



## BACHELOROPPGAVE

Bærekraftige valg i bygg: En vurdering av klimagassutslippene til to ulike bæresystemer

Sustainable Choices in construction: An Assessment of the Greenhouse Gas Emissions of Two Different Support Systems

Markus Bjånesøy

Astrid Sørheim Lillefosse

Gunnhild Råen

Bachelor Ingeniørfag, Bygg

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Jan Bernt Husebø

22. Mai 2023

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2023 ved Institutt for bygg og landmåling ved Høgskulen på Vestlandet. Bacheloroppgaven er den avsluttende oppgaven på det treårige bachelorstudiet byggingeniør på HVL, og utgjør 20 studiepoeng. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Sweco, og vi hadde stor frihet til å velge retning av oppgaven selv.

Gjennom den treårige utdanningen har vi fått kompetanse innen flere ulike områder. På grunn av det økende fokuset på å bygge bærekraftig, ønsket vi å sammenligne et bæresystem i betong og stål med et bæresystem i tre og stål.

Vi ønsker å takke vår interne veileder Jan Bernt Husebø ved HVL for god hjelp og innspill til oppgaven, og høgskolelektor Trond Einar Martinsen for hjelp med utforming av bæresystem. Takk til ekstern rådgiver Sweco, for idé til oppgaven, veiledning og hjelp. Til slutt vil vi takke hverandre for samarbeidet.

Bergen, mai 2023



---

Markus Bjånesøy



---

Astrid Sørheim Lillefosse



---

Gunnhild Råen

## Sammendrag

Det skal utarbeides to bæresystem til et garderobebygg på Husnes, et bæresystem i betong og stål, og et i tre og stål. Hensikten med dette er å kunne sammenligne forskjellen i bærekraft til to konkurransedyktige løsninger for bæresystem. Alternativene sammenlignes ved å gjennomføre en livssyklusanalyse for å se hvilket som har høyest klimagassutslipp. Livssyklusanalysen tar høyde for det totale utslippet for materialer gjennom konstruksjonsdelenes levetid.

De valgte materialene har ulike egenskaper, og stål er valgt i begge alternativene. Dette er fordi stål har høy strekkfasthet, og er derfor spesielt egnet sammen med tre fordi stålbjelkene kan ta større spenn. Stål benyttes også som bjelkemateriale sammen med betong, på grunn av dens gunstige egenskaper. Betong har fordelen av å kunne tåle store laster, men har derimot også den tyngste egenvekten. Tre har blitt ansett som en miljøvennlig løsning, og har en lav egenvekt i forhold til sin styrke. Imidlertid kan ikke tre bære like store spenn som betong og stål uten at tversnittstykkelsen til elementet økes.

Dimensjoneringen er hovedsakelig gjennomført med håndberegninger, supplert med utregninger fra beregningsprogram. Det er utelukkende brukt arkitekttegninger for utforming av bæresystemet, siden prosjektet ble tildelt til oss i en så tidlig fase at det ikke var gjort beregninger fra oppdragsgivers side enda.

I denne rapporten har vi fått kvantifisert forskjellen mellom bæresystemet i tre, og betong, når det gjelder klimagassutslipp. Resultatene viser at det trebaserte bæresystemet har 22% mindre klimagassutslipp sammenlignet med det betongbaserte bæresystemet. Resultatet indikerer dermed at bruk av tre som materiale i bæresystem kan være en mer miljøvennlig løsning med tanke på reduserte klimagassutslipp.

## Abstract

Two support systems are to be developed for a wardrobe building at Husnes, one using concrete and steel, and the other using wood and steel. The purpose of this is to compare the difference in sustainability between two competitive support system solutions. The alternatives are compared by conducting a life cycle assessment to determine which one has the highest greenhouse gas emissions. The life cycle assessment takes into account the total emissions from materials throughout the lifespan of the structural components.

The chosen materials have different properties, with steel being selected in both alternatives. This is because steel has high tensile strength and is therefore particularly suitable for use with timber, as steel beams can span greater distances. Steel is also used as a beam material in conjunction with concrete due to its favourable properties. Concrete has the advantage of being able to withstand large loads but has the heaviest weight. Timber, which is seen as the most environmentally friendly solution, has a low weight-to-strength ratio but cannot span as far without the elements becoming significantly thicker.

The dimensioning is mainly carried out by hand calculations, supplemented by calculations from calculation programs. Only architectural drawings have been used for the design of the building since the project was awarded to us at such an early stage that no calculations had been made from the client's side yet.

In this report, we have quantified the difference in greenhouse gas emissions between the timber-based structural system and the concrete-based structural system. The results demonstrate that the timber-based system exhibits a 22% reduction in greenhouse gas emissions compared to the concrete-based system. Consequently, the findings suggest that the utilization of timber as a material in the structural system may present a more environmentally friendly solution in terms of mitigating greenhouse gas emissions.

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	II
Sammendrag .....	III
Abstract .....	IV
Innholdsfortegnelse .....	V
Figurliste .....	IX
Tabelliste .....	XI
1 Innledning.....	1
1.1 Garderobebygg Hydro Husnes .....	1
1.2 Bakgrunn .....	3
1.3 Problemformulering.....	4
1.4 Avgrensninger .....	4
2 Fremgangsmåte.....	7
2.1 Programvare.....	8
2.1.1 PTC MathCAD Prime 9.0 .....	8
2.1.2 OS-prog .....	9
2.1.3 One Click LCA .....	9
2.1.4 Autodesk Revit.....	9
2.1.5 Solibri .....	10
2.2 Eurokoder.....	10

2.3 NS 3720:2018 Beregning av klimagassutslipp .....	11
2.4 Byggforskserien.....	11
2.5 Byggteknisk forskrift 2017 (TEK17) .....	12
3 Teori.....	13
3.1 Materialer .....	13
3.1.1 Stål .....	13
3.1.2 Betong.....	14
3.1.3 Tre.....	15
3.2 Klima.....	17
3.2.1 Klimaendringer .....	17
3.2.2 Global oppvarming .....	17
3.2.3 Klimagassutslipp i Norge.....	18
3.2.4 Det grønne skiftet.....	18
3.2.5 Klimagassutslipp i byggebransjen.....	19
3.2.6 Livssyklusanalyse .....	19
3.2.7 EPD.....	20
3.2.8 NS3720 Datakvalitet .....	20
3.2.9 Ombruk og vedlikehold .....	21
4 Lastberegning .....	22
4.1 Egenlast .....	22
4.2 Nyttelast.....	22

4.3 Snølast .....	23
4.4 Vindlast.....	23
4.5 Seismisk last .....	25
4.6 Grensetilstander .....	26
4.7 Lastkombinasjoner .....	26
5 Bæresystem 1.....	28
5.1 Hulldekke .....	28
5.2 Valg av løsninger .....	29
5.2.1 Dekkeløsning.....	29
5.2.2 Bjelker .....	30
5.2.3 Søyler .....	31
5.3 Dimensjonering.....	32
5.3.1 Dekker.....	32
5.3.2 Bjelker .....	33
5.3.3 Søyler .....	34
5.3.4 Nedbøyning.....	35
6 Bæresystem 2.....	36
6.1 Trebjelkelag.....	36
6.2 Valg av løsninger .....	37
6.2.1 Etasjeskiller og bjelker .....	38
6.2.2 Søyler .....	41

6.2.3 Bindingsverk .....	42
6.3 Dimensjonering .....	44
6.3.1 Bjelker .....	44
6.3.2 Søyler .....	47
6.3.3 Nedbøyning .....	47
7 Resultat .....	49
7.1 Livssyklusanalyse .....	49
7.1.1 Betong .....	49
7.1.2 Tre .....	51
7.1.3 Sammenligning .....	52
8 Diskusjon .....	54
9 Konklusjon .....	55
10 Forslag til videre arbeid .....	56
11 Referanser .....	57



