, på tvers av fiberretning

$$g_k := 1.7 \frac{kN}{m^2}$$

Egenlast uten lastfaktor, SLS

$$q_k := 2.0 \frac{kN}{m^2}$$

Nyttelast uten lastfaktor, SLS

$$\psi_2 := 0.3$$

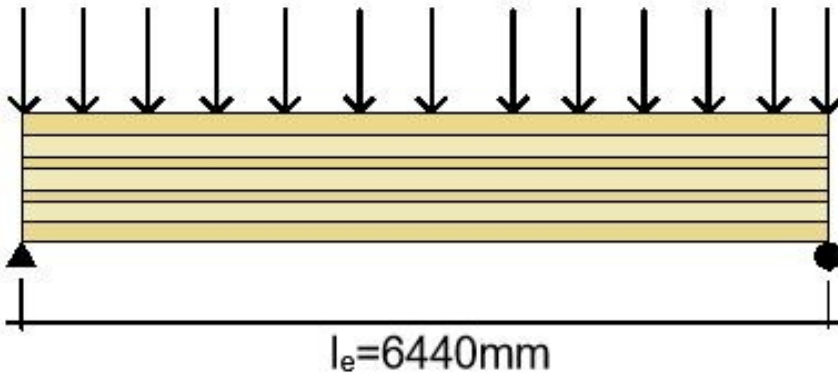
Reduksjonsfaktor, kategori A: Bolig

$$\psi_0 := 0.7$$

Reduksjonsfaktor, kategori A: Bolig

Brudd- og bruksgrensetilstand av yttervegg panel CLT 240 7s2 C24

Tverrsnittsegenskaper CLT 240 7s2 C24



Figur 1: Statisk system, egenvekt og nyttelast jevnt fordelt på etasjeskille

$$L_e := 6440 \text{ mm} \quad \text{Spennvidde}$$

$$b_x := 1000 \text{ mm} \quad \text{Enhetsbredde}$$

$$t_1 := 40 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

$$t_2 := 20 \text{ mm}$$

$$t_3 := 40 \text{ mm} \quad \text{Sjikhøyde CLT 240 7s2}$$

$$t_4 := 20 \text{ mm}$$

$$t_5 := 40 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

$$h_{CLT} := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 240 \text{ mm} \quad \text{Tverrsnittshøyde}$$

$$z_s := \frac{h_{CLT}}{2} = 120 \text{ mm}$$

Nøytralakse tverrsnitt

$$a_1 := 80 \text{ mm}$$

$$a_3 := 0 \text{ mm}$$

$$a_5 := 80 \text{ mm}$$

Avstand til nøytralaksen i tverrsnittet

$$A_{x.net} := b_x \cdot ((2 \cdot t_1) + t_3) = 200000 \text{ mm}^2 \quad \text{Areal tverrsnitt i kraftretning}$$

$$I_{x.net} := b_x \cdot \left(\frac{2 t_1^3}{12} + 2 t_1 \cdot a_1^2 + \frac{t_3^3}{12} + t_3 \cdot a_3^2 \right) = (1.115 \cdot 10^9) \text{ mm}^4 \quad \text{Netto treghetsmoment}$$

$$W_{x.net} := \frac{2 \cdot I_{x.net}}{h_{CLT}} = (9.289 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad \text{Motstandsmoment}$$

$$\gamma_1 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_0 \cdot t_1}{L_e^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090}}} = 0.923 \quad \text{Gammaverdi for sjikt 1}$$

$$\gamma_3 := 1$$

Gammaverdi for sjikt 3

$$\gamma_5 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_0 \cdot t_5}{L_e^2} \cdot \frac{t_4}{G_{9090}}} = 0.923$$

Gammaverdi for sjikt 5

$$S_{R.x.net} := b_x \cdot t_1 \cdot a_1 = (6.4 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

Statisk moment rulleskjær

$$S_{x.net} := b_x \cdot t_1 \cdot a_1 + b_x \cdot \frac{t_3^2}{4 \cdot 2} = (6.6 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

Statisk moment rulleskjær
lengderetning

$$I_{x.ef} := b_x \cdot \left(\left(\frac{2 t_1^3}{12} + 2 \gamma_1 \cdot t_1 \cdot a_1^2 \right) + \left(\frac{t_3^3}{12} \right) \right) = (1.036 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

Effektiv treghetsmoment mot bøyning

Bruddgrensetilstand

$$q_{(6.10a)} := 1.35 \cdot g_k + 1.5 \cdot \psi_0 \cdot q_k = 4.395 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastkombinasjon, STR Sett B 6.10a

$$q_{(6.10b)} := 1.2 \cdot g_k + 1.5 q_k = 5.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastkombinasjon, STR Sett B 6.10b

$$q_{brudd} := 5.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Dimensjonerende last, høyeste verdi lastkombinasjon

$$M_{Ed} := \frac{q_{brudd} \cdot L_e^2 \cdot b_x}{8} = 26.128 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dimensjonerende moment

$$\sigma_{Ed} := \frac{M_{Ed}}{W_{x.net}} = 2.813 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende bøyespenning

$$\text{kontroll} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \sigma_{Ed} \leq f_{m.d} \\ \quad \left\| \text{return "Godkjent"} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "Underkjent"} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Godkjent"}$$

Kontroll av bøyekapasitet

$$V_{Ed} := \frac{q_{brudd} \cdot L_e \cdot b_x}{2} = 16.229 \text{ kN}$$

Dimensjonerende skjærkraft

$$\tau_{Ed} := \frac{V_{Ed} \cdot S_{x.net}}{I_{x.net} \cdot b_x} = 0.096 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende skjærspenning

$$kontroll := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } \tau_{Ed} \leq f_{v.d} \\ \quad \text{return "Godkjent"} \\ \text{else} \\ \quad \text{return "Underkjent"} \end{array} \right\} = \text{"Godkjent"}$$

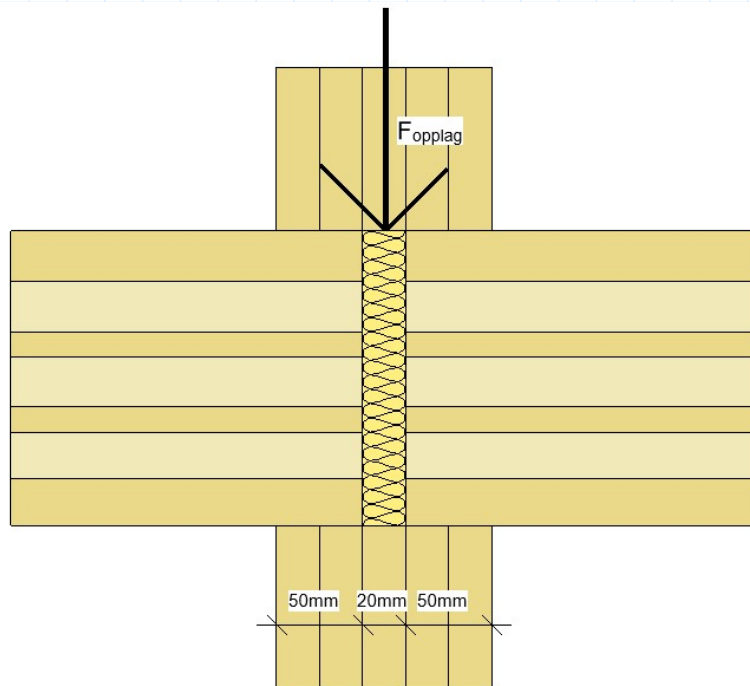
Kontroll av skjærkapasitet

$$\tau_{R.Ed} := \frac{S_{R.x.net} \cdot V_{Ed}}{I_{x.net} \cdot b_x} = 0.093 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende rulleskjær

$$kontroll := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } \tau_{R.Ed} \leq f_{v.Rd} \\ \quad \text{return "Godkjent"} \\ \text{else} \\ \quad \text{return "Underkjent"} \end{array} \right\} = \text{"Godkjent"}$$

Kontroll av rulleskjærkapasitet



Figur 2: Statisk system, vertikal last overgang vegg- og gulvelement

$$F_{opplag} := \frac{387.093}{7.84} \frac{kN}{m}$$

Opplagskraft vegg fra Sap 2000, yttervegg gir størst vertikal last

$$B_{opplag} := 100 \text{ mm}$$

Opplagsbredde, antar CLT 120 element som vegg og 20mm ekspansjon mellom etasjeskillene for lydisolasjon

$$L_{eff} := B_{opplag} + 30 \text{ mm} = 130 \text{ mm}$$

Effektiv berøringslengde i fiberretning

$$A_{ef} := L_{eff} \cdot b_x = 130000 \text{ mm}^2$$

Effektiv kontaktflate under trykk vinkelrett på fiberretning

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{F_{opplag} \cdot b_x}{A_{ef}} = 0.38 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende trykkspenning på den effektive kontaktflaten vinkelrett på fiberretningen

$$kontroll := \begin{cases} \text{if } \sigma_{c.90.d} \leq f_{c.90.d} \\ \quad \text{return "Godkjent"} \\ \text{else} \\ \quad \text{return "Underkjent"} \end{cases} = \text{"Godkjent"}$$

Kontroll av trykkspenningskapasitet vinkelrett på fiberretningen

Bruksgrensetilstand

Nedbøyning

$$\frac{L_e}{300} = 21.47 \text{ mm}$$

Maksimal tillatt nedbøyning

$$w_{gk} := \frac{5 \cdot g_k \cdot b_x \cdot L_e^4}{384 \cdot E_0 \cdot I_{x.ef}} = 3.34 \text{ mm}$$

Nedbøyning gitt egenlast, permanent

$$w_{qk} := \frac{5 \cdot q_k \cdot b_x \cdot L_e^4}{384 \cdot E_0 \cdot I_{x.ef}} = 3.93 \text{ mm}$$

Nedbøyning gitt nyttelast, korttids

$$w_{inst} := w_{gk} + w_{qk} = 7.27 \text{ mm}$$

Sum nedbøyning, korttids nyttelast

$$\text{kontroll} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } w_{inst} \leq \frac{L_e}{300} \\ \quad \left\| \text{return "Godkjent"} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "Underkjent"} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Godkjent"}$$

Kontroll av nedbøyning mot maksimal tillatt nedbøyning, korttidslast

$$w_{fin.g} := w_{gk} \cdot (1 + k_{def}) = 6.02 \text{ mm}$$

Nedbøyning gitt egenlast, permanent med kryp

$$w_{fin.q} := w_{qk} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) = 4.88 \text{ mm}$$

Nedbøyning gitt nyttelast, langtids med kryp

$$w_{fin} := w_{fin.g} + w_{fin.q} = 10.89 \text{ mm}$$

Sum nedbøyning, langtidslast

$$\text{kontroll} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } w_{fin} \leq \frac{L_e}{300} \\ \quad \left\| \text{return "Godkjent"} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "Underkjent"} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Godkjent"}$$

Kontroll av nedbøyning mot maksimal tillatt nedbøyning, langtidslast

Vedlegg 15

Dimensjonering brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24/C14

Etasjeskille C24/C14

Karakteristiske verdier og konstanter CLT 240 7s C24/C14

$\gamma_M := 1.15$	Materialfaktor, Norge
$\gamma_d := 1.0$	Partiellfaktor for sikkerhetsklasse 3
$k_{mod} := 0.8$	Modifikasjonsfaktor, mellomlast
$k_{sys} := 1.1$	System effekt faktor
$f_{m.k} := 24 \text{ MPa}$	Karakteristisk bøyefasthet
$f_{m.d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m.k}}{\gamma_M} = 16.696 \text{ MPa}$	Dimensjonerende bøyefasthet
$f_{v.k} := 4 \text{ MPa}$	Karakteristisk skjærfasthet
$f_{v.d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.783 \text{ MPa}$	Dimensjonerende skjærfasthet
$f_{v.Rk} := 1.1 \text{ MPa}$	Karakteristisk rulleskjærfasthet
$f_{v.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.Rk}}{\gamma_M} = 0.765 \text{ MPa}$	Dimensjonerende rulleskjærfasthet
$k_{c.90} := 1$	Lastkonfigurasjon faktor
$f_{c.90.k} := 2.5 \text{ MPa}$	Karakteristisk trykkfasthet vinkelrett på fiberretning
$f_{c.90.d} := k_{c.90} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.739 \text{ MPa}$	Dimensjonerende trykkfasthet vinkelrett på fiberretning
$k_{def} := 0.80$	Deformasjonsfaktor, Klimaklasse 1
$E_{0C24} := 11000 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, C24
$E_{0C14} := 7000 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, C14
$E_{0k} := 7400 \text{ MPa}$	E-modul fiberretning, 5% fraktil
$G_{9090} := 50 \text{ MPa}$	Rulleskjær modul, på tvers av fiberretning

$$g_k := 1.7 \frac{kN}{m^2}$$

Egenlast uten lastfaktor, SLS

$$q_k := 2.0 \frac{kN}{m^2}$$

Nyttelast uten lastfaktor, SLS

$$\psi_2 := 0.3$$

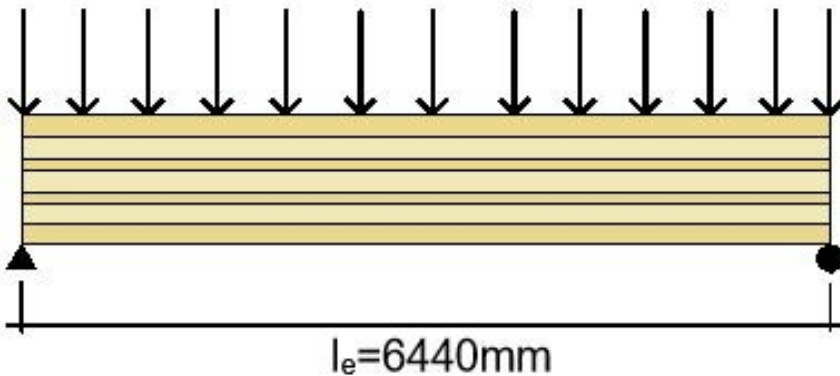
Reduksjonsfaktor, kategori A: Bolig

$$\psi_0 := 0.7$$

Reduksjonsfaktor, kategori A: Bolig

Brudd- og bruksgrensetilstand av yttervegg panel CLT 240 7s2 C24/C14

Tverrsnittsegenskaper CLT 240 7s2 C24/C14



Figur 1: Statisk system, egenvekt og nyttelast jevnt fordelt på etasjeskille

$$L_e := 6440 \text{ mm} \quad \text{Spennvidde}$$

$$b_x := 1000 \text{ mm} \quad \text{Enhetsbredde}$$

$$t_1 := 40 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 80 \text{ mm} \quad \text{C24}$$

$$t_2 := 20 \text{ mm} \quad \text{C14}$$

$$t_3 := 40 \text{ mm} \quad \text{C14}$$

$$t_4 := 20 \text{ mm} \quad \text{C14}$$

$$t_5 := 40 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 80 \text{ mm} \quad \text{C24}$$

Sjikhøyde CLT 240 7s2,
fasthetsklasse per
lamellsjikt

$$h_{CLT} := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 240 \text{ mm}$$

Tverrsnittshøyde

$$z_s := \frac{h_{CLT}}{2} = 120 \text{ mm}$$

Nøytralakse tverrsnitt

$$a_1 := 80 \text{ mm}$$

$$a_3 := 0 \text{ mm}$$

$$a_5 := 80 \text{ mm}$$

Avstand til nøytralaksen i
tverrsnittet

$$A_{x.net} := b_x \cdot ((2 \cdot t_1) + t_3) = 200000 \text{ mm}^2$$

Areal tverrsnitt i kraftretning

$$I_{x.net} := b_x \cdot \left(\frac{2 t_1^3}{12} + 2 t_1 \cdot a_1^2 + \frac{t_3^3}{12} + t_3 \cdot a_3^2 \right) = (1.115 \cdot 10^9) \text{ mm}^4 \quad \text{Netto treghetsmoment}$$

$$W_{x.net} := \frac{2 \cdot I_{x.net}}{h_{CLT}} = (9.289 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