## Figurliste

Figur 1 Arkitektmodell av garderobebygg for Hydro Husnes (TAG Arkitekter, 2022). .....	1
Figur 2 Kart som viser hvor Husnes ligger i forhold til Bergen (Kartverket, u.å). .....	1
Figur 3 Snitt av Plan 01 (TAG Arkitekter, 2022). .....	2
Figur 4 Snitt av bygg sett fra kortsiden (TAG Arkitekter, 2022). .....	2
Figur 5 Snitt av bygg sett fra langsiden (TAG Arkitekter, 2022). .....	3
Figur 6 Modell fra arkitekt (TAG Arkitekter, 2022). .....	4
Figur 7 Illustrasjon av fundament og vegger som skal ta eventuelt jordtrykk. Hentet fra Revit5	
Figur 8 Illustrasjon av Bæresystem 1 til venstre og Bæresystem 2 til høyre. Hentet fra Solibri 8	
Figur 9 Trevirkets fasthet avhengig av belastningstiden (SINTEF, 2015) .....	16
Figur 10 Kart som viser 671m fra sone III til I (Kartverket, u.å) .....	23
Figur 11 Illustrerer 10km radius (Google, u.å) .....	24
Figur 12 Vindsoner for vegger. Hentet fra OS-prog .....	24
Figur 13 Vindsoner for taket. Hentet fra OS-prog.....	25
Figur 14 Illustrasjon av bæresystem 1. Hentet fra Solibri.....	28
Figur 15 Bilde av hulldekker (Betongelementforeningen, 2010). .....	29
Figur 16 Illustrasjon av dekkeløsningen. Hentet fra Solibri .....	30
Figur 17 Illustrasjon viser hvor stålbjelkene er plassert. Hentet fra Solibri.....	31
Figur 18 Illustrasjon av betongsøyler. Hentet fra Solibri .....	32
Figur 19 Bæreevne for hulldekker (Betongelementforeningen, 2010). .....	33

Figur 20 Dimensjonerende lastkapasiteter for fritt opplagte HE-A bjelker ved jevnt fordelt last (SINTEF, 2018a).....	34
Figur 21 Tabell om dimensjonerende aksiallastkapasitet til betongsøyler basert på tverrsnittsdimensjoner (SINTEF, 2012) .....	35
Figur 22 Illustrasjon av Bæresystem 2. Hentet fra Solibri.....	36
Figur 23 Illustrasjon av bjelkelag. Hentet fra Solibri .....	37
Figur 24 Illustrasjon horisontalt aksesystem sett ovenfra. Hentet fra Revit .....	38
Figur 25 Illustrasjon etasjeskille Plan TEK. Hentet fra Solibri.....	39
Figur 26 Illustrasjon etasjeskille Plan 01. Hentet fra Solibri.....	40
Figur 27 Illustrasjon av tak Plan 02. Hentet fra Solibri .....	41
Figur 28 Illustrasjon innvendige søyler i Plan U1. Hentet fra Solibri.....	42
Figur 29 Illustrasjon av bindingsverk. Hentet fra Solibri .....	43
Figur 30 Opplegg av gulvbjelker på yttervegg av tre (SINTEF, 2011a) .....	43
Figur 31 Illustrasjon som viser opplegg på trevegg. Hentet fra Solibri .....	44
Figur 32 Dimensjonerende lastkapasiteter for fritt opplagte HE-A bjelker ved jevnt fordelt last (SINTEF, 2018a).....	45
Figur 33 Illustrasjon av trebjelker. Hentet fra Solibri .....	46
Figur 34 Dimensjonerende lastkapasiteter for fritt opplagte IPE bjelker ved jevnt fordelt last (SINTEF, 2018a). .....	46
Figur 35 Dimensjonerende lastkapasitet for kvadratiske stålsøyler av type KFHUP (SINTEF, 2018b) .....	47
Figur 36 Illustrasjon snudd spennretning av bjelkelag hvor nedbøyning kan inntreffe. Hentet fra Solibri .....	48

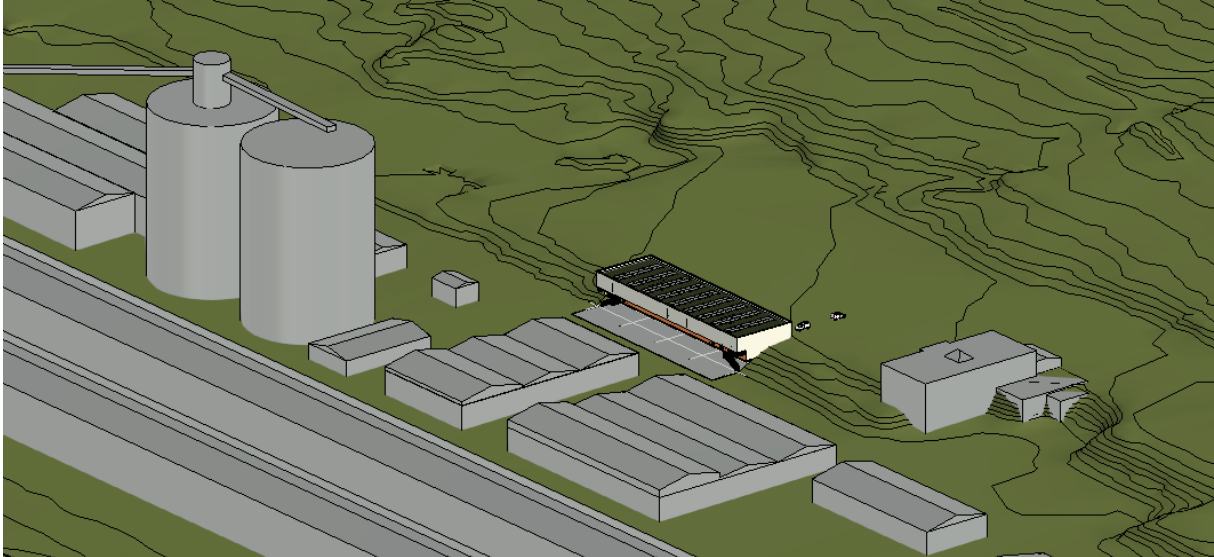
Figur 37 Diagram som viser klimagassutslipp fordelt på strukturer. Hentet fra Excel .....	50
Figur 38 Diagram som viser klimagassutslipp fordelt på materialer (One Click LCA, u.å) .....	50
Figur 39 Diagram som viser klimagassutslipp fordelt på strukturer. Hentet fra Excel .....	51
Figur 40 Diagram som viser klimagassutslipp fordelt på materialer (One Click LCA, u.å) .....	51
Figur 41 Oversikt over klimagassutslipp fra livssyklus-stadier (One Click LCA, u.å) .....	53

## Tabelliste

Tabell 1 Oversikt over standarder .....	10
Tabell 2 Vindlast på vegger .....	24
Tabell 3 Vindlast på taket .....	25
Tabell 4 Dimensjonerende verdier for laster .....	27
Tabell 5 Fasene i livssyklusanalyse. Bearbeidet fra (Standard Norge, 2018).....	49

# 1 Innledning

## 1.1 Garderobebygg Hydro Husnes



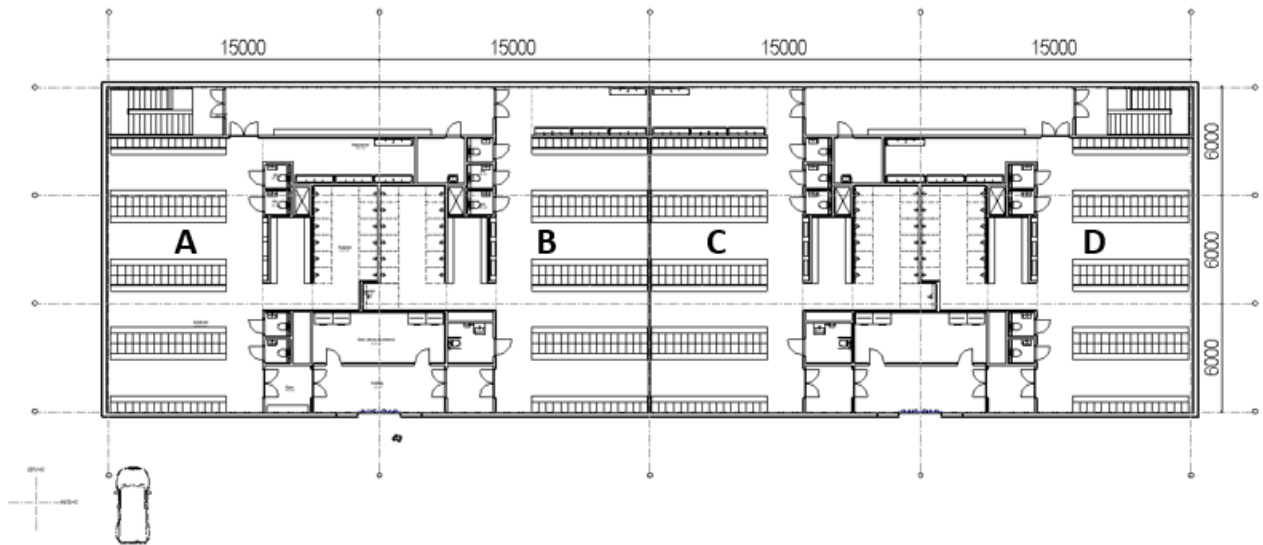
Figur 1 Arkitektmodell av garderobebygg for Hydro Husnes (TAG Arkitekter, 2022).

Oppgaven er utarbeidet i samarbeid med Sweco AS som har fått i oppdrag å utrede et tidligprosjekt for en ny herregarderobe ved en parkeringsplass i nærheten av anlegget til Hydro. Anlegget ligger på Husnes i Kvinnherad kommune, sør for Bergen, se figur 2.

Garderobebygget skal være dimensjonert for ca. 500 arbeidere og deles inn i fire garderobeavdelinger som benevnes som garderobe A, B, C og D, se figur 3. Det er planlagt at det jobbes 5 skiftordninger fordelt på 3 skift per dag, noe som betyr at det vil være 160-180 personer som skifter samtidig i garderobene. Etasjene har et areal på omtrent 1000m<sup>2</sup>, men Plan 01 er noe større enn de andre på grunn av en utstikker på 2.4m.

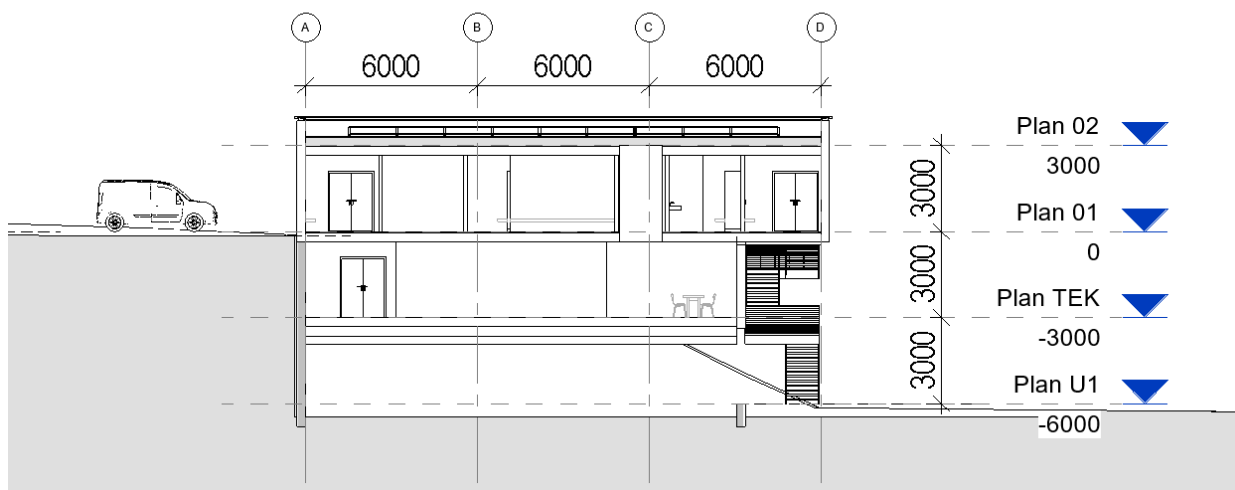


Figur 2 Kart som viser hvor Husnes ligger i forhold til Bergen (Kartverket, u.å).



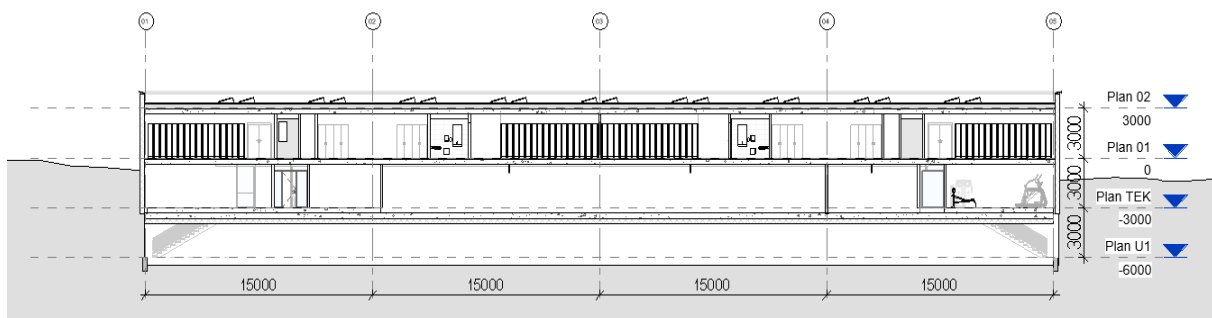
Figur 3 Snitt av Plan 01 (TAG Arkitekter, 2022).

Den totale høyden på bygget er 9m, der hver etasje utgjør 3m. Bredden på bygget er 18m inkludert utstikkeren, og 60m langt. Etasjene er henholdsvis delt inn i Plan U1, Plan TEK, Plan 01 og Plan 02, se figur 4 og 5.



Figur 4 Snitt av bygg sett fra kortsiden (TAG Arkitekter, 2022).

Horisontale akser fra opprinnelige arkitekttegninger blir endret i rapporten, for å være bedre egnet for vårt bæresystem. Det nye aksesystemet vil ikke ha innvirkning for bæresystem 1, men vil ha en betydning for plassering av søyler i bæresystem 2, dette forklares nærmere i kapittel 6.