Motstandsmoment

$$\gamma_1 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{0C24} \cdot t_1}{L_e^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090}}} = 0.923$$

Gammaverdi for sjikt 1

$$\gamma_3 := 1$$

Gammaverdi for sjikt 3

$$\gamma_1 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{0C24} \cdot t_1}{L_e^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090}}} = 0.923$$

Gammaverdi for sjikt 5

$$S_{R.x.net} := b_x \cdot t_1 \cdot a_1 = (6.4 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

Statisk moment rulleskjær

$$S_{x.net} := b_x \cdot t_1 \cdot a_1 + b_x \cdot \frac{t_3^2}{4 \cdot 2} = (6.6 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

Statisk skjærmoment i lengderetning

$$I_{x.ef} := b_x \cdot \left(\left(\frac{2 \cdot t_1^3}{12} + 2 \gamma_1 \cdot t_1 \cdot a_1^2 \right) + \frac{E_{0C14}}{E_{0C24}} \cdot \frac{t_3^3}{12} \right) = (1.034 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

Effektiv treghetsmoment mot bøyning

Bruddgrensetilstand

$$q_{(6.10a)} := 1.35 \cdot g_k + 1.5 \cdot \psi_0 \cdot q_k = 4.395 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastkombinasjon, STR Sett B 6.10a

$$q_{(6.10b)} := 1.2 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_k = 5.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastkombinasjon, STR Sett B 6.10b

$$q_{brudd} := 5.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Dimensjonerende last, høyeste verdi lastkombinasjon

$$M_{Ed} := \frac{q_{brudd} \cdot L_e^2 \cdot b_x}{8} = 26.128 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dimensjonerende moment

$$\sigma_{Ed} := \frac{M_{Ed}}{W_{x.net}} = 2.813 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende bøyespenning

$$\text{kontroll} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \sigma_{Ed} \leq f_{m.d} \\ \quad \left\| \text{return "Godkjent"} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "Underkjent"} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Godkjent"}$$

Kontroll av bøyekapasitet

$$V_{Ed} := \frac{q_{brudd} \cdot L_e \cdot b_x}{2} = 16.229 \text{ kN}$$

Dimensjonerende skjærkraft

$$\tau_{Ed} := \frac{V_{Ed} \cdot S_{x.net}}{I_{x.net} \cdot b_x} = 0.096 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende skjærspenning

$$\text{kontroll} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \tau_{Ed} \leq f_{v.d} \\ \quad \left\| \text{return "Godkjent"} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "Underkjent"} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Godkjent"}$$

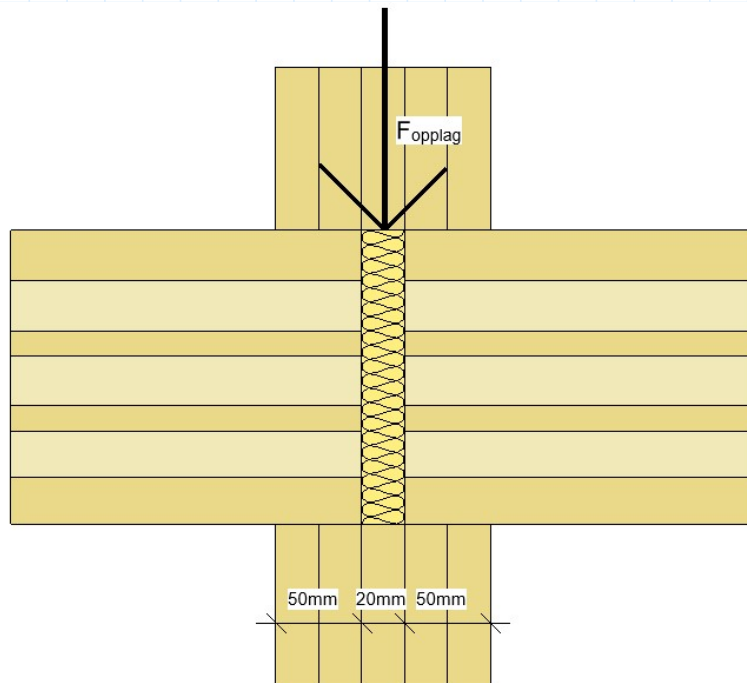
Kontroll av skjærkapasitet

$$\tau_{R.Ed} := \frac{S_{R.x.net} \cdot V_{Ed}}{I_{x.net} \cdot b_x} = 0.093 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende rulleskjær

$$\text{kontroll} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \tau_{R.Ed} \leq f_{v.Rd} \\ \quad \left\| \text{return "Godkjent"} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "Underkjent"} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Godkjent"}$$

Kontroll av
rulleskjærkapasitet



Figur 2: Statisk system, vertikal last overgang vegg- og gulvelement

$$F_{opplag} := \frac{387.093}{7.84} \frac{kN}{m}$$

Opplagskraft vegg, høyest verdi fra yttervegg

$$B_{opplag} := 100 \text{ mm}$$

Opplagsbredde, antar CLT 120 element som vegg og 20mm ekspansjon mellom etasjeskillene for lydisolasjon

$$L_{eff} := B_{opplag} + 30 \text{ mm} = 130 \text{ mm}$$

Effektiv berøringslengde i fiberretning

$$A_{ef} := L_{eff} \cdot b_x = 130000 \text{ mm}^2$$

Effektiv kontaktflate under trykk vinkelrett på fiberretning

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{F_{opplag} \cdot b_x}{A_{ef}} = 0.38 \text{ MPa}$$

Dimensjonerende trykkspenning på den effektive kontaktflaten vinkelrett på fiberretningen

$$kontroll := \begin{cases} \text{if } \sigma_{c.90.d} \leq f_{c.90.d} \\ \quad \text{return "Godkjent"} \\ \text{else} \\ \quad \text{return "Underkjent"} \end{cases} = \text{"Godkjent"}$$

Kontroll av trykkspenningskapasitet vinkelrett på fiberretningen

Bruksgrensetilstand

Nedbøyning

$$\frac{L_e}{300} = 21.47 \text{ mm}$$

Maksimal tillatt nedbøyning

$$w_{gk} := \frac{5 \cdot g_k \cdot b_x \cdot L_e^4}{384 \cdot E_{0C24} \cdot I_{x.ef}} = 3.35 \text{ mm}$$

Nedbøyning gitt egenlast, permanent

$$w_{qk} := \frac{5 \cdot q_k \cdot b_x \cdot L_e^4}{384 \cdot E_{0C24} \cdot I_{x.ef}} = 3.94 \text{ mm}$$

Nedbøyning gitt nyttelast, korttids

$$w_{inst} := w_{gk} + w_{qk} = 7.29 \text{ mm}$$

Sum nedbøyning, korttids nyttelast

$$\text{kontroll} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } w_{inst} \leq \frac{L_e}{300} \\ \quad \left\| \text{return "Godkjent"} \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "Underkjent"} \right. \end{array} \right\| = \text{"Godkjent"} \quad \begin{array}{l} \text{Kontroll av nedbøyning} \\ \text{mot maksimal tillatt} \\ \text{nedbøyning, korttidslast} \end{array}$$

$$w_{fin.g} := w_{gk} \cdot (1 + k_{def}) = 6.03 \text{ mm}$$

Nedbøyning gitt egenlast, permanent med kryp

$$w_{fin.q} := w_{qk} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) = 4.89 \text{ mm}$$

Nedbøyning gitt nyttelast, langtids med kryp

$$w_{fin} := w_{fin.g} + w_{fin.q} = 10.91 \text{ mm}$$

Sum nedbøyning, langtidslast

$$\text{kontroll} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } w_{fin} \leq \frac{L_e}{300} \\ \quad \left\| \text{return "Godkjent"} \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "Underkjent"} \right. \end{array} \right\| = \text{"Godkjent"} \quad \begin{array}{l} \text{Kontroll av nedbøyning mot} \\ \text{maksimal tillatt nedbøyning,} \\ \text{langtidslast} \end{array}$$

Vedlegg 16

Egenskaper brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24

No.	Type	Tversnitshøyde (mm)	Tykkelse per sjikt (mm)					Netto Areal tversnitt (mm ²)	Avstand fra sjikt t_1 t_3 t_5 til nøytralakse (mm ²)			Netto treghetsmoment (mm ⁴)	Motstandsmoment (mm ³)	Gammaverdi for sjikt t_1 t_3 t_5			Statisk moment rulleskjær (mm ³)	Statisk skjærmoment i lengderetning (mm ³)	Effektiv treghetsmoment mot bøyning (cm ⁴)
			t_1	t_2	t_3	t_4	t_5		a_1	a_3	a_5			γ_1	γ_3	γ_5			
1	CLT 180 L7s2	180	60	20	20	20	60	140000	60	0	60	4,687E+08	5,207E+06	0,941	1	0,941	3,600E+06	3,650E+06	4,431E+08
2	CLT 190 L7s2	190	60	20	30	20	60	150000	65	0	65	5,453E+08	5,739E+06	0,941	1	0,941	3,900E+06	4,013E+06	5,153E+08
3	CLT 200 L7s2	200	60	30	20	30	60	140000	70	0	70	6,247E+08	6,247E+06	0,914	1	0,914	4,200E+06	4,250E+06	5,740E+08
4	CLT 210 L7s2	210	60	30	30	30	60	150000	75	0	75	7,133E+08	6,793E+06	0,914	1	0,914	4,500E+06	4,613E+06	6,551E+08
5	CLT 220 L7s2	220	80	20	20	20	80	180000	70	0	70	8,700E+08	7,909E+06	0,923	1	0,923	5,600E+06	5,650E+06	8,094E+08
6	CLT 230 L7s2	230	60	40	30	40	60	150000	85	0	85	9,053E+08	7,872E+06	0,888	1	0,888	5,100E+06	5,213E+06	8,085E+08
7	CLT 240 L7s2	240	80	20	40	20	80	200000	80	0	80	1,115E+09	9,289E+06	0,923	1	0,923	6,400E+06	6,600E+06	1,036E+09
8	CLT 250 L7s2	250	80	30	30	30	80	190000	85	0	85	1,244E+09	9,949E+06	0,888	1	0,888	6,800E+06	6,913E+06	1,115E+09
9	CLT 260 L7s2	260	80	30	40	30	80	200000	90	0	90	1,387E+09	1,067E+07	0,888	1	0,888	7,200E+06	7,400E+06	1,242E+09
10	CLT 270 L7s2	270	80	40	30	40	80	190000	95	0	95	1,532E+09	1,135E+07	0,857	1	0,857	7,600E+06	7,713E+06	1,324E+09
11	CLT 280 L7s2	280	80	40	40	40	80	200000	100	0	100	1,691E+09	1,208E+07	0,857	1	0,857	8,000E+06	8,200E+06	1,461E+09

12	CLT 200 L5s	200	40	40	40	40	40	120000	80	0	80	5,280E+08	5,280E+06	0,923	1	0,923	3,200E+06	3,400E+06	4,884E+08
13	CLT 190 L5s	190	40	40	30	40	40	110000	75	0	75	4,629E+08	4,873E+06	0,923	1	0,923	3,000E+06	3,113E+06	4,281E+08
14	CLT 180 L5s	180	40	30	40	30	40	120000	70	0	70	4,080E+08	4,533E+06	0,941	1	0,941	2,800E+06	3,000E+06	3,848E+08
15	CLT 170 L5s	170	40	30	30	30	40	110000	65	0	65	3,509E+08	4,128E+06	0,941	1	0,941	2,600E+06	2,713E+06	3,309E+08
16	CLT 160 L5s	160	40	20	40	20	40	120000	60	0	60	3,040E+08	3,800E+06	0,960	1	0,960	2,400E+06	2,600E+06	2,924E+08
17	CLT 150 L5s	150	30	30	30	30	30	90000	60	0	60	2,228E+08	2,970E+06	0,955	1	0,955	1,800E+06	1,913E+06	2,130E+08

Vedlegg 17

Egenskaper brudd- og bruksgrensetilstand etasjeskille C24/C14

No.	Type	Tversnitshøyde (mm)	Tykkelse per sjikt (mm)					Netto Areal tversnitt (mm ²)	Avstand fra sjikt t_1 t_3 t_5 til nøytralakse (mm ²)			Netto treghetsmoment (mm ⁴)	Motstandsmoment (mm ³)	Gammaverdi for sjikt t_1 t_3 t_5			Statisk moment rulleskjær (mm ³)	Statisk skjærmoment i lengderetning (mm ³)	Effektiv treghetsmoment mot bøying (cm ⁴)
			t_1	t_2	t_3	t_4	t_5		a_1	a_3	a_5			γ_1	γ_3	γ_5			
1	CLT 180 L7s2	180	60	20	20	20	60	140000	60	0	60	4,687E+08	5,207E+06	0,941	1	0,941	3,600E+06	3,650E+06	4,429E+08
2	CLT 190 L7s2	190	60	20	30	20	60	150000	65	0	65	5,453E+08	5,739E+06	0,941	1	0,941	3,900E+06	4,013E+06	5,145E+08
3	CLT 200 L7s2	200	60	30	20	30	60	140000	70	0	70	6,247E+08	6,247E+06	0,914	1	0,914	4,200E+06	4,250E+06	5,738E+08
4	CLT 210 L7s2	210	60	30	30	30	60	150000	75	0	75	7,133E+08	6,793E+06	0,914	1	0,914	4,500E+06	4,613E+06	6,543E+08
5	CLT 220 L7s2	220	80	20	20	20	80	180000	70	0	70	8,700E+08	7,909E+06	0,923	1	0,923	5,600E+06	5,650E+06	8,092E+08
6	CLT 230 L7s2	230	60	40	30	40	60	150000	85	0	85	9,053E+08	7,872E+06	0,888	1	0,888	5,100E+06	5,213E+06	8,077E+08
7	CLT 240 L7s2	240	80	20	40	20	80	200000	80	0	80	1,115E+09	9,289E+06	0,923	1	0,923	6,400E+06	6,600E+06	1,034E+09
8	CLT 250 L7s2	250	80	30	30	30	80	190000	85	0	85	1,244E+09	9,949E+06	0,888	1	0,888	6,800E+06	6,913E+06	1,114E+09
9	CLT 260 L7s2	260	80	30	40	30	80	200000	90	0	90	1,387E+09	1,067E+07	0,888	1	0,888	7,200E+06	7,400E+06	1,240E+09
10	CLT 270 L7s2	270	80	40	30	40	80	190000	95	0	95	1,532E+09	1,135E+07	0,857	1	0,857	7,600E+06	7,713E+06	1,324E+09
11	CLT 280 L7s2	280	80	40	40	40	80	200000	100	0	100	1,691E+09	1,208E+07	0,857	1	0,857	8,000E+06	8,200E+06	1,459E+09

12	CLT 200 L5s	200	40	40	40	40	40	120000	80	0	80	5,280E+08	5,280E+06	0,923	1	0,923	3,200E+06	3,400E+06	4,865E+08
13	CLT 190 L5s	190	40	40	30	40	40	110000	75	0	75	4,629E+08	4,873E+06	0,923	1	0,923	3,000E+06	3,113E+06	4,273E+08
14	CLT 180 L5s	180	40	30	40	30	40	120000	70	0	70	4,080E+08	4,533E+06	0,941	1	0,941	2,800E+06	3,000E+06	3,829E+08
15	CLT 170 L5s	170	40	30	30	30	40	110000	65	0	65	3,509E+08	4,128E+06	0,941	1	0,941	2,600E+06	2,713E+06	3,301E+08
16	CLT 160 L5s	160	40	20	40	20	40	120000	60	0	60	3,040E+08	3,800E+06	0,960	1	0,960	2,400E+06	2,600E+06	2,905E+08
17	CLT 150 L5s	150	30	30	30	30	30	90000	60	0	60	2,228E+08	2,970E+06	0,955	1	0,955	1,800E+06	1,913E+06	2,122E+08