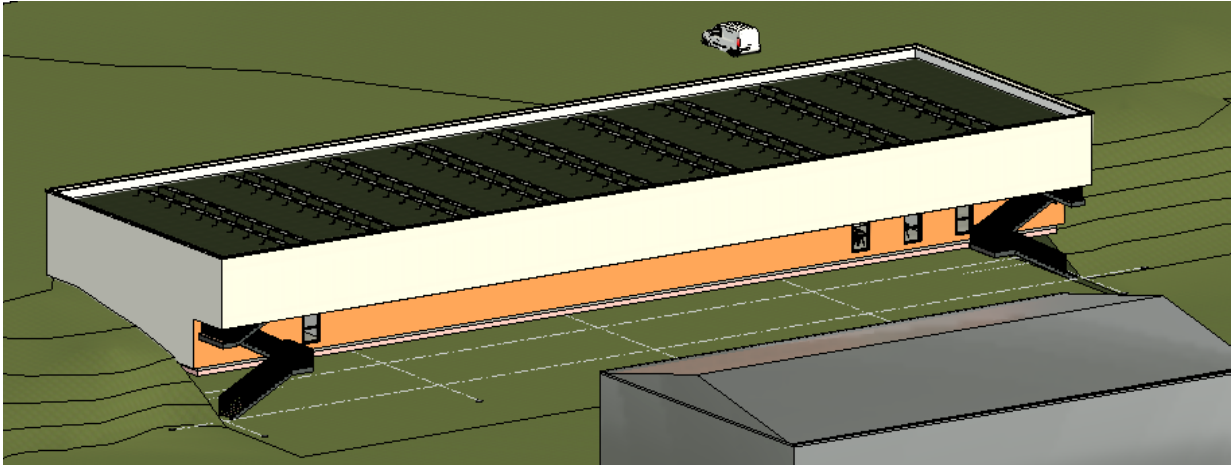
Figur 5 Snitt av bygg sett fra langsiden (TAG Arkitekter, 2022).

## 1.2 Bakgrunn

Bakgrunnen for dette prosjektet er knyttet til Sweco sitt oppdrag som er å prosjektere et garderobebygg på Husnes. I denne sammenhengen har vi blitt bedt om å utforske og kvantifisere forskjellene mellom utslipp av klimagasser i et bæresystem laget av tre, og et bæresystem laget av betong. Sweco har indikert at de forventer at bæresystemet i tre vil ha lavere klimagassutslipp enn betongalternativet, og ønsker å få et tallfestet estimat på hvor stor forskjellen faktisk er.

Betong er vanligvis mye brukt i prosjekteringen av store bygninger på grunn av materialets sine fordelaktige egenskaper med hensyn til kapasitet og spennvidde. Imidlertid kan det hende at betong ikke alltid er den mest hensiktsmessige løsningen når det gjelder miljøpåvirkning, og det er dette temaet som vil bli undersøkt nærmere i denne rapporten.

Prosjektet som er blitt tildelt er ganske åpent, da det er så tidlig i prosjekteringsfasen at det ikke er fastsatt et bæresystem. Sweco sine arkitekttegninger ble brukt som utgangspunkt for å bestemme de mest hensiktsmessige bæresystemene for strukturen. Modellen som ble levert i Revit-format, inkluderte plantegninger, oppriss, snitt og mål som var nyttige i arbeidet med å modellere opp bæresystemene.



Figur 6 Modell fra arkitekt (TAG Arkitekter, 2022).

### 1.3 Problemformulering

Hva er forskjellene i klimagassutslipp mellom et bæresystem i tre og et bæresystem i betong i et konstruksjonsprosjekt, og hvilken av de to alternativene gir lavest utslipp?

Dette prosjektet har som formål å utforske forskjellene i klimagassutslipp mellom et bæresystem i tre og et bæresystem i betong. For å kunne sammenligne de to alternativene vil vi gjennomføre en livsløpsvurdering av miljøbelastningen. Gjennom manuelle beregninger og beregningsprogrammer vil bæresystemene bli dimensjonert. Resultatene av denne analysen vil kunne gi en sammenligning av de totale utslippene for hvert av alternativene og estimere størrelsen på forskjellen mellom dem.

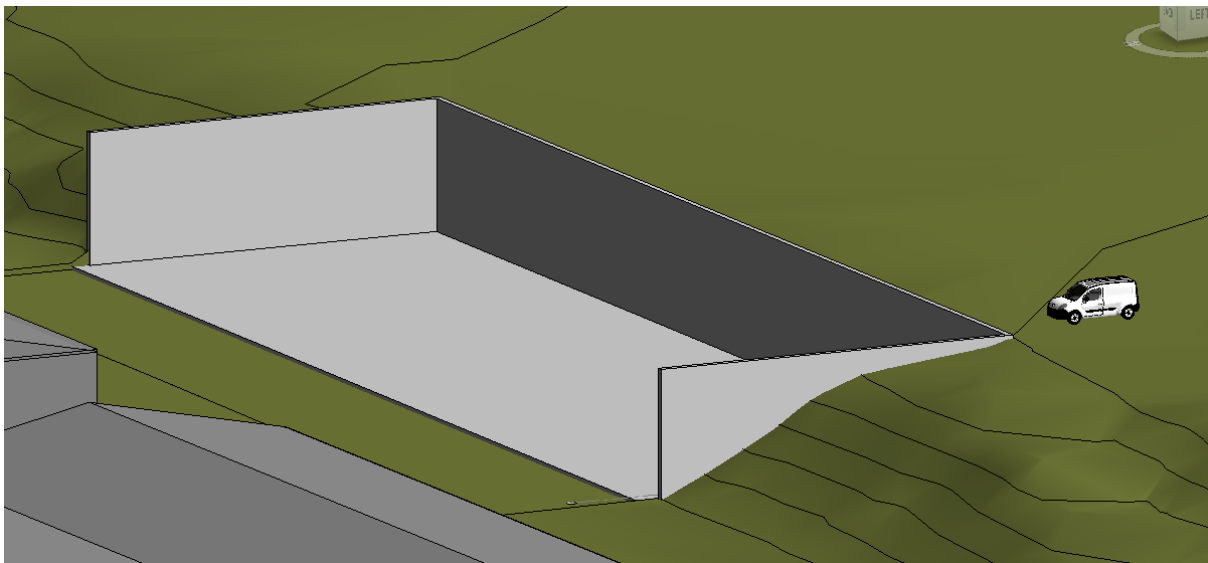
### 1.4 Avgrensninger

I denne rapporten er det gjort visse avgrensninger når det kommer til dimensjoneringen av bæresystemene. Dette er gjort for å unngå å bruke for mye av rapportens tid på detaljerte dimensjoneringsberegninger som ikke er direkte relevante for formålet med rapporten.

I forbindelse med fastsetting og bestemmelse av bæresystemene har det blitt gjort en forenkling ved å ikke ta hensyn til plassering av vinduer, dører, trapper og heiser. Fundament og vegger mot grunn er ikke tatt med i livssyklusanalysen, fordi disse også vil være forenklet antatt likt for begge konstruksjoner. Det er imidlertid viktig å huske på hvordan valg av

fundamenttykkelse kan påvirke bygningens stabilitet og levetid, og at det er viktig å følge byggeforskrifter og standarder for å sikre en trygg og holdbar konstruksjon.

Bygningen er omgitt av terreng på tre av sine fire sider, og dette gir opphav til jordtrykk som må tas i betraktning. For å motvirke dette jordtrykket er det vanlig å forsterke bygningens struktur ved å støpe vegger der kreftene opptrer, slik at bygget kan tåle de kreftene som jordtrykket påfører. Uten å ha foretatt beregninger, er det denne løsningen som er blitt valgt, se figur 7.



Figur 7 Illustrasjon av fundament og vegger som skal ta eventuelt jordtrykk. Hentet fra Revit

Det antas at veggplater vil avstive bygget, og det er derfor ikke utført beregninger på dette. Videre er det ikke gjennomført jordskjelvberegninger, da dette blir nedprioritert i rapporten. Det er antatt tilstrekkelig opplegg for horisontale bæreelementer langs vegger mot grunn i form av likebeinte vinkelbjelker. Vinkelbjelker i stål brukes ofte som støttestrukturer i for eksempel tak, vegger eller gulv. Vinkelbjelke passet derfor godt som støtte oppunder hulldekkene, men brukes også for bæresystemet i tre.

Det vil bli utført nærmere beregninger på den mest utsatte konstruksjonsdelen. For øvrig vil tabellverdier bli benyttet for dimensjonering av resten av bæresystemet. Dette er gjort for å sikre at analysen blir så nøyaktig som mulig, samtidig som det unngås å bruke mye tid og ressurser på detaljerte beregninger.



Det kan være mange faktorer som avgjør hvor klimavennlig et bygg kan være. Det ble derfor valgt å avgrense sammenligningen til å bare se på forskjellen i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, fordi det som oftest har den største miljøpåvirkningen. Ifølge KLP er CO<sub>2</sub>-ekvivalenter «... den vanligste måleenheten for alle typer klimagasser, og brukes for å regne om forskjellige klimagassutslipp til CO<sub>2</sub>-verdier.» (KLP, u.å).

Ved å gjøre slike forenklinger, reduseres kompleksiteten i oppgaven og fokuset holdes på andre viktige faktorer som har innvirkning på det overordnede formålet med oppgaven.

## 2 Fremgangsmåte

I denne teksten nevnes det ulike verktøy og programvarer som vil bli benyttet i prosjekteringen av bæresystem.

For å kunne besvare oppgavens problemstilling på en fullgod måte, krever det nøye vurdering av valg av fremgangsmåte og løsninger. Det er avgjørende å ha en grundig forståelse av relevant teori, for å øke rapportens pålitelighet.

Litteratursøk er et viktig verktøy i enhver forskningsprosess for å skaffe nødvendig informasjon, dette gjelder da søk og manuell gjennomgang av relevante artikler, som forskningsartikler og informasjon funnet fra anerkjente norske sider. Her er det viktig å være kritisk til kilder og nøye vurdere kvaliteten av disse. Det inkluderer å undersøke om kildene er vitenskapelige, pålitelige, nylig publisert og om det baserer seg på forskning.

Det er også organisert møter med lærere som underviser i relevante konstruksjonsfag. Disse møtene er svært verdifulle for å få innspill og tilbakemeldinger på alt arbeid som gjøres. Det gjør det mulig å diskutere våre funn og metoder med personer som har ekspertise på området, og motta tilbakemeldinger på hvordan rapporten kan forbedres og gjøres mer nøyaktig og pålitelig.

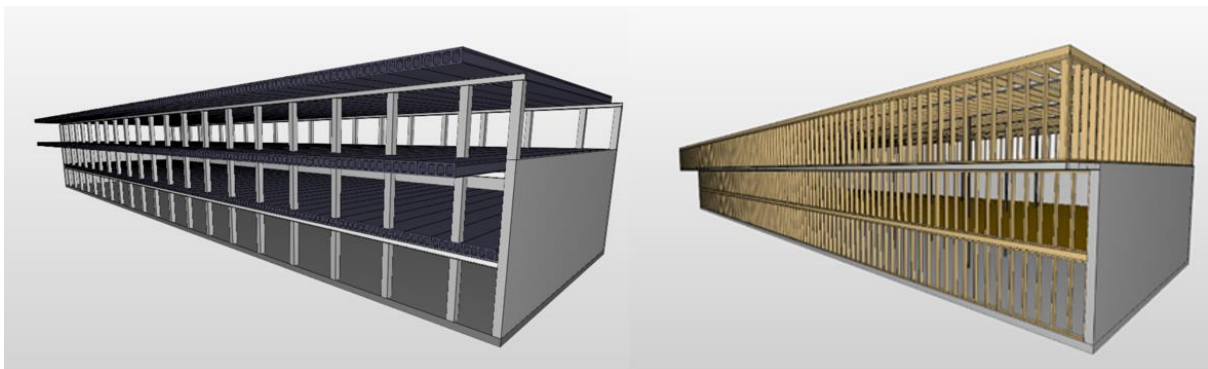
For å bestemme bæresystemene har det blitt tatt hensyn til kravene som er fastsatt i norsk Byggteknisk forskrift (TEK17). §10-2 i TEK17 sier «Byggverket skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot brudd og tilstrekkelig stivhet og stabilitet for laster som kan oppstå under forutsatt bruk. Kravet gjelder byggverk under utførelse og endelig tilstand» (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). I tillegg til å følge krav som er fastsatt i norske byggtekniske forskrifter har fagpersoner innenfor byggebransjen blitt konsultert, tidligere løsninger har blitt undersøkt, og detaljerte løsningsforslag fra Byggforsk har blitt benyttet som en del av prosessen med å bestemme bæresystemene. Eurokodeserien sammen med nasjonalt tillegg har lagt grunnlaget for å gi bæresystemene tilfredsstillende sikkerhet.

Spesifikke krav er satt for nedbøyning av utstikker, da for stor nedbøyning vil svekke konstruksjonsdelenes bestandighet. Kravet er satt til  $\left(\frac{1}{200}\right) \cdot \text{spennvidde}$ , etter NS-EN 1990

for tilnærmet permanent last, som brukes for konstruksjoner med alminnelige brukskrav. Dette er et moderat krav, men antas likevel å kunne gi tilstrekkelig stabilitet. Videre er kravene satt til å være innenfor Byggforskserien sine anbefalinger, og bruddgrensekontroll i henhold til Eurokodeserien.

Datakvaliteten til verdier brukt i klimagassberegninger er inndelt i to nivåer. I denne rapporten blir det brukt verdier av datakvalitet 2, som blir forklart videre i kapittel 3.2.8. Dette sees på som et passende nivå med tanke på rapportens omfang og problemstilling.

Bæresystemet i betong har blitt betegnet som "Bæresystem 1" og bæresystemet i tre har blitt betegnet som "Bæresystem 2", se figur 8.



Figur 8 Illustrasjon av Bæresystem 1 til venstre og Bæresystem 2 til høyre. Hentet fra Solibri

## 2.1 Programvare

For å utføre beregninger og illustrere bæresystem vil det benyttes forskjellige programvarer. Det er viktig å velge programvarer som er egnet for arbeidet som skal bli utført, og å bruke dem på en måte som er i samsvar med vanlig praksis og standarder innenfor feltet.

### 2.1.1 PTC MathCAD Prime 9.0

MathCAD er et enkelt program for beregninger og dokumentasjon. Programmet gir gode muligheter for kontinuerlige endringer i regnearket slik at oppdaterte resultat blir tilgjengelige.

### 2.1.2 OS-prog

Sletten Byggedata er en programvare som er utviklet med hensikt å beregne og dimensjonere betongkonstruksjoner. (Focus Software AS, u.å). Programmet er laget av Ove Sletten.

### 2.1.3 One Click LCA

One Click LCA er en programvare for livssyklusanalyse (LCA) som kan brukes til å evaluere miljøprestasjonene til bygninger og infrastrukturprosjekter. Programvaren gir brukerne en omfattende og detaljert analyse av materialer, energiforbruk, utslipp og avfall som oppstår gjennom hele livssyklusen til et prosjekt, fra råvareutvinning til avhending.

One Click LCA kan brukes til å beregne og rapportere klimagassutslipp, energiforbruk, vannforbruk, avfallsgenerering og andre miljøpåvirkninger. Programvaren er spesielt nyttig for å oppnå sertifiseringer og miljøklassifiseringer som LEED, BREEAM, DGNB og WELL. Programvaren gjør det enklere for arkitekter, ingeniører og entreprenører å ta informerte beslutninger for å redusere miljøpåvirkningene til sine prosjekter (One Click LCA, u.å).

### 2.1.4 Autodesk Revit

Revit er en programvare for bygningsinformasjonsmodellering (BIM) som brukes til å designe, visualisere og dokumentere bygg- og infrastrukturprosjekter. Programvaren er utviklet av Autodesk og er spesielt utformet for å hjelpe arkitekter, ingeniører, entreprenører og byggherrer å samarbeide og kommunisere effektivt i hele prosjektets livssyklus.