Vedlegg 18

Kapasitet bruddgrensetilstand etasjeskille C24

		Dimensjonerende bøyespennning (N/mm ²)	Kontroll av bøyekapasitet ($f_{m,dC24}$)	Dimensjonerende skjærspennning (N/mm ²)	Kontroll av skjærkapasitet ($f_{v,dC24}$)	Dimensjonerende rulleskjær (N/mm ²)	Kontroll av rulleskjærkapasitet ($f_{v,RdC24}$)	Dimensjonerende trykkspenning på den effektive kontakflaten vinkelrett på fiberretningen (N/mm ²)	Kontroll av trykkspenningskapasitet vinkelrett på fiberretningen ($f_{c,90,d}$)
No.	Type	σ_{Ed}	$\sigma_{Ed} \leq f_{m,d}$	τ_{Ed}	$\tau_{Ed} \leq f_{v,d}$	$\tau_{R,Ed}$	$\tau_{R,Ed} \leq f_{v,Rd}$	$\sigma_{c,90,d}$	$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d}$
1	CLT 180 L7s2	5,017	GODKJENT	0,126	GODKJENT	0,125	GODKJENT	0,38	GODKJENT
2	CLT 190 L7s2	4,552	GODKJENT	0,119	GODKJENT	0,116	GODKJENT	0,38	GODKJENT
3	CLT 200 L7s2	4,183	GODKJENT	0,110	GODKJENT	0,109	GODKJENT	0,38	GODKJENT
4	CLT 210 L7s2	3,846	GODKJENT	0,105	GODKJENT	0,102	GODKJENT	0,38	GODKJENT
5	CLT 220 L7s2	3,304	GODKJENT	0,105	GODKJENT	0,104	GODKJENT	0,38	GODKJENT
6	CLT 230 L7s2	3,319	GODKJENT	0,093	GODKJENT	0,091	GODKJENT	0,38	GODKJENT
7	CLT 240 L7s2	2,813	GODKJENT	0,096	GODKJENT	0,093	GODKJENT	0,38	GODKJENT
8	CLT 250 L7s2	2,626	GODKJENT	0,090	GODKJENT	0,089	GODKJENT	0,38	GODKJENT
9	CLT 260 L7s2	2,450	GODKJENT	0,087	GODKJENT	0,084	GODKJENT	0,38	GODKJENT
10	CLT 270 L7s2	2,303	GODKJENT	0,082	GODKJENT	0,081	GODKJENT	0,38	GODKJENT
11	CLT 280 L7s2	2,164	GODKJENT	0,079	GODKJENT	0,077	GODKJENT	0,38	GODKJENT

12	CLT 200 L5s	4,948	GODKJENT	0,105	GODKJENT	0,098	GODKJENT	0,38	GODKJENT
13	CLT 190 L5s	5,362	GODKJENT	0,109	GODKJENT	0,105	GODKJENT	0,38	GODKJENT
14	CLT 180 L5s	5,764	GODKJENT	0,119	GODKJENT	0,111	GODKJENT	0,38	GODKJENT
15	CLT 170 L5s	6,329	GODKJENT	0,125	GODKJENT	0,120	GODKJENT	0,38	GODKJENT
16	CLT 160 L5s	6,876	GODKJENT	0,139	GODKJENT	0,128	GODKJENT	0,38	GODKJENT
17	CLT 150 L5s	8,797	GODKJENT	0,139	GODKJENT	0,131	GODKJENT	0,38	GODKJENT

Vedlegg 19

Kapasitet bruddgrensetilstand etasjeskille C24/C14

		Dimensjonerende bøyespennning (N/mm ²)	Kontroll av bøyekapasitet ($f_{m,dC24}$)	Dimensjonerende skjærspennning (N/mm ²)	Kontroll av skjærkapasitet ($f_{v,dC24}$)	Dimensjonerende rulleskjær (N/mm ²)	Kontroll av rulleskjærkapasitet ($F_{v,RdC24}$)	Dimensjonerende trykkspenning på den effektive kontaktflaten vinkelrett på fiberretningen (N/mm ²)	Kontroll av trykkspenningskapasitet vinkelrett på fiberretningen ($f_{c,90,d}$)
No.	Type	σ_{Ed}	$\sigma_{Ed} \leq f_{m,d}$	τ_{Ed}	$\tau_{Ed} \leq f_{v,d}$	$\tau_{R,Ed}$	$\tau_{R,Ed} \leq F_{v,Rd}$	$\sigma_{c,90,d}$	$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d}$
1	CLT 180 L7s2	5,017	GODKJENT	0,126	GODKJENT	0,125	GODKJENT	0,38	GODKJENT
2	CLT 190 L7s2	4,552	GODKJENT	0,119	GODKJENT	0,116	GODKJENT	0,38	GODKJENT
3	CLT 200 L7s2	4,183	GODKJENT	0,110	GODKJENT	0,109	GODKJENT	0,38	GODKJENT
4	CLT 210 L7s2	3,846	GODKJENT	0,105	GODKJENT	0,102	GODKJENT	0,38	GODKJENT
5	CLT 220 L7s2	3,304	GODKJENT	0,105	GODKJENT	0,104	GODKJENT	0,38	GODKJENT
6	CLT 230 L7s2	3,319	GODKJENT	0,093	GODKJENT	0,091	GODKJENT	0,38	GODKJENT
7	CLT 240 L7s2	2,813	GODKJENT	0,096	GODKJENT	0,093	GODKJENT	0,38	GODKJENT
8	CLT 250 L7s2	2,626	GODKJENT	0,090	GODKJENT	0,089	GODKJENT	0,38	GODKJENT
9	CLT 260 L7s2	2,450	GODKJENT	0,087	GODKJENT	0,084	GODKJENT	0,38	GODKJENT
10	CLT 270 L7s2	2,303	GODKJENT	0,082	GODKJENT	0,081	GODKJENT	0,38	GODKJENT
11	CLT 280 L7s2	2,164	GODKJENT	0,079	GODKJENT	0,077	GODKJENT	0,38	GODKJENT

12	CLT 200 L5s	4,948	GODKJENT	0,105	GODKJENT	0,098	GODKJENT	0,38	GODKJENT
13	CLT 190 L5s	5,362	GODKJENT	0,109	GODKJENT	0,105	GODKJENT	0,38	GODKJENT
14	CLT 180 L5s	5,764	GODKJENT	0,119	GODKJENT	0,111	GODKJENT	0,38	GODKJENT
15	CLT 170 L5s	6,329	GODKJENT	0,125	GODKJENT	0,120	GODKJENT	0,38	GODKJENT
16	CLT 160 L5s	6,876	GODKJENT	0,139	GODKJENT	0,128	GODKJENT	0,38	GODKJENT
17	CLT 150 L5s	8,797	GODKJENT	0,139	GODKJENT	0,131	GODKJENT	0,38	GODKJENT

Vedlegg 20

Nedbøyning bruksgrensetilstand etasjeskille C24

		Egenlast uten lastfaktor (kN/m ²)	Nedbøyning gitt egenlast, permanent (mm)	Sum nedbøyning gitt nytelast, korttids (mm)	Nedbøyning gitt nytelast, korttids (mm)	Kontroll av nedbøyning mot maksimal tillatt nedbøyning, korttidslast	Nedbøyning gitt egenlast, permanent med kryp (mm)	Nedbøyning gitt nytelast, langtids med kryp (mm)	Sum nedbøyning, langtidslast (mm)	Kontroll av nedbøyning mot maksimal tillatt nedbøyning, langtidslast
No.	Type	g_k	w_{gk}	w_{qk}	w_{inst}	$w_{inst} \leq L_e/300$	$w_{fin,g}$	$w_{fin,q}$	w_{fin}	$w_{fin} \leq L_e/300$
1	CLT 180 L7s2	1,491	6,851	9,189	16,041	GODKJENT	12,332	11,395	23,727	UNDERKJENT
2	CLT 190 L7s2	1,525	6,028	7,903	13,930	GODKJENT	10,850	9,799	20,649	GODKJENT
3	CLT 200 L7s2	1,560	5,533	7,094	12,626	GODKJENT	9,959	8,796	18,755	GODKJENT
4	CLT 210 L7s2	1,594	4,954	6,216	11,170	GODKJENT	8,918	7,708	16,626	GODKJENT
5	CLT 220 L7s2	1,628	4,096	5,031	9,127	GODKJENT	7,374	6,238	13,612	GODKJENT
6	CLT 230 L7s2	1,663	4,188	5,037	9,224	GODKJENT	7,538	6,246	13,783	GODKJENT
7	CLT 240 L7s2	1,697	3,337	3,932	7,269	GODKJENT	6,006	4,876	10,883	GODKJENT
8	CLT 250 L7s2	1,731	3,163	3,654	6,817	GODKJENT	5,693	4,530	10,224	GODKJENT
9	CLT 260 L7s2	1,766	2,895	3,279	6,173	GODKJENT	5,211	4,066	9,276	GODKJENT
10	CLT 270 L7s2	1,800	2,767	3,075	5,842	GODKJENT	4,981	3,813	8,794	GODKJENT
11	CLT 280 L7s2	1,834	2,556	2,787	5,343	GODKJENT	4,602	3,456	8,057	GODKJENT

12	CLT 200 L5s	1,560	6,502	8,337	14,839	GODKJENT	11,704	10,338	22,042	UNDERKJENT
13	CLT 190 L5s	1,525	7,255	9,511	16,766	GODKJENT	13,058	11,794	24,852	UNDERKJENT
14	CLT 180 L5s	1,491	7,889	10,582	18,471	GODKJENT	14,201	13,121	27,322	UNDERKJENT
15	CLT 170 L5s	1,457	8,963	12,305	21,268	GODKJENT	16,133	15,258	31,391	UNDERKJENT
16	CLT 160 L5s	1,422	9,904	13,925	23,830	UNDERKJENT	17,827	17,268	35,095	UNDERKJENT
17	CLT 150 L5s	1,388	13,267	19,115	32,382	UNDERKJENT	23,881	23,703	47,583	UNDERKJENT

Vedlegg 21

Nedbøyning bruksgrensetilstand etasjeskille C24/C14

		Nedbøyning gitt egenlast, permanent (mm)	Nedbøyning gitt nyttelest, korttids (mm)	Sum nedbøyning gitt nyttelest, korttids (mm)	Kontroll av nedbøyning mot maksimal tillatt nedbøyning, korttidslast	Nedbøyning gitt egenlast, permanent med kryp (mm)	Nedbøyning gitt nyttelest, langtids med kryp (mm)	Sum nedbøyning, langtidslast (mm)	Kontroll av nedbøyning mot maksimal tillatt nedbøyning, langtidslast
No.	Type	w_{gk}	w_{qk}	w_{inst}	$w_{inst} \leq L_e / 300$	$w_{fin,g}$	$w_{fin,q}$	w_{fin}	$w_{fin} \leq L_e / 300$
1	CLT 180 L7s2	6,86	9,19	16,05	GODKJENT	12,34	11,40	23,74	UNDERKJENT
2	CLT 190 L7s2	6,04	7,92	13,95	GODKJENT	10,87	9,81	20,68	GODKJENT
3	CLT 200 L7s2	5,53	7,10	12,63	GODKJENT	9,96	8,80	18,76	GODKJENT
4	CLT 210 L7s2	4,96	6,22	11,18	GODKJENT	8,93	7,72	16,65	GODKJENT
5	CLT 220 L7s2	4,10	5,03	9,13	GODKJENT	7,38	6,24	13,62	GODKJENT
6	CLT 230 L7s2	4,19	5,04	9,23	GODKJENT	7,55	6,25	13,80	GODKJENT
7	CLT 240 L7s2	3,34	3,94	7,28	GODKJENT	6,02	4,89	10,90	GODKJENT
8	CLT 250 L7s2	3,17	3,66	6,82	GODKJENT	5,70	4,53	10,23	GODKJENT
9	CLT 260 L7s2	2,90	3,28	6,18	GODKJENT	5,22	4,07	9,29	GODKJENT
10	CLT 270 L7s2	2,77	3,08	5,85	GODKJENT	4,98	3,82	8,80	GODKJENT
11	CLT 280 L7s2	2,56	2,79	5,35	GODKJENT	4,61	3,46	8,07	GODKJENT

12	CLT 200 L5s	6,53	8,37	14,90	GODKJENT	11,75	10,38	22,13	UNDERKJENT
13	CLT 190 L5s	7,27	9,53	16,80	GODKJENT	13,08	11,82	24,90	UNDERKJENT
14	CLT 180 L5s	7,93	10,64	18,56	GODKJENT	14,27	13,19	27,46	UNDERKJENT
15	CLT 170 L5s	8,98	12,34	21,32	GODKJENT	16,17	15,30	31,47	UNDERKJENT
16	CLT 160 L5s	9,97	14,02	23,99	UNDERKJENT	17,95	17,38	35,33	UNDERKJENT
17	CLT 150 L5s	13,32	19,19	32,51	UNDERKJENT	23,97	23,79	47,77	UNDERKJENT

Vedlegg 22

Sammenligning utnyttelsesgrad yttervegg

		SC1		SC2		SC3		SC4	
		Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)
No.	Type	C24	C24/C14	C24	C24/C14	C24	C24/C14	C24	C24/C14
1	CLT 100 5s	16,087	16,130	14,257	14,293	11,498	11,523	8,226	8,239
2	CLT 120 5s	11,638	11,657	10,354	10,370	8,419	8,430	6,124	6,129
3	CLT 140 5s	9,170	9,178	8,174	8,181	6,673	6,679	4,894	4,896
4	CLT 110 5s	12,972	13,060	11,535	11,609	9,370	9,423	6,802	6,829
5	CLT 130 5s	9,814	9,856	8,757	8,792	7,164	7,189	5,275	5,288
6	CLT 150 5s	7,952	7,973	7,107	7,125	5,835	5,847	4,325	4,331
7	CLT 120 5s	10,625	10,756	9,478	9,588	7,750	7,828	5,700	5,741
8	CLT 140 5s	8,361	8,428	7,480	7,537	6,154	6,194	4,580	4,601
9	CLT 160 5s	6,955	6,990	6,231	6,261	5,140	5,161	3,845	3,856
10	CLT 120 5s	9,297	9,309	8,275	8,285	6,735	6,742	4,908	4,912
11	CLT 140 5s	7,178	7,184	6,399	6,403	5,223	5,227	3,830	3,831
12	CLT 160 5s	5,981	5,984	5,328	5,331	4,344	4,346	3,177	3,178
13	CLT 130 5s	7,774	7,801	6,938	6,961	5,678	5,694	4,184	4,192
14	CLT 150 5s	6,217	6,230	5,553	5,564	4,554	4,562	3,368	3,372
15	CLT 170 5s	5,300	5,307	4,730	4,736	3,871	3,875	2,852	2,854
16	CLT 140 5s	6,592	6,633	5,897	5,932	4,851	4,875	3,609	3,622
17	CLT 160 5s	5,439	5,461	4,868	4,886	4,007	4,020	2,986	2,993
18	CLT 180 5s	4,736	4,747	4,233	4,242	3,476	3,482	2,577	2,580
19	CLT 140 5s	6,169	6,173	5,507	5,511	4,511	4,514	3,330	3,331
20	CLT 160 5s	5,048	5,050	4,503	4,505	3,682	3,683	2,708	2,709
21	CLT 180 5s	4,402	4,403	3,917	3,918	3,186	3,187	2,319	2,319
22	CLT 150 5s	5,310	5,320	4,750	4,758	3,906	3,912	2,905	2,908
23	CLT 170 5s	4,472	4,477	3,995	3,999	3,276	3,279	2,423	2,424
24	CLT 190 5s	3,972	3,974	3,538	3,540	2,884	2,886	2,109	2,110
25	CLT 160 5s	4,629	4,644	4,147	4,160	3,422	3,431	2,561	2,566
26	CLT 180 5s	3,999	4,007	3,576	3,583	2,939	2,944	2,184	2,186
27	CLT 200 5s	3,609	3,613	3,218	3,221	2,628	2,631	1,929	1,930