Med Revit kan brukerne lage en 3D-modell av bygningen og utføre analyse av strukturelle-, termiske-, elektriske- og VVS-systemer. Modellen inneholder all informasjon om bygningen, inkludert geometri, materialer, belastninger, energibruk og kostnader. Dette gjør det mulig å visualisere, teste ulike designalternativer og evaluere bygningens ytelse. Programvaren er også integrert med andre Autodesk-verktøy som gir en god arbeidsflyt i hele prosjektet (Autodesk, u.å).

### 2.1.5 Solibri

Solibri er et program for modellbasert kvalitets- og kollisjonskontroll for byggebransjen. Det er designet for å hjelpe bygg- og anleggsbransjen med å forbedre kvaliteten på modeller og data, samtidig som det reduserer kostnadene og øker produktiviteten.

Solibri brukes normalt til å analysere BIM-modeller for å identifisere kollisjoner, feil og avvik. Programvaren gjør det mulig å utføre tverrfaglig samordning av design og konstruksjon, og hjelper team å identifisere potensielle problemer før de oppstår på byggeplassen. Dette bidrar til å redusere kostnader og forbedre prosjektets kvalitet og sikre god fremdrift. Solibri fungerer også godt som et verktøy for å visualisere prosjekter, og gir en rekke verktøy for å inspisere og analysere modeller nærmere (Solibri, u.å).

### 2.2 Eurokoder

Eurokoder er den europeiske standardserien for prosjektering og dokumentering av byggverk og dets bæreevne. Byggverk omfatter alt som blir bygget eller er et resultat av byggearbeid, og inkluderer både bygninger og anleggskonstruksjoner (Standard Norge, u.å). Eurokodene inneholder altså standarder for ulike materialer, konstruksjonstyper og andre produkter som vil være nødvendig for utforming av byggverk.

Tabell 1 Oversikt over standarder

Standard	Forkortelse
NS-EN 1990. Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.	EC0
NS-EN 1991-1-1. Laster på konstruksjoner.	EC1-1
NS-EN 1991-1-3. Allmenne laster snølaster.	EC1-3
NS-EN 1991-1-4 Allmenne laster vindlaster.	EC1-4
NS-EN 1992-1-1. Prosjektering av betongkonstruksjoner.	EC2

NS-EN 1993-1-1. Prosjektering av stålkonstruksjoner.	EC3-1
NS-EN 1993-1-8. Stålkonstruksjoner. Knutepunkter og forbindelser.	EC3-8
NS-EN 1995-1-1. Prosjektering av trekonstruksjoner.	EC5-1

### 2.3 NS 3720:2018 Beregning av klimagassutslipp

Metode for klimagassberegning NS 3720:2018 er en norsk standard for beregning av klimagassutslipp fra bygg og anlegg. Standarden gir en metodikk for å beregne klimagassutslipp gjennom hele livssyklusen til et bygg eller anlegg, inkludert produksjon av materialer, bygging, drift og avhending.

Målet med standarden er å bidra til reduksjon av klimagassutslipp fra bygg og anlegg. Den gir retningslinjer for hvordan man skal identifisere, kvantifisere og rapportere klimagassutslipp fra ulike kilder i bygg- og anleggsprosjekter, og gir også retningslinjer for hvordan man kan redusere klimagassutslippene. NS 3720:2018 er en viktig standard for aktører i bygg- og anleggsbransjen, både for å redusere klimagassutslippene fra egne prosjekter og for å møte krav fra myndigheter og andre interessenter (Standard Norge, 2022).

### 2.4 Byggforskserien

Byggforskserien er utviklet av SINTEF Byggforsk, som er et internasjonalt ledende Forskningsinstitutt. Serien kommer med en rekke veiledninger og anbefalinger som er nyttig ved utformingen av byggverk. Anbefalingene innfrir gjeldende regelverk, og gir veldokumenterte løsninger. Byggforskserien blir henviset til flere ganger rapporten, da den inneholder preaksepterte løsninger der det er gitte verdier som er gunstig å ta i bruk i denne rapporten.

## 2.5 Byggteknisk forskrift 2017 (TEK17)

Selv om det er ulike lover og regler som regulerer byggeprosesser i Norge, er TEK17 av sentral betydning for å sikre at byggverk oppføres på en måte som er lovlig, og oppfyller minimumskravene for god visuell kvalitet, universell utforming og tekniske kvaliteter.

Forskriften har som formål å sikre at byggeprosjekter planlegges, prosjekteres og gjennomføres på en måte som ivaretar hensynet til sikkerhet, miljø, helse og energi. Med andre ord har TEK17 som mål å sikre at byggverk har tilstrekkelige egenskaper og kvaliteter slik at de kan fungere som planlagt.

## 3 Teori

### 3.1 Materialer

Når man skal velge materialer for et bygg, er det flere faktorer som bør tas i betraktning. For det første må man vurdere bygningens formål og funksjon. Dette vil påvirke hvilke materialer som er best egnet til prosjektet. Et industribygg vil ha andre krav til materialer enn et bolighus eller et kontorbygg. En annen viktig faktor er bygningens beliggenhet og klimatiske forhold. Klimaet vil ha innvirkning på valg av materialer, spesielt med tanke på isolasjon, værbestandighet og motstand mot fuktighet. Kostnadene er også en avgjørende faktor når man skal velge materialer. Variasjoner i pris gjør det viktig å finne en balanse mellom pris og kvalitet.

Valg av materialer kan ha stor innvirkning på klimaregnskapet, da produksjon og transport av materialer kan føre til store utslipp av klimagasser. Dette kan ha betydning for bygningens energiforbruk og levetid, og dermed den totale miljøpåvirkningen. Ved å vurdere to ulike bæresystemer og hvordan de påvirker klimaregnskapet, kan en vurdere materialbruken til systemene i forhold til dette. Klimaregnskapet kan inkludere materialenes karbonavtrykk og energiforbruk, i tillegg til avfallshåndtering og resirkulering.

#### 3.1.1 Stål

Stål er et populært byggemateriale som har blitt brukt i århundrer. Det lages ved å kombinere jern med andre elementer, som karbon og mangan, for å skape en legering som er sterkere og mer holdbar enn rent jern. Som byggemateriale kan stål tåle store påkjenninger uten å deformere eller bryte sammen. Stål et høyt styrke-til-vekt-forhold som gjør det gunstig å jobbe med (Solberg, Christensen, & Almar-Næss, 2022).

Konstruksjonsstål kan klassifiseres i ulike styrkeklasser. Vanlige styrkeklasser for konstruksjonsstål inkluderer S235, S275, S355 og S450, hvor S355 er av den mest vanlige. Disse klassene indikerer den karakteristiske flytegrensen til stålet, som er en viktig parameter for å evaluere styrken og egenskapene til materialet (Standard Norge, 2005).



Stål har også en fleksibilitet som gjør at det kan deformeres og formes uten at den mister dens styrke. Det kan enkelt kuttes, bøyes og formes til en rekke forskjellige former, og kan brukes til mye forskjellig, som broer, bygninger, skip, plattformer, jernbane, biler og maskiner.

En av ulempene med stål er imidlertid at det kan være dyrt sammenlignet med andre byggematerialer som tre eller betong. Dette er fordi stålkonstruksjoner kan kreve mer vedlikehold enn andre typer konstruksjoner og være mer utsatt for skade fra eksempelvis korrosjon eller brann. Produksjon av stål krever store mengder energi, og det kan føre til betydelige CO<sub>2</sub>-utslipp og andre forurensninger. I tillegg krever produksjonen av stål utvinning av råvarer, inkludert jernmalm og kull, som igjen kan ha negative miljøkonsekvenser.

Selv om stålproduksjon kan ha konsekvenser på miljøet, er stålbjelker og -profiler godt egnet for ombruk. Brukte stålelementer kan være like gode som nye, forutsatt at de ikke har skader i form av sprekker eller rust. Farlig avfall og skadelige stoffer i overflatebehandlingen må håndteres riktig. Ombruk og gjenvinning av konstruksjonsstål fører til betydelig i miljøbelastningen. Ombruk fører til 96% reduksjon, mens gjenvinning ved omsmelting gir en 50% reduksjon sammenlignet med nyprodusert stål (Sørnes, et al., 2014).

### 3.1.2 Betong

Betong er et byggemateriale som vanligvis består av sement, vann, sand, og knust stein eller pukk. Materialblandingen kan også inkludere tilsetningsstoffer for å gi spesielle egenskaper, som for eksempel økt holdbarhet, bedre arbeidsevne, eller redusert vanninnhold.

Fasthetsklassifiseringen av betong er angitt med benevnelser som B20, B30, B35 og B45, og disse korresponderer med målte trykkstyrker uttrykt i megapascal. En høyere tallverdi indikerer en større trykkfasthet (Betongsentrum, 2020).

Betong brukes til en rekke formål, inkludert konstruksjon av bygninger, broer, veier, kaier og tunneler. Det brukes også til å støpe fundamenter, vegger, gulv, tak, og andre konstruksjoner i byggverk (Thue, 2019). Utfordring ved bruk av betong er de store CO<sub>2</sub>-utslippene som kommer ved produksjonen av sement.

Sementproduksjon er en betydelig kilde til miljøproblemer. De vesentlige utslippene kan tilskrives to hovedårsaker. For å produsere sement kreves det store mengder brensel for å oppnå de høye temperaturene som er nødvendige. Videre frigjøres det store mengder CO<sub>2</sub> som følge av karbonatisering av kalkstein, som er hovedkomponenten i sement.

Produksjonens betydelige miljøpåvirkning krever derfor at det blir gjort en innsats for å redusere utslippene av klimagasser og fremme mer bærekraftige produksjonsmetoder.

For å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet i betong, kan man redusere mengden sement som brukes. En av måtene dette kan gjøres på er å bytte ut deler av sementen med tilsetningsstoffer som gir samme effekt som sement. Andre løsninger som kan gi et lavere CO<sub>2</sub>-utslipp, kan være å bruke alternative brennstoff, eller å lage anlegg som fanger en viss mengde av CO<sub>2</sub>-utslippet som kommer av sementproduksjonen (Solberg M. G., 2017).

En annen måte å redusere utslippene på er ombruk av prefabrikkerte betongelementer som er et nytt konsept i bransjen. Det bringer imidlertid visse utfordringer med seg. Demontering kan være en komplisert prosess, samtidig som det er nødvendig å skaffe dokumentasjon på kvalitet og tilpasse de til ny funksjon. Kvaliteten på armeringen må også være i god stand, samt at forurensende komponenter ikke kan ombrukes.

### 3.1.3 Tre

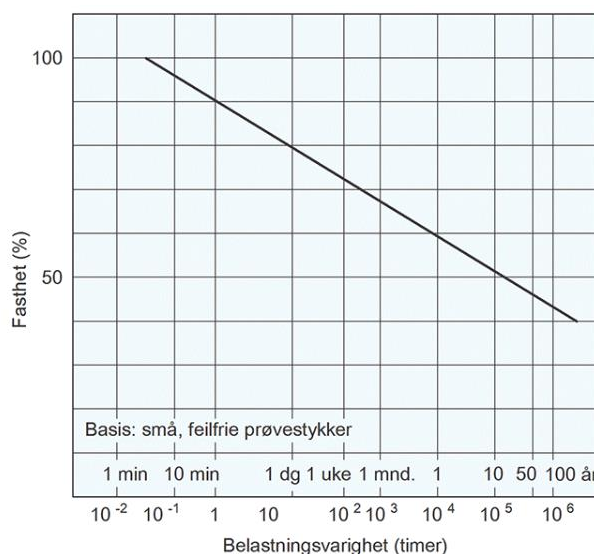
Tre er et organisk materiale sammensatt av celler som danner trefibre. Disse fibre gir treet dets styrke og fleksibilitet. T

re er at det er et sterkt materiale i forhold til sin vekt, lett å bearbeide og miljøvennlig. Tre er et fornybart materiale som kan hogges og plantes på nytt. Det er også biologisk nedbrytbart og kan resirkuleres (TreFokus, u.å).

Styrken og stivheten til tre er de mest interessante egenskapene tre har som byggemateriale. Her er det stor variasjon ut ifra hvilken type tre en velger, og det kan også være stor variasjon innenfor samme type. Ifølge SINTEF (2015) er det en betydelig forskjell i verdiene mellom ulike trær, avhengig av vekstforholdene. For flere egenskaper er det ikke uvanlig å se en variasjon på opptil 50%. Av den grunn blir materialer kategorisert i ulike

fasthetsklasser som C14, C18, C24, C30 og C40, hvor tallverdien øker i takt med styrken (Grønvold, 2019).

I tillegg kommer trær også med såkalte virkesfeil, som kvister og lignende, som påvirker treet sine egenskaper ved konstruksjonsberegninger og praktisk bruk. Videre påvirkes styrken til treet av belastningstiden. En lengre belastningstid resulterer i lavere fasthet sammenlignet med kortere belastningstid, som illustrert i figur 9.



Figur 9 Treverkets fasthet avhengig av belastningstiden (SINTEF, 2015)

Trevirket sin hovedbestanddel, karbon, inngår i karbonets kretsløp. Dette fører til at produksjonen av treprodukter gir gunstige klimaegenskaper. Trær som vokser tar opp CO<sub>2</sub> gjennom fotosyntesen, og lagrer det gjennom livsløpet. CO<sub>2</sub> er fortsatt lagret når treet lages til ulike treprodukter, og slippes ikke ut før naturlig nedbrytning eller nedbrenning (TreFokus, u.å).

Karbonets kretsløp omfatter sirkulasjon av karbon fra luft til vann og planter, videre via jord og dyr, og tilbake til luften igjen (Kjeldsen & Bedin, 2023), og forståelse av denne sirkulasjonen er avgjørende for å adressere globale klimautfordringer.

Ombruk av konstruksjonsvirke og trefiberprodukter er verdifullt for bjelker, søyler og trefiberplater. Konstruksjonsvirke må ha en god nok kvalitet dersom det skal ombrukes for at det kan bli behandlet som nytt materiale. Likevel skal det, ifølge en rapport fra SINTEF, vanligvis være mer kostnadseffektivt å kjøpe nytt trevirke enn å ombruke. Tre er kjent for å være en god ressurs som biomasse i energiproduksjon. Biomasse spiller en viktig rolle som erstatning for fossilt brensel for å motvirke global oppvarming. Derfor kan det argumenteres for at energigjenvinning av brukt konstruksjonsvirke har en verdi som konkurrerer mer med ombruk enn for andre materialgrupper (Sørnes, et al., 2014).

## 3.2 Klima

Miljø er blitt et mer relevant tema, som man i hovedsak knytter klima og CO<sub>2</sub>-utslipp til. Menneskeskapte klimaendringer er et økende problem og gir konsekvenser som påvirker hele befolkningen. Utslippene må ned på global basis, derfor har Norge satt seg mål for å redusere utslippene på tvers av alle sektorer, og å bli et lavutslippsland.

### 3.2.1 Klimaendringer

Klima kan beskrives som en langsiktig endring i det gjennomsnittlige været i et gitt område eller på hele planeten som en helhet (Universitetet i Oslo, 2022).