Vedlegg 23

Sammenligning utnyttelsesgrad innervegg

		SC1		SC2		SC3		SC4	
		Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)	Utnyttelsesgrad (%)
No.	Type	C24	C24/C14	C24	C24/C14	C24	C24/C14	C24	C24/C14
1	CLT 100 5s	16,779	16,842	11,150	11,192	7,637	7,665	3,825	3,839
2	CLT 120 5s	11,769	11,796	7,820	7,839	5,356	5,369	2,683	2,689
3	CLT 140 5s	9,125	9,138	6,064	6,073	4,153	4,159	2,080	2,083
4	CLT 110 5s	13,167	13,297	8,750	8,836	5,993	6,052	3,001	3,031
5	CLT 130 5s	9,688	9,750	6,438	6,479	4,409	4,438	2,208	2,222
6	CLT 150 5s	7,741	7,772	5,144	5,165	3,523	3,538	1,765	1,772
7	CLT 120 5s	10,510	10,703	6,984	7,112	4,784	4,871	2,396	2,440
8	CLT 140 5s	8,069	8,168	5,362	5,428	3,672	3,718	1,839	1,862
9	CLT 160 5s	6,635	6,688	4,409	4,444	3,020	3,044	1,512	1,524
10	CLT 120 5s	9,367	9,385	6,224	6,236	4,263	4,271	2,135	2,139
11	CLT 140 5s	7,147	7,155	4,749	4,755	3,253	3,257	1,629	1,631
12	CLT 160 5s	5,985	5,989	3,977	3,980	2,724	2,726	1,364	1,365
13	CLT 130 5s	7,662	7,701	5,091	5,117	3,487	3,505	1,746	1,755
14	CLT 150 5s	6,080	6,099	4,040	4,053	2,767	2,776	1,386	1,390
15	CLT 170 5s	5,224	5,234	3,472	3,478	2,378	2,382	1,191	1,193
16	CLT 140 5s	6,366	6,427	4,230	4,271	2,897	2,925	1,451	1,465
17	CLT 160 5s	5,235	5,267	3,479	3,500	2,383	2,397	1,193	1,200
18	CLT 180 5s	4,608	4,624	3,062	3,073	2,097	2,104	1,050	1,054
19	CLT 140 5s	6,059	6,066	4,026	4,031	2,758	2,761	1,381	1,383
20	CLT 160 5s	4,993	4,996	3,318	3,320	2,273	2,274	1,138	1,139
21	CLT 180 5s	4,446	4,447	2,954	2,955	2,024	2,024	1,013	1,014
22	CLT 150 5s	5,132	5,147	3,410	3,420	2,336	2,342	1,170	1,173
23	CLT 170 5s	4,373	4,381	2,906	2,911	1,990	1,994	0,997	0,999
24	CLT 190 5s	3,975	3,979	2,642	2,644	1,809	1,811	0,906	0,907
25	CLT 160 5s	4,412	4,435	2,932	2,947	2,008	2,019	1,006	1,011
26	CLT 180 5s	3,874	3,886	2,575	2,582	1,763	1,769	0,883	0,886
27	CLT 200 5s	3,585	3,591	2,383	2,387	1,632	1,635	0,817	0,819

Vedlegg 24

Sammenligning nedbøyning etasjeskille

No.	Type	Sum nedbøyning nyttelast, korttids (mm)		Sum nedbøyning, langtidslast (mm)	
		C24	C24/C14	C24	C24/C14
1	CLT 180 L7s2	16,04	16,05	23,73	23,74
2	CLT 190 L7s2	13,93	13,95	20,65	20,68
3	CLT 200 L7s2	12,63	12,63	18,76	18,76
4	CLT 210 L7s2	11,17	11,18	16,63	16,65
5	CLT 220 L7s2	9,13	9,13	13,61	13,62
6	CLT 230 L7s2	9,22	9,23	13,78	13,80
7	CLT 240 L7s2	7,27	7,28	10,88	10,90
8	CLT 250 L7s2	6,82	6,82	10,22	10,23
9	CLT 260 L7s2	6,17	6,18	9,28	9,29
10	CLT 270 L7s2	5,84	5,85	8,79	8,80
11	CLT 280 L7s2	5,34	5,35	8,06	8,07

12	CLT 200 L5s	14,84	14,90	22,04	22,13
13	CLT 190 L5s	16,77	16,80	24,85	24,90
14	CLT 180 L5s	18,47	18,56	27,32	27,46
15	CLT 170 L5s	21,27	21,32	31,39	31,47
16	CLT 160 L5s	23,83	23,99	35,09	35,33
17	CLT 150 L5s	32,38	32,51	47,58	47,77

Vedlegg 25

Materialkostnad BYGG A

	Bygg A			
Veggelement	CLT120 5s C24			
Etasjeskilleelement	CLT 240 L7s2 C24			
Sjikt (mm)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	30	C24	80	C24
t ₂	20	C24	20	C24
t ₃	20	C24	40	C24
t ₄	20	C24	20	C24
t ₅	30	C24	80	C24
Andel m ³ per m ²	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	0,3	C24	0,8	C24
t ₂	0,2	C24	0,2	C24
t ₃	0,2	C24	0,4	C24
t ₄	0,2	C24	0,2	C24
t ₅	0,3	C24	0,8	C24
Volum per sjikt (m ³)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	953,4	C24	2254,4	C24
t ₂	635,6	C24	563,6	C24
t ₃	635,6	C24	1127,2	C24
t ₄	635,6	C24	563,6	C24
t ₅	953,4	C24	2254,4	C24
Materialkostnad sjikt (MSEK)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	2,431 MSEK	C24	5,636 MSEK	C24
t ₂	1,494 MSEK	C24	1,324 MSEK	C24
t ₃	1,494 MSEK	C24	2,818 MSEK	C24
t ₄	1,494 MSEK	C24	1,324 MSEK	C24
t ₅	2,431 MSEK	C24	5,636 MSEK	C24
Total materialkostnad (SEK)	Bygg A			
Element vegg (MSEK)	9,343 MSEK			
Element etasjeskille (MSEK)	16,739 MSEK			
Total materialkostnad (MSEK)	26,082 MSEK			
Total materialkostnad per gulvflate (SEK/m²)	9 256 SEK/m²			

Vedlegg 26

Materialkostnad BYGG B

	Bygg B			
Veggelement	CLT120 5s C24/C14			
Etasjeskilleelement	CLT240 7s2 C24/C14			
Sjikt (mm)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	30	C24	80	C24
t ₂	20	C14	20	C14
t ₃	20	C14	40	C14
t ₄	20	C14	20	C14
t ₅	30	C24	80	C24
Andel m³ per m²	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	0,3	C24	0,8	C24
t ₂	0,2	C14	0,2	C14
t ₃	0,2	C14	0,4	C14
t ₄	0,2	C14	0,2	C14
t ₅	0,3	C24	0,8	C24
Volum per sjikt (m³)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	953,4	C24	2254,4	C24
t ₂	635,6	C14	563,6	C14
t ₃	635,6	C14	1127,2	C14
t ₄	635,6	C14	563,6	C14
t ₅	953,4	C24	2254,4	C24
Materialkostnad sjikt (MSEK)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	2,431 MSEK	C24	5,749 MSEK	C24
t ₂	1,335 MSEK	C14	1,184 MSEK	C14
t ₃	1,335 MSEK	C14	2,536 MSEK	C14
t ₄	1,335 MSEK	C14	1,184 MSEK	C14
t ₅	2,431 MSEK	C24	5,749 MSEK	C24
Total materialkostnad (SEK)	Bygg B			
Element vegg (MSEK)	8,867 MSEK			
Element etasjeskille (MSEK)	16,401 MSEK			
Total materialkostnad (MSEK)	25,267 MSEK			
Total materialkostnad per gulvflate (SEK/m²)	8 966 SEK/m²			

Vedlegg 27

Materialkostnad BYGG C

	Bygg C			
Veggelement	CLT 100 5s C24			
Etasjeskilleelement	CLT 190 7s2 C24			
Sjikt (mm)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	20	C24	60	C24
t ₂	20	C24	20	C24
t ₃	20	C24	30	C24
t ₄	20	C24	20	C24
t ₅	20	C24	60	C24
Andel m ³ per m ²	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	0,2	C24	0,6	C24
t ₂	0,2	C24	0,2	C24
t ₃	0,2	C24	0,3	C24
t ₄	0,2	C24	0,2	C24
t ₅	0,2	C24	0,6	C24
Volum per sjikt (m ³)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	635,6	C24	1690,8	C24
t ₂	635,6	C24	563,6	C24
t ₃	635,6	C24	845,4	C24
t ₄	635,6	C24	563,6	C24
t ₅	635,6	C24	1690,8	C24
Materialkostnad sjikt (MSEK)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	1,494 MSEK	C24	4,312 MSEK	C24
t ₂	1,494 MSEK	C24	1,324 MSEK	C24
t ₃	1,494 MSEK	C24	2,156 MSEK	C24
t ₄	1,494 MSEK	C24	1,324 MSEK	C24
t ₅	1,494 MSEK	C24	4,312 MSEK	C24
Total materialkostnad (SEK)	Bygg C			
Element vegg (MSEK)	7,468 MSEK			
Element etasjeskille (MSEK)	13,428 MSEK			
Total materialkostnad (MSEK)	20,896 MSEK			
Total materialkostnad per gulvflate (SEK/m ²)	7 415 SEK/m ²			

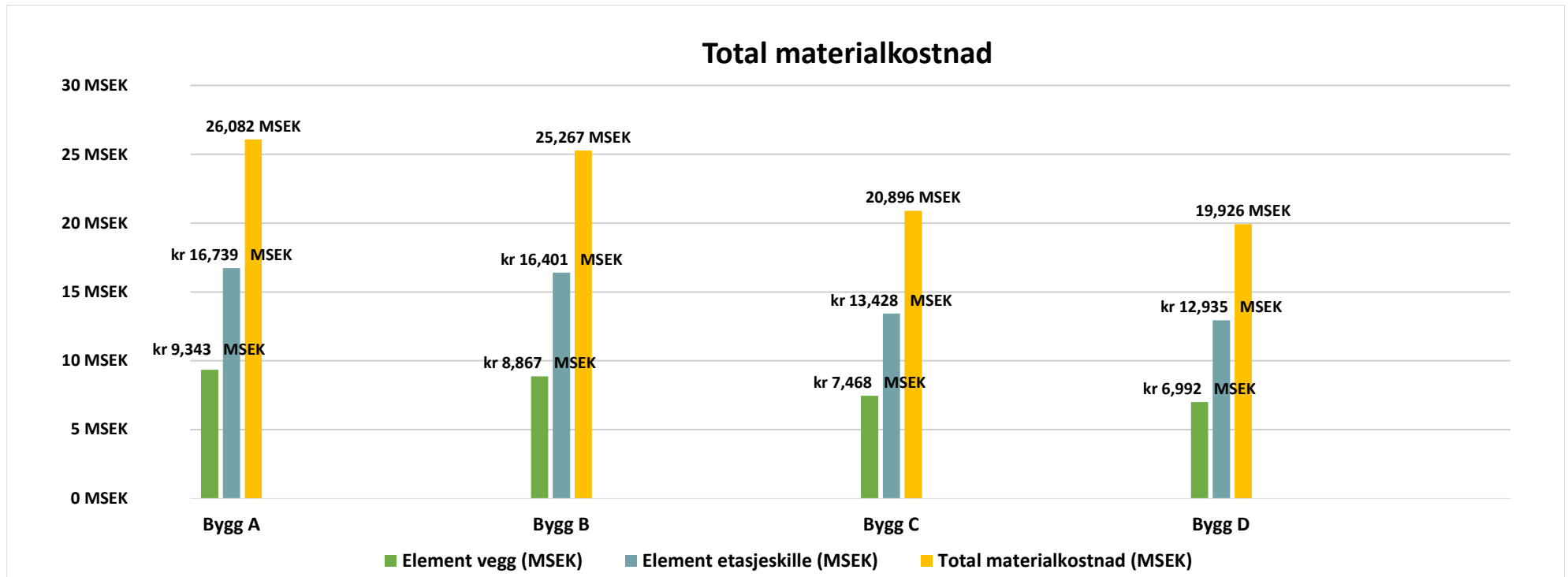
Vedlegg 28

Materialkostnad BYGG D

	Bygg D			
Veggelement	CLT 100 5s C24/C14			
Etasjeskilleelement	CLT 190 7s2 C24/C14			
Sjikt (mm)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	20	C24	60	C24
t ₂	20	C14	20	C14
t ₃	20	C14	30	C14
t ₄	20	C14	20	C14
t ₅	20	C24	60	C24
Andel m³ per m²	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	0,2	C24	0,6	C24
t ₂	0,2	C14	0,2	C14
t ₃	0,2	C14	0,3	C14
t ₄	0,2	C14	0,2	C14
t ₅	0,2	C24	0,6	C24
Volum per sjikt (m³)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	635,6	C24	1690,8	C24
t ₂	635,6	C14	563,6	C14
t ₃	635,6	C14	845,4	C14
t ₄	635,6	C14	563,6	C14
t ₅	635,6	C24	1690,8	C24
Materialkostnad sjikt (MSEK)	Vegg	Fasthetsklasse	Etasjeskille	Fasthetsklasse
t ₁	1,494 MSEK	C24	4,312 MSEK	C24
t ₂	1,335 MSEK	C14	1,184 MSEK	C14
t ₃	1,335 MSEK	C14	1,944 MSEK	C14
t ₄	1,335 MSEK	C14	1,184 MSEK	C14
t ₅	1,494 MSEK	C24	4,312 MSEK	C24
Total materialkostnad (SEK)	Bygg D			
Element vegg (MSEK)	6,992 MSEK			
Element etasjeskille (MSEK)	12,935 MSEK			
Total materialkostnad (MSEK)	19,926 MSEK			
Total materialkostnad per gulvflate (SEK/m²)	7 071 SEK/m²			

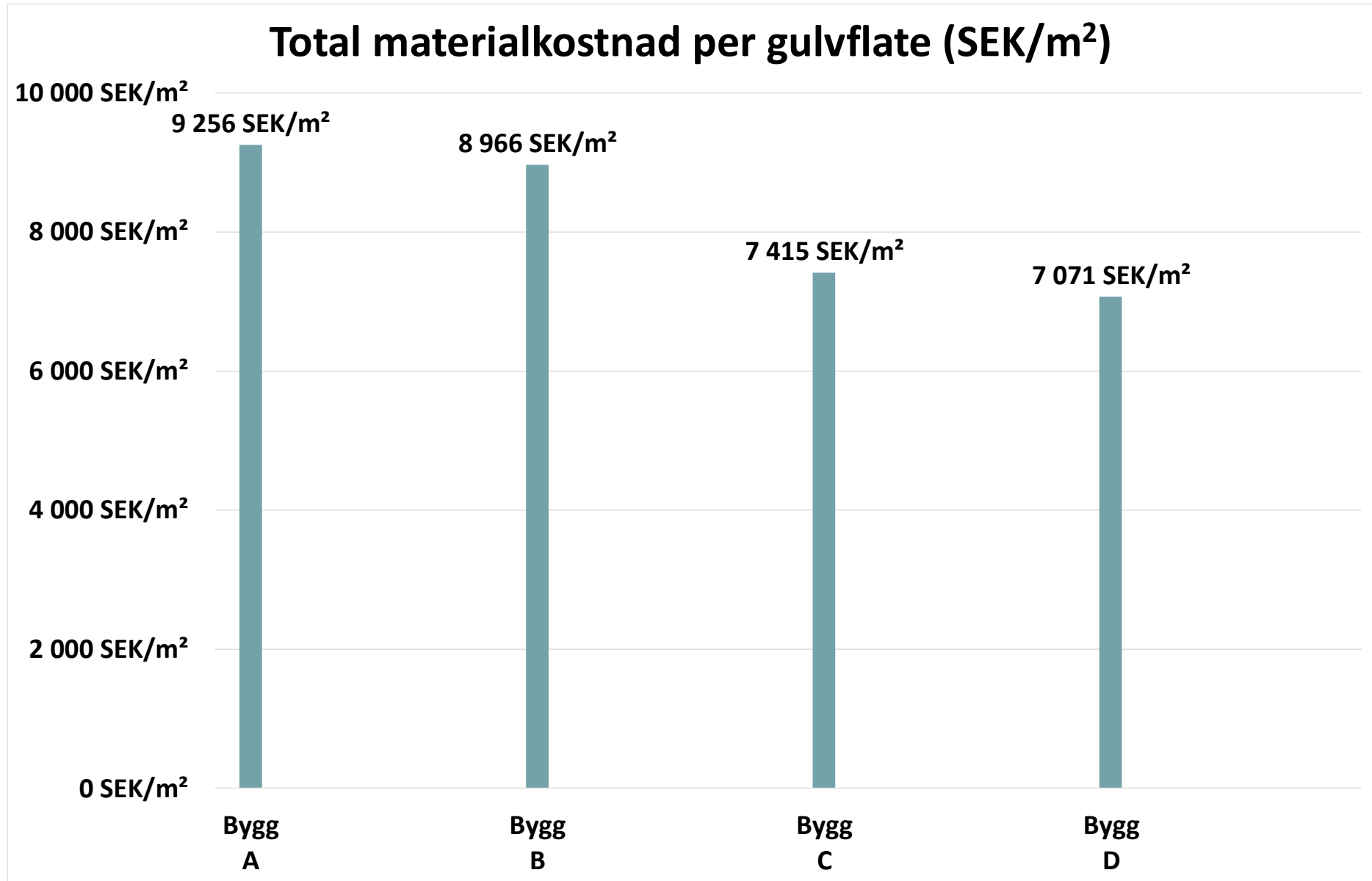
Vedlegg 29

Total materialkostnad

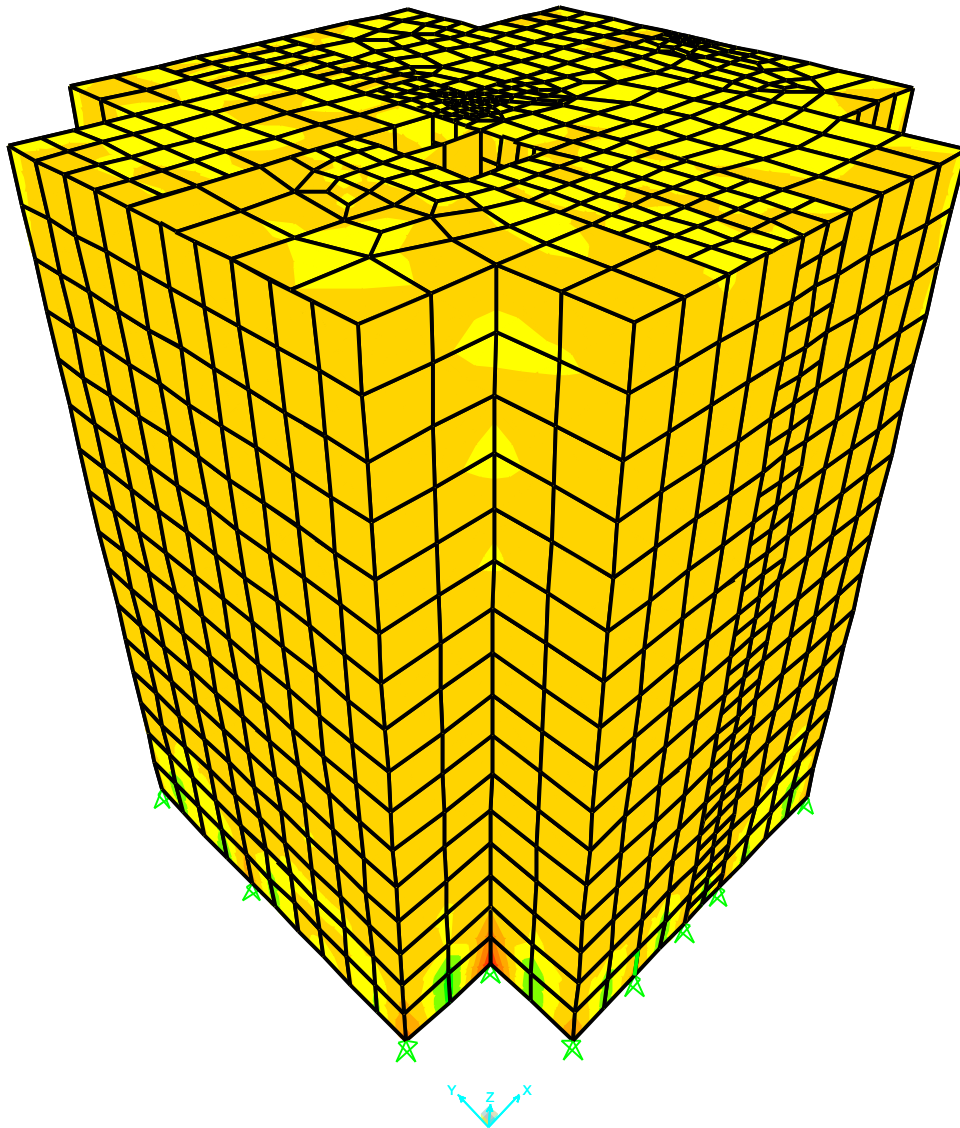


Vedlegg 30

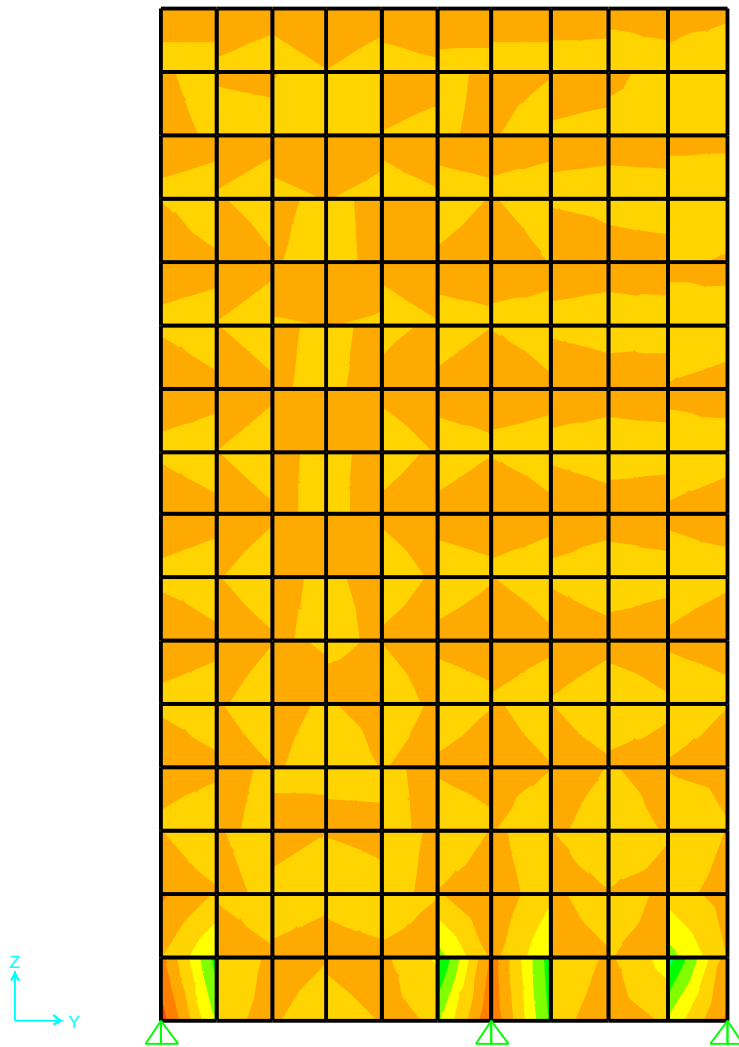
Total materialkostnad per gulvflate



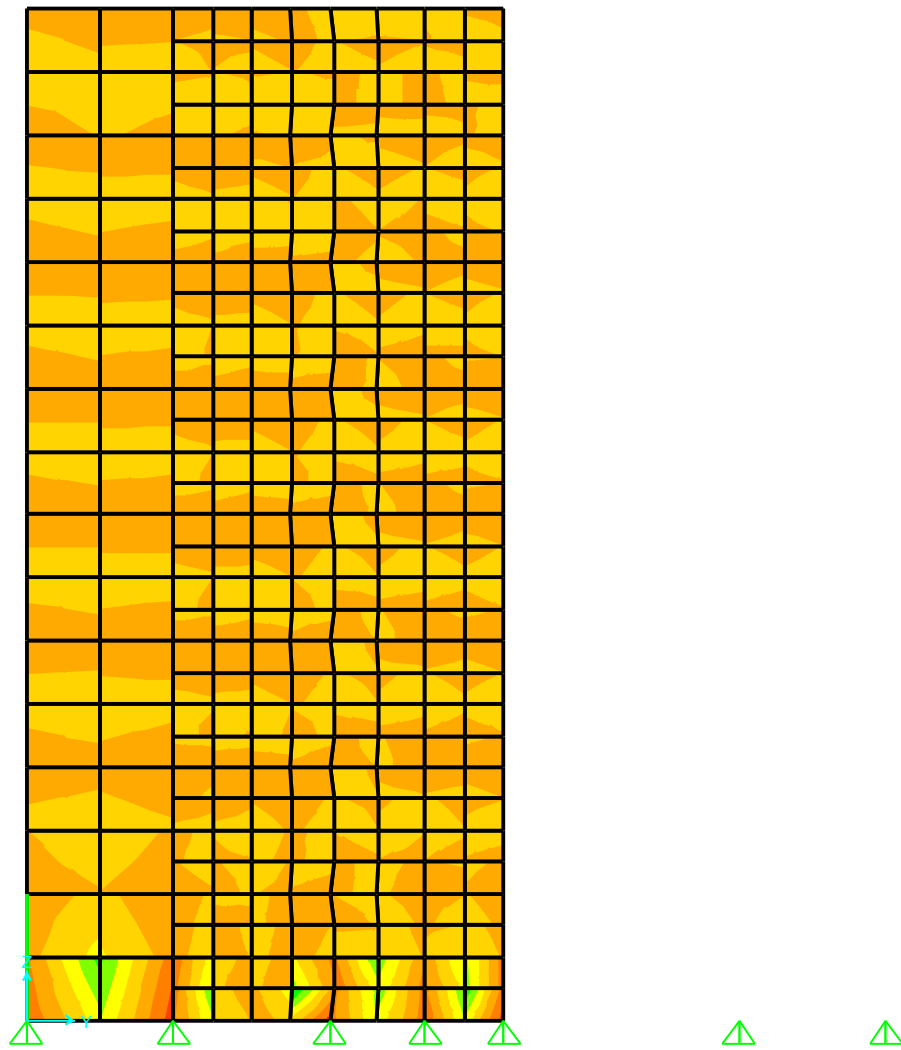
Vedlegg 31 - 3D Kraftanalyse Sør-Vest

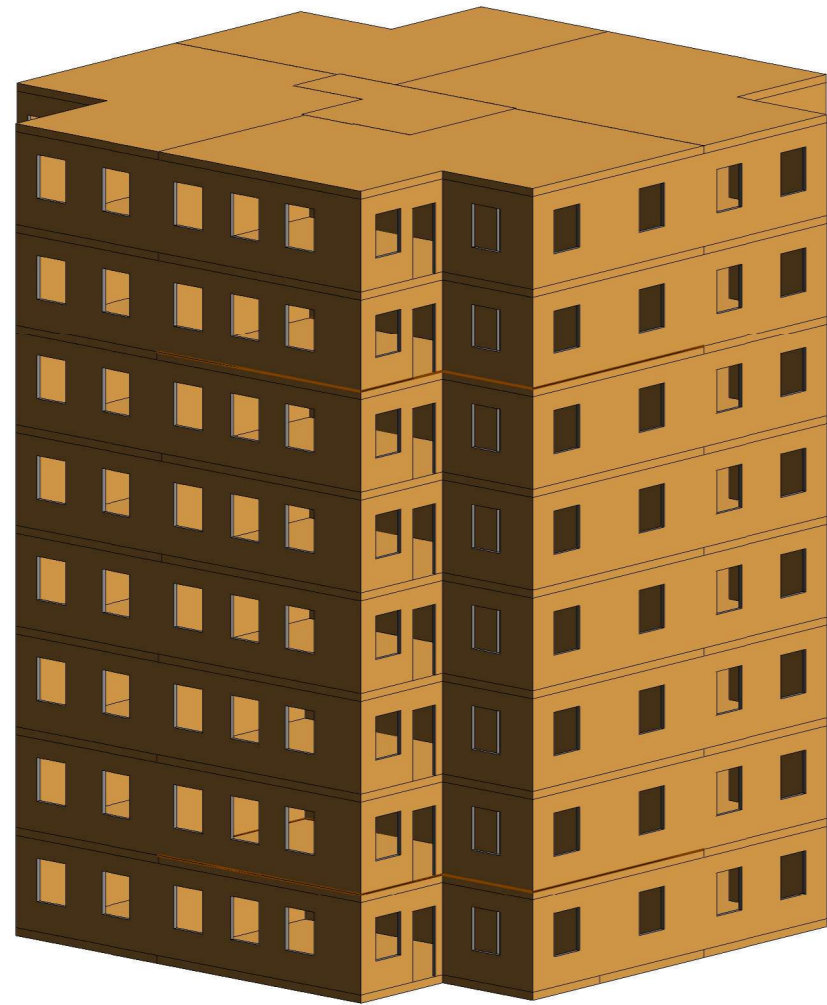


Vedlegg 32 - Kraftanalyse yttervegg



Vedlegg 33 - Kraftanalyse innervegg





1 3D Sør-Vest



2 3D Nord-Øst

Autodesk® Revit®

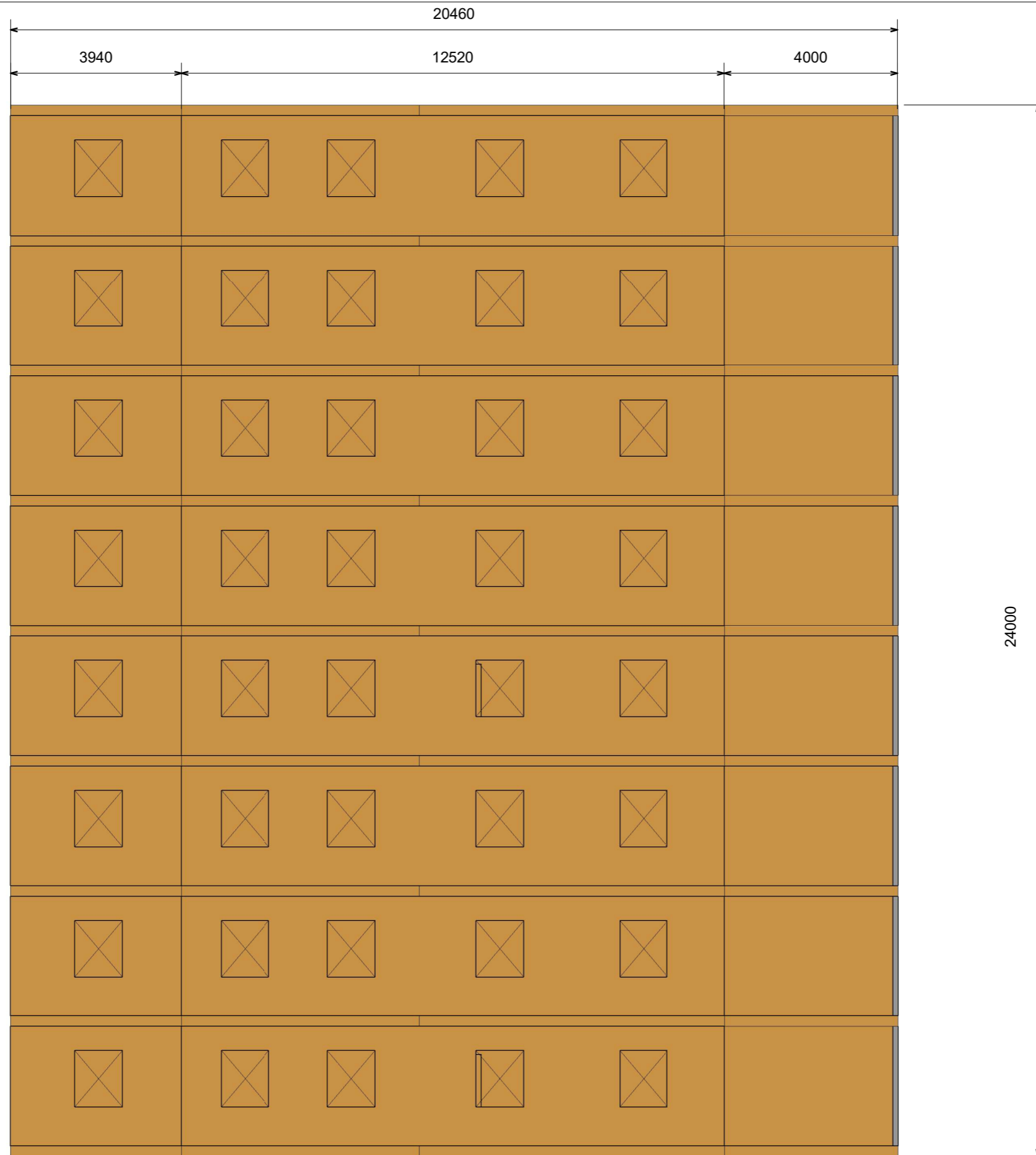
www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