Forskere gjør regelmessige målinger av blant annet temperatur, ismengde, nedbør og pH-verdier i havet. Endringer som er verdt å merke seg kan omfatte økning i gjennomsnittstemperaturer, endringer i nedbørsmønstre, hyppigere og mer intenst ekstremvær som tørke, flom, stormer og orkaner, og endringer i havnivået.

Klimaendringer har ikke bare en effekt på været, det har også en rekke konsekvenser for blant annet dyreliv, menneskers helse og økonomi. Den gjennomsnittlige temperaturen til jorda har steget med 1.1 grader siden år 1750 og temperaturen ser ut til å stige fortere enn noen gang (FN-sambandet, 2023). At temperaturen til jorda stiger kan føre til at flere dyrearter får endret migrasjonsmønster og kan miste sitt naturlige habitat, som igjen kan føre til utryddelse.

### 3.2.2 Global oppvarming

Global oppvarming skyldes hovedsakelig økt utslipp av klimagasser som CO<sub>2</sub> og metan, og er et resultat av menneskelige aktiviteter som forbrenning av fossile brensler, avskoging og industriell virksomhet. Disse gassene fanger varmen fra solen i atmosfæren og bidrar til å øke temperaturen på jorden.

Negative helsekonsekvenser kan oppstå som følge av global oppvarming. Høyere temperaturer kan føre til økt luftforurensning, som kan føre til økt risiko for

luftveisproblemer. Endringer i nedbørsmønster kan også føre til spredning av sykdommer som malaria og denguefeber, da mygg kan trives i områder som tidligere var for kalde for dem.

Global oppvarming kan også medføre økonomiske utfordringer. Endringer i værmønster kan forårsake skader på infrastruktur og påvirke viktige økonomiske sektorer, som for eksempel landbruk og fiske. Slike konsekvenser er påpekt av FN-sambandet i deres rapport fra 2023 (FN-sambandet, 2023).

### 3.2.3 Klimagassutslipp i Norge

De største utslippskildene til Norge er olje og gass-utvinning, industri, veitrafikk og annen transport (Miljødirektoratet, 2022).

Tall fra Statistisk sentralbyrå (SSB) viser at utslipp av klimagasser i Norge var på 48.9 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i 2021. Statistikk fra SSB viser også at det har blitt rapportert en nedgang på millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter tilsvarende 0.7% fra 2020 til 2021 og en nedgang på 4.7% fra 1990 til 2021 (Statistisk sentralbyrå, 2022)

### 3.2.4 Det grønne skiftet

Det grønne skiftet er en omfattende overgang fra fossile brensler og andre kilder til energi som gir store utslipp av klimagasser, til mer bærekraftige og miljøvennlige alternativer. Norge har iverksatt flere tiltak for å bidra til å hindre klimaendringer. Landet har satt mål for å redusere sitt karbonavtrykk, med en plan om å redusere utslippene med 50-55% innen 2030 sammenlignet med nivåene fra 1990. I tillegg er deres langsiktige mål å redusere utslippene med 90-95% innen 2050, og dermed bli et lavutslippsland.

Norge har gjort betydelige investeringer i fornybare energikilder, inkludert vannkraft og vindenergi, samt teknologier for energieffektivisering og reduksjon av utslipp fra transportsektoren og industrien. Videre har landet innført en av verdens høyeste karbonskatter. (Regjeringen, 2021).

### 3.2.5 Klimagassutslipp i byggebransjen

Asplan Viak utarbeidet i 2022 en rapport på oppdrag fra Entreprenørforeningen - Bygg og Anlegg (EBA), som tar for seg klimagassutslippene i bygg- og anleggssektoren i Norge. Ifølge analysen står bygg- og anleggssektoren direkte og indirekte for 15% av de totale klimagassutslippene fra norsk økonomisk aktivitet. Det mest betydningsfulle bidraget til disse 15% kommer fra klimagassutslipp i andre sektorer. Blant klimagassutslippene i andre sektorer er produksjonen av byggevarer den største bidragsyteren med 49% av utslippene.

Rapporten avdekker også at bygg og anlegg har en vesentlig klimapåvirkning gjennom import. Importen bidrar med hele 42% av de totale globale klimagassutslippene som norsk bygg- og anleggssektor er ansvarlig for. Dette understreker behovet for å ta hensyn til utslippene knyttet til materialer og produkter som importeres i byggeprosjekter (Larsen, Sandberg, & Heggelund, 2022).

### 3.2.6 Livssyklusanalyse

Livssyklusanalyse, eller Life Cycle Assessment (LCA), en metode for å vurdere miljøpåvirkninger knyttet til alle stadier i et produkts liv, fra utvinning av råvarer, via materialbehandling, produksjon, distribusjon og bruk, fra vugge til grav (SINTEF, u.å). Begrepet produkt omfatter både varer og tjenester (Standard Norge, 2006). Ved å bruke LCA kan man identifisere hvor det er mulig å gjøre endringer for å redusere miljøpåvirkningen.

LCA evaluerer alle miljømessige påvirkninger, inkludert klimagassutslipp, vannforbruk, ressursforbruk og avfall. Siden LCA tar hensyn til alle stadier i livssyklusen til produktet, kan det bidra til å identifisere mulige miljøforbedringer på tvers av hele verdikjeden, og fange opp eventuelle utslippsforskyvninger som kan oppstå hvis man gjør endringer i en del av livssyklusen. For eksempel kan det hende at et produkt som produseres på en mer miljøvennlig måte fører til mindre utslipp i produksjonsfasen, men mer utslipp i transportfasen fordi produktet må fraktes lenger.

Ved å bruke LCA kan man identifisere denne typen utslippsforskyvninger og sørge for at

tiltakene som gjøres faktisk fører til en reduksjon i de totale miljøpåvirkningene gjennom hele livssyklusen til produktet. Dette gir en mer helhetlig forståelse av den miljømessige påvirkningen av det som produseres og brukes, og hjelper å ta mer informerte valg for å redusere samlet miljøpåvirkning.

### 3.2.7 EPD

En miljødeklarasjon, eller Environmental Product Declaration (EPD), er et kortfattet dokument som oppsummerer miljøprofilen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste på en standardisert og objektiv måte (EPD-Norge, u.å.).

EPD-er er basert på en standardisert metodikk, og de gir kvantitativ informasjon om en rekke miljøparametere, inkludert utslipp av klimagasser, energiforbruk, ressursforbruk, avfall og vannforbruk. På denne måten kan forbrukere og andre interessenter ta mer informerte valg om hva slags produkter de ønsker å kjøpe, og produsenter kan bruke informasjonen til å forbedre miljøprestasjonen til produktene sine.

### 3.2.8 NS3720 Datakvalitet

I standarden for beregning av klimagassutslipp skilles det mellom to nivåer av datakvalitet, nivå 1 og nivå 2.

Nivå 1 er spesifikke data målt for et bestemt produkt og/eller en konkret tjeneste. Grunnlaget for dataene skal reflektere det reelle produktet eller tjenesten, innenfor det gitte tidsrommet. For at dataene skal oppfylle kravene i nivå 1, må det verifiseres av en tredjeparts miljødeklarasjon i henhold til NS-EN 15804.

Nivå 2 er generiske data, der det tas gjennomsnitt for produktet eller tjenesten i område i gitte tidsrom. Nivå 2 er alle LCA-data som ikke tilfredsstillter kravene til nivå 1. Dataene som brukes bør ikke være eldre enn 10 år (Standard Norge, 2018).

I denne rapporten benyttes datakvalitet av nivå 2, ettersom prosjektet er i tidligfase. Som en konsekvens vil resultatene fra rapporten ikke være så nøyaktige som de ville vært,

sammenlignet med bruk av data av høyere kvalitet.

### 3.2.9 Ombruk og vedlikehold

Produksjon av byggematerialer og byggenæringen generelt bidrar til store mengder utslipp og avfall. Ombruk