3D visning

Date	17.01.23	005
Drawn by	M.B	
	Scale	



1

Fasade Nord

1 : 100

Autodesk® Revit®

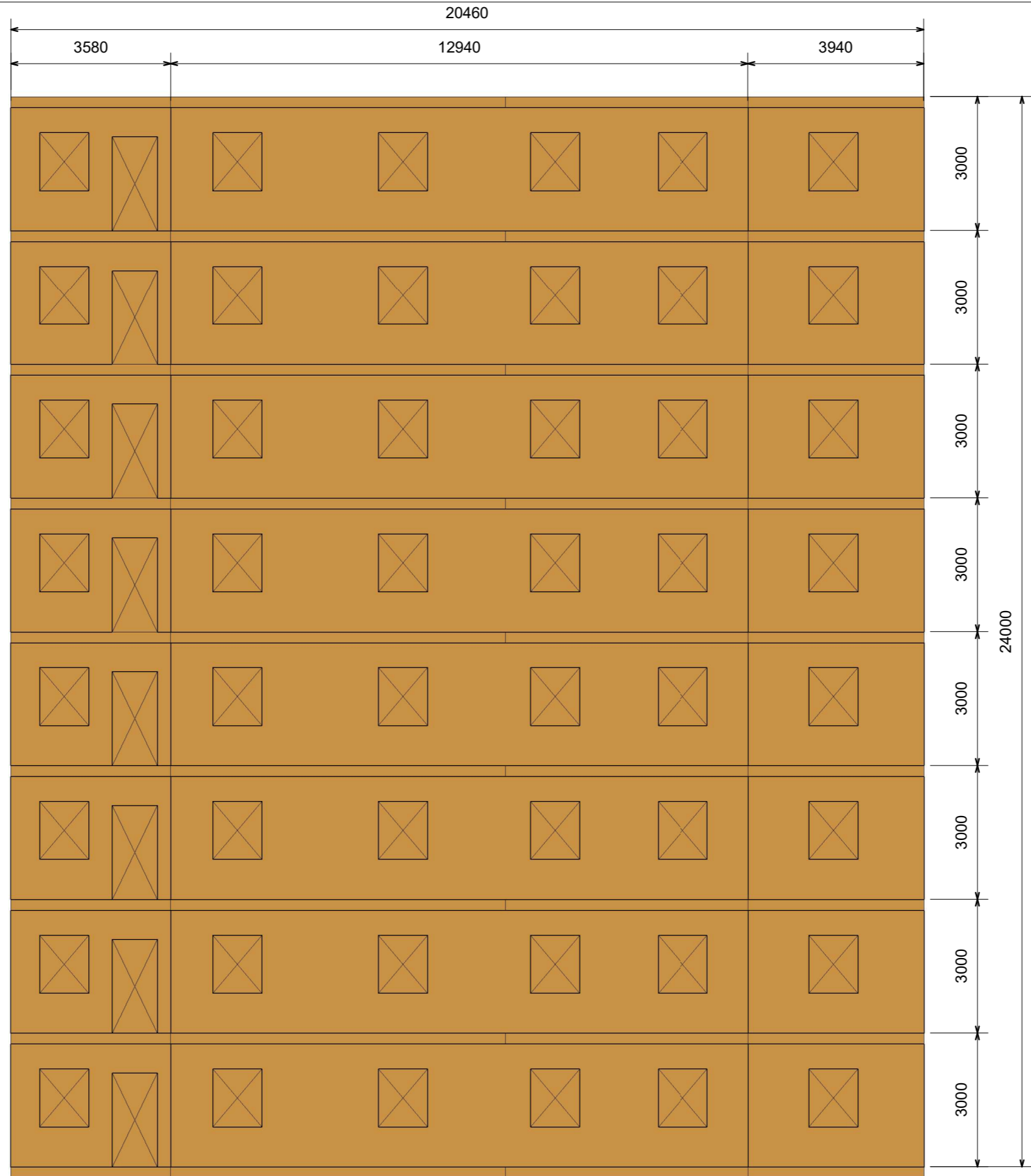
www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Fasade Nord

Date	17.01.2023	011
Drawn by	M.B	
Scale		1 : 100



1

Fasade Sør

1 : 100

Autodesk® Revit®

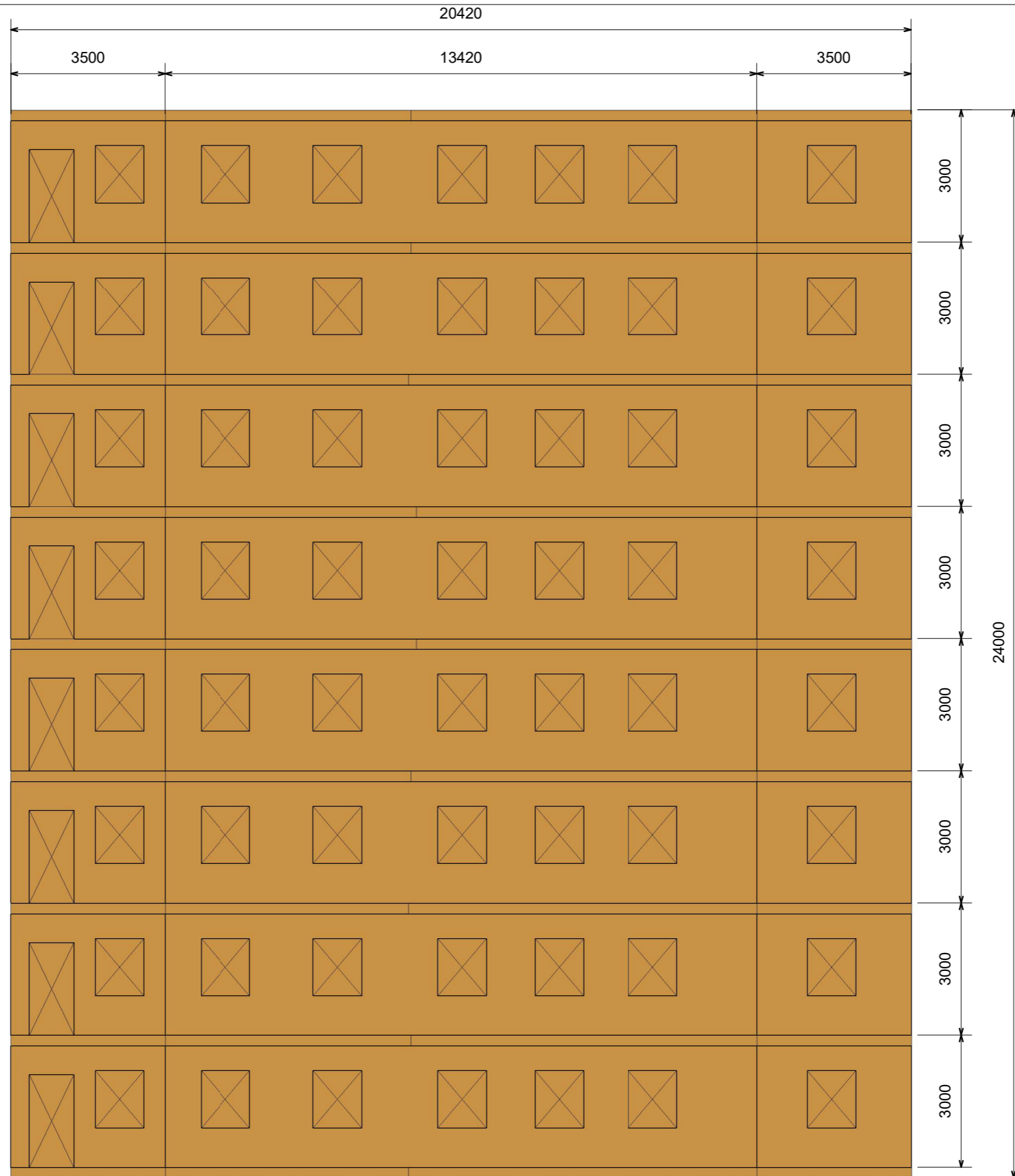
www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Fasade Sør

Date	17.01.2023	003
Drawn by	M.B	
Scale		1 : 100



1 Fasade Vest
1 : 100

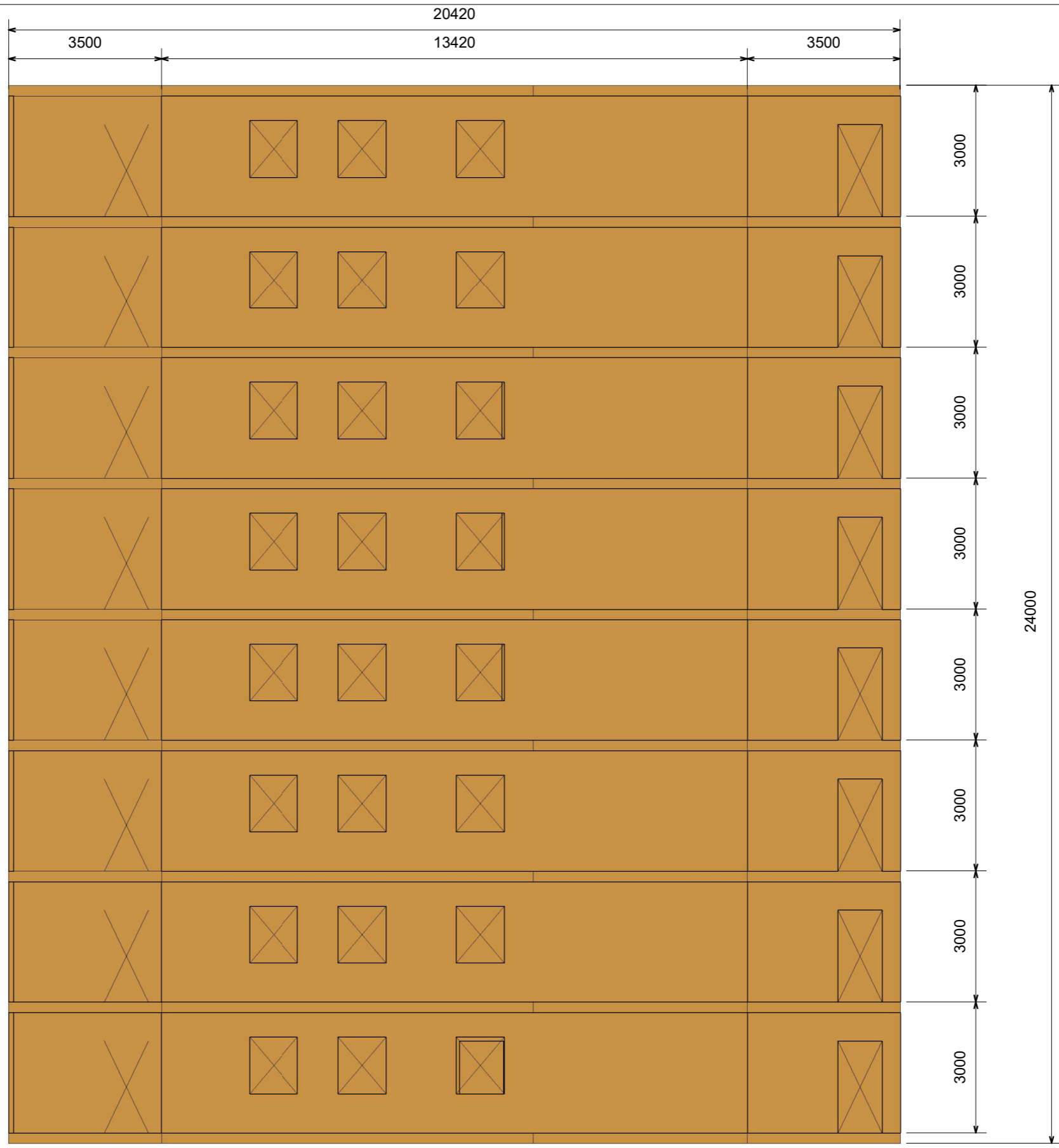
Autodesk® Revit®
www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Fasade Vest	
Date	17.01.2023
Drawn by	M.B
Scale	1 : 100

004



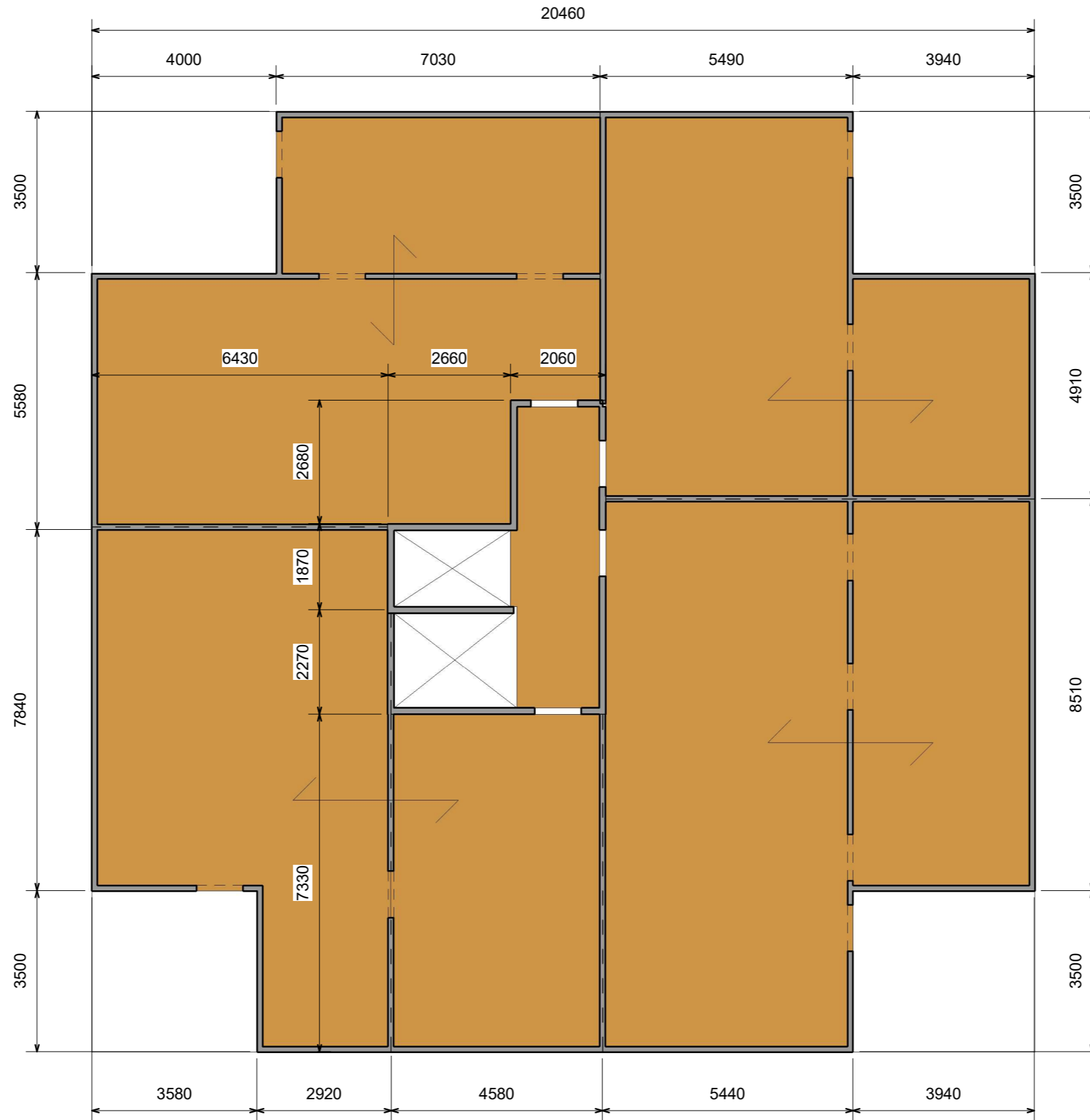
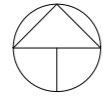
1 Fasade Øst
1 : 100

Autodesk® Revit®
www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Fasade Øst	
Date	17.01.2023
Drawn by	M.B
Scale	1 : 100



1

Plantegning 1-8. Etasje

1 : 100

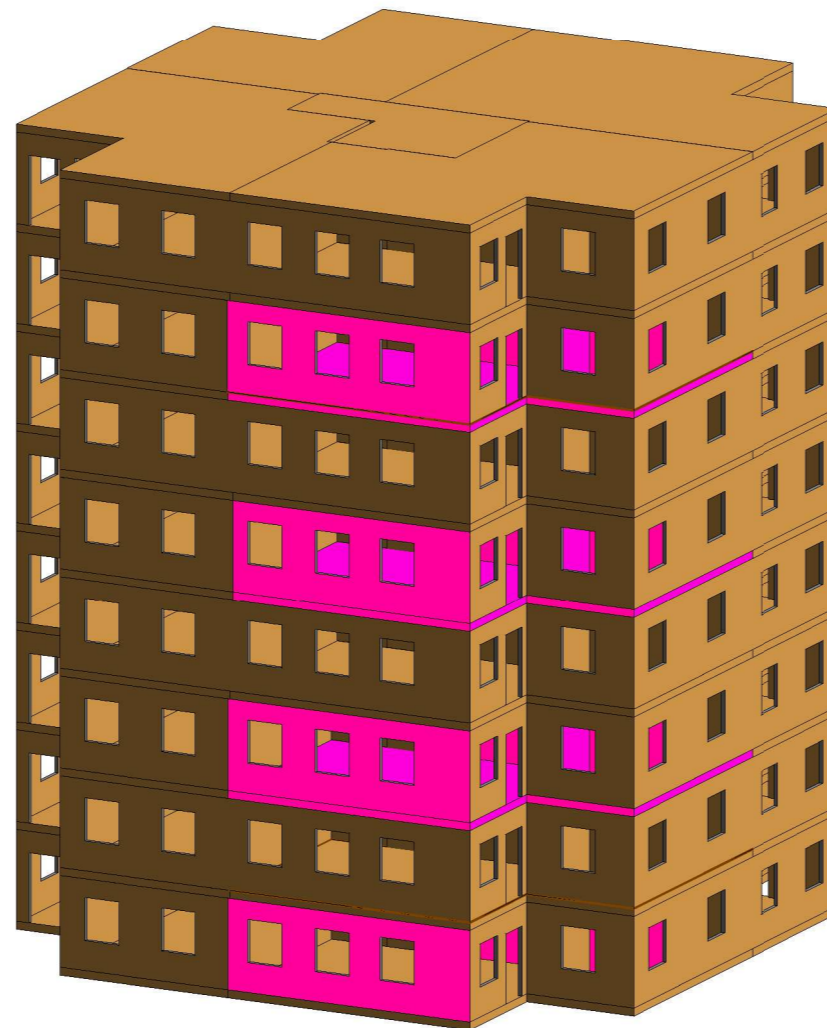
Autodesk® Revit®

www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Plantegning		
Date	17.01.23	001
Drawn by	M.B	
Scale		1 : 100



1 3D Section cuts

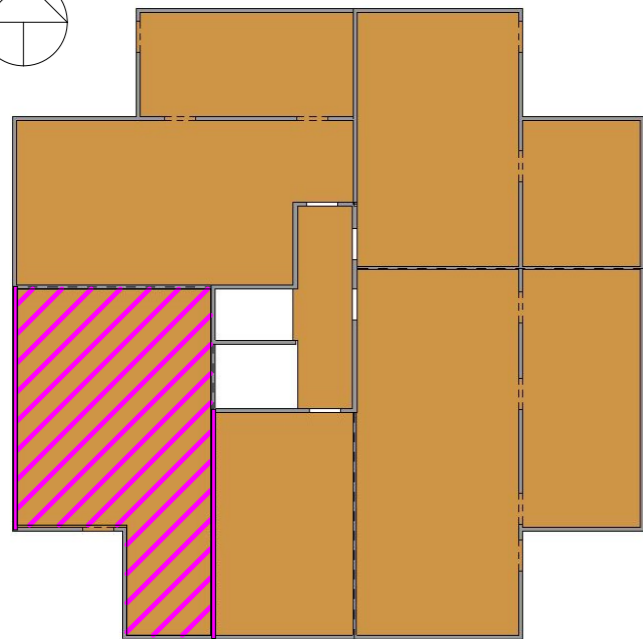
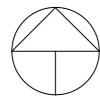
Autodesk® Revit®

www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

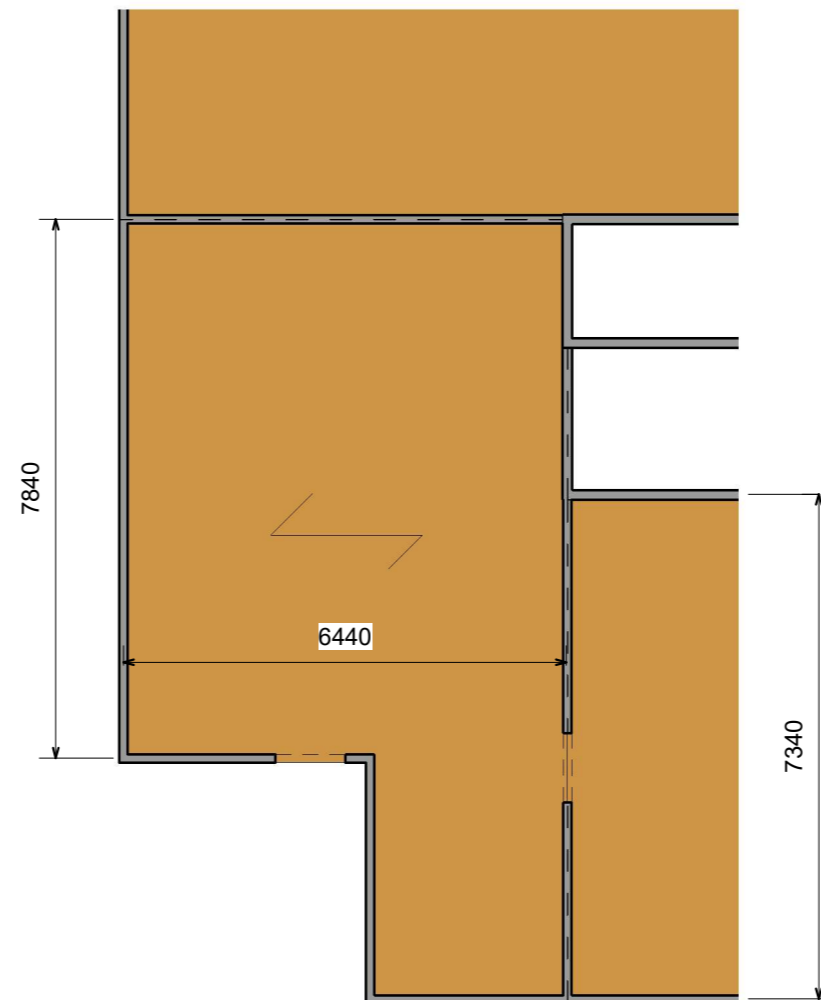
3D Arbeidsfelt		
Date	17.01.2023	006
Drawn by	M.B	
		Scale



2

Markert arbetsfelt

1 : 250



1

Plantegning Arbetsfelt

1 : 100

Autodesk® Revit®

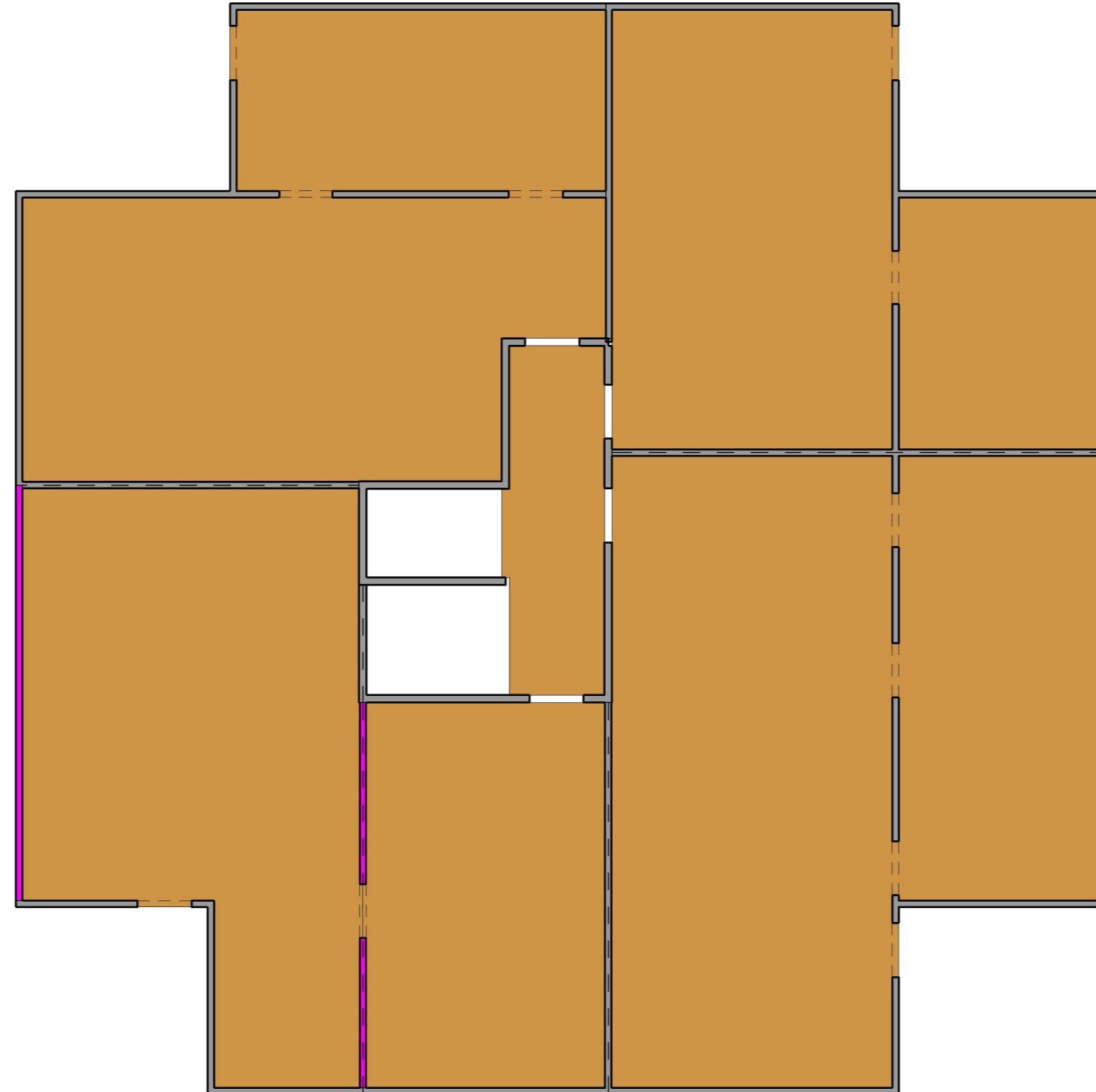
www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Arbetsfelt

Date	17.01.23	002
Drawn by	M.B	
Scale	As indicated	



1 Markert veggkonstruksjoner
1 : 100

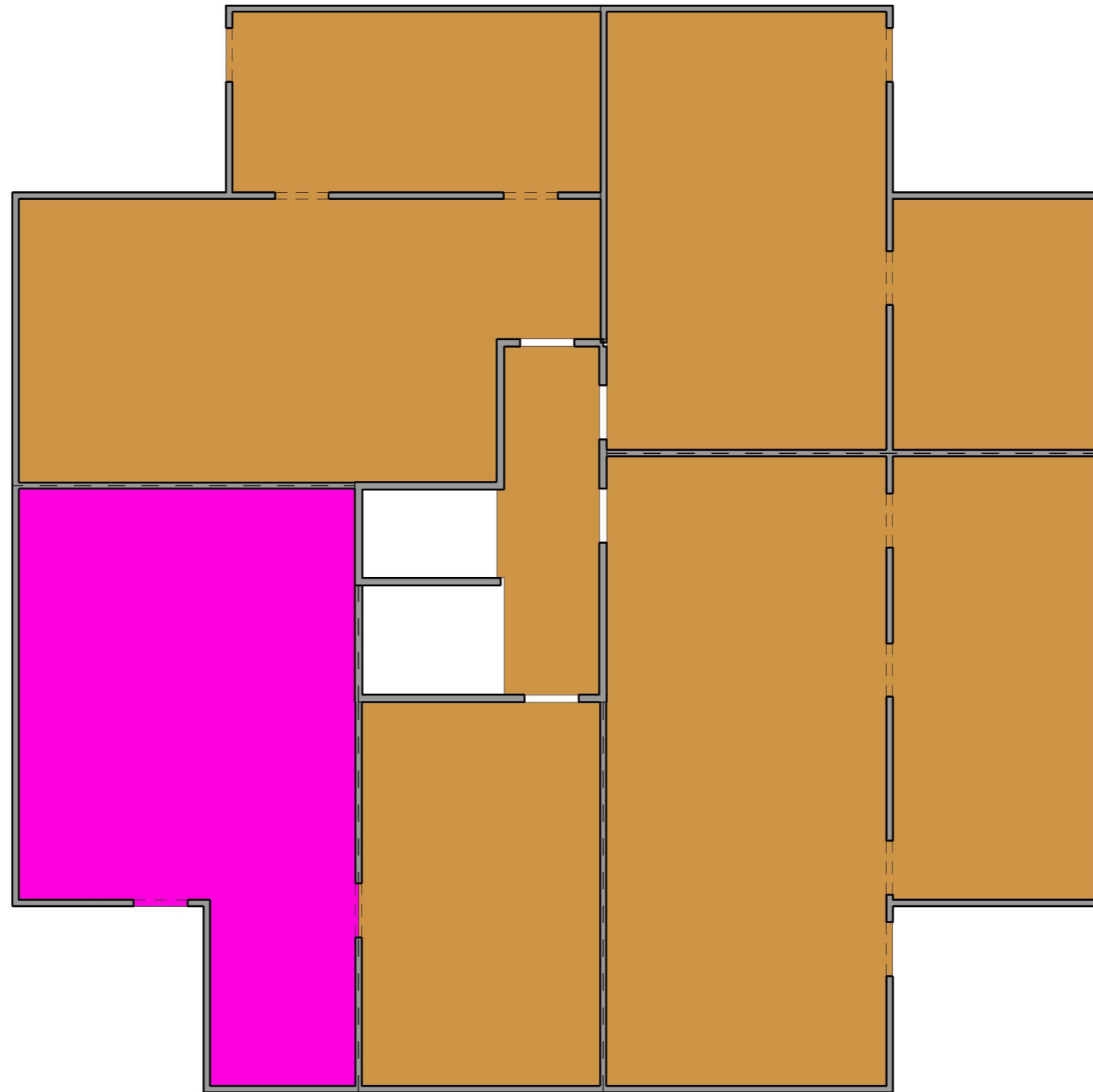
Autodesk® Revit®

www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Analyserte veggkonstruksjoner		
Date	17.01.23	012
Drawn by	M.B	
Scale		1 : 100



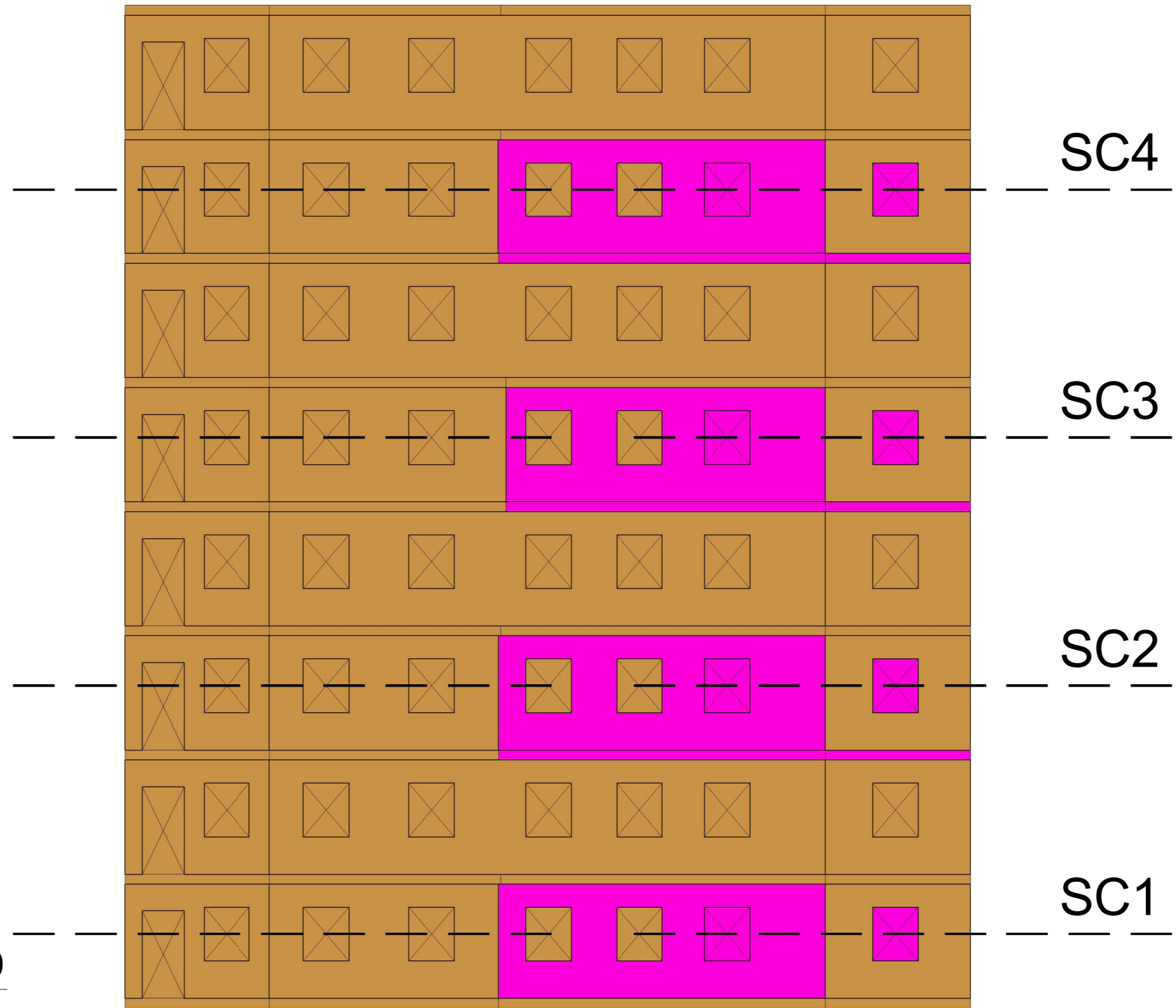
1 Markert etasjeskille
1 : 100

Autodesk® Revit®
www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Analysert etasjeskille		
Date	17.01.23	013
Drawn by	M.B	
Scale		1 : 100



1

Section Cuts Sap 2000

1 : 100

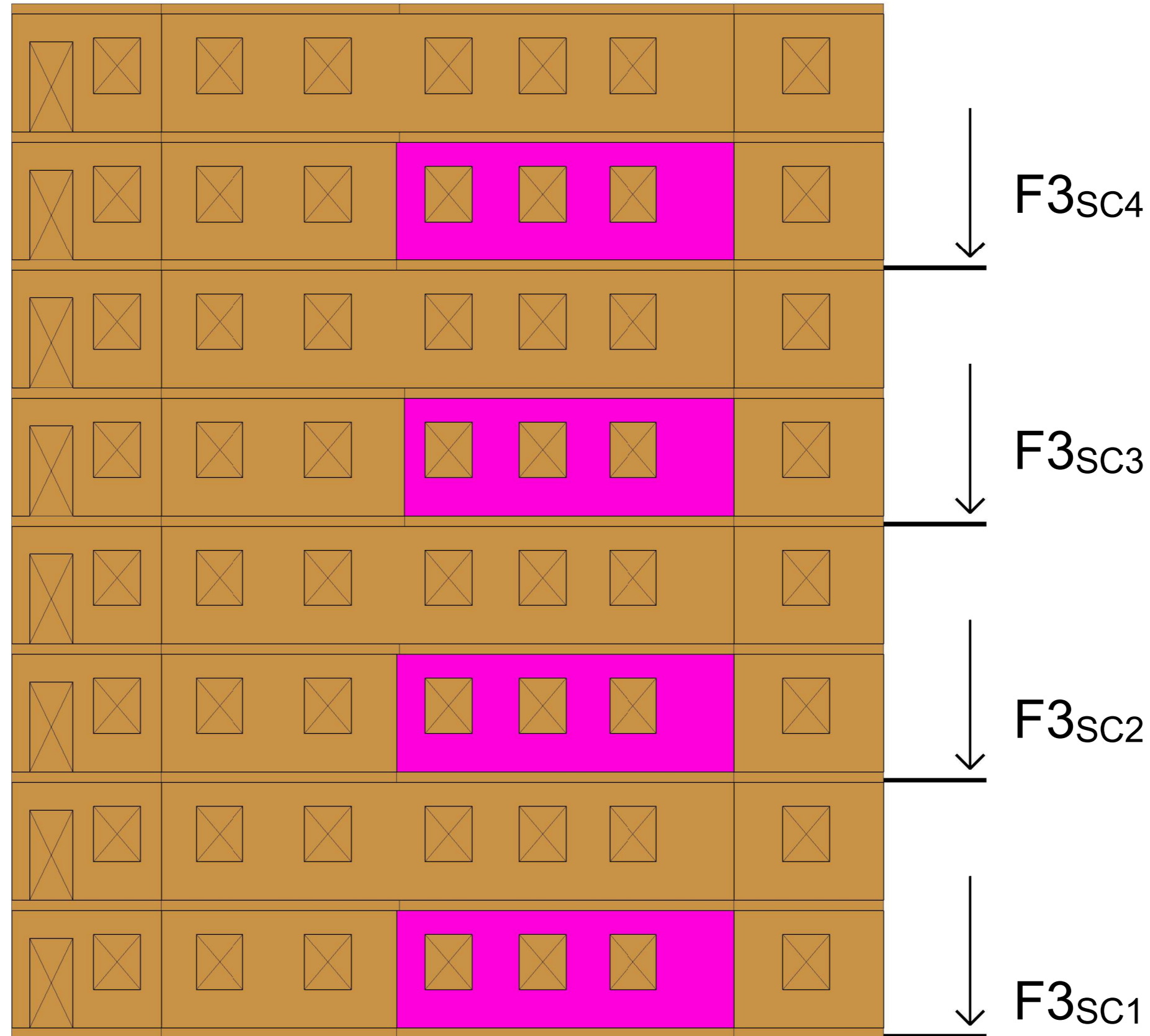
Autodesk® Revit®

www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Section Cuts		
Date	17.01.2023	009
Drawn by	M.B	
Scale	1 : 100	



1

Section Cuts Yttervegg

1 : 100

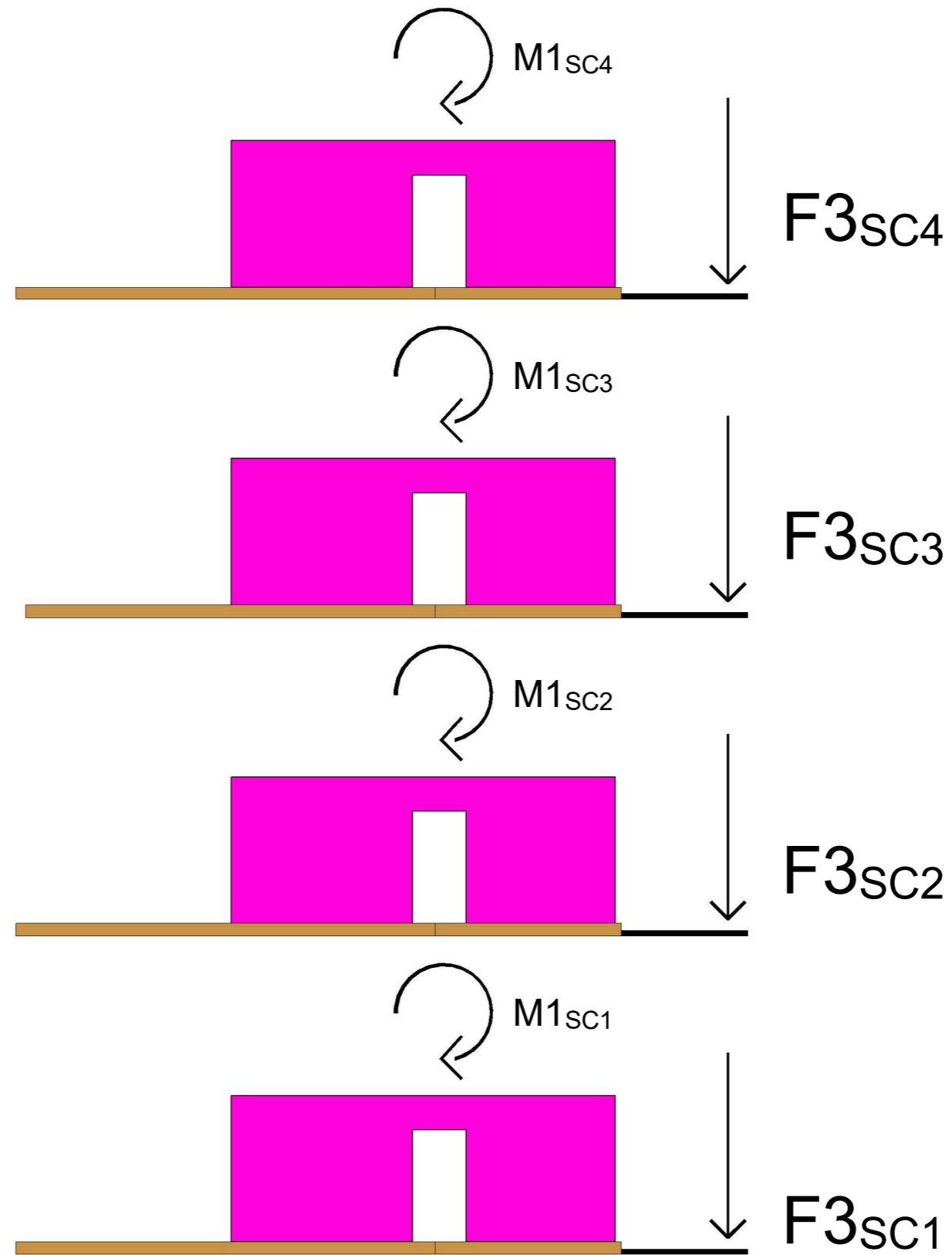
Autodesk® Revit®

www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Section Cuts Yttervegg		
Date	17.01.23	007
Drawn by	M.B	
Scale		1 : 100



1 Section Cuts Innervegg
1 : 100

Autodesk® Revit®

www.autodesk.com/revit

No	Description	Date
.		

Södra Building Systems
Bachelor Södra

Section Cuts Innervegg

Date	17.01.23	008
Drawn by	M.B	
Scale		1 : 100

Vedlegg 47

Seksjons kutt lastanalyse

TABLE: Section Cut Forces - Analysis											
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	F1 X	F2 Y	F3 Z	M1 X	M2 Y	M3 Z	Fd Y	Nd bidrag trykk Y
	ULS	ULS		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	KN	KN
Innervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Max	0,666	38,203	196,585	-126,6019	0,2172	1,5984	26,78	
Innervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Min	0,181	-19,371	126,044	-270,567	-0,2333	-0,5789		46,08
Innervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Max	2,029	9,19	115,583	-121,2567	0,7541	0,5407	15,75	
Innervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Min	1,57	-20,341	80,801	-191,8403	0,5414	-1,4269		32,67
Innervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Max	1,574	5,431	78,817	-97,9122	0,5837	0,2507	10,74	
Innervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Min	1,231	-13,273	61,833	-131,6724	0,4493	-1,1041		22,42
Innervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Max	1,138	1,451	39,504	-56,3442	0,4552	-0,0176	5,38	
Innervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Min	0,699	-6,587	34,037	-65,9236	0,2391	-0,5956		11,23

Yttervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Max	8,123	10,053	387,093	374,7141	4,023	-3,2827	49,37	
Yttervegg SC1	ULS-ENV	Combination	Min	-6,723	-112,463	188,015	-116,3197	-0,0028	-6,2975		
Yttervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Max	6,143	2,111	324,794	146,9134	4,7924	-3,3543	41,43	
Yttervegg SC2	ULS-ENV	Combination	Min	-12,808	-93,978	193,024	-83,9256	-1,0127	-13,8316		
Yttervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Max	3,931	-3,693	230,811	21,3228	3,1106	-0,9118	29,44	
Yttervegg SC3	ULS-ENV	Combination	Min	-13,91	-66,618	167,622	-54,0121	-2,0171	-12,8704		
Yttervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Max	1,871	-6,582	119,401	-22,2819	1,5587	0,9688	15,23	
Yttervegg SC4	ULS-ENV	Combination	Min	-14,873	-36,271	100,444	-28,0395	-2,721	-10,8036		

Lengde Innervegg	7,34	m
Lengde Yttervegg	7,84	m
Trykk bidrag fra M1 til innervegg	0,8*7,34	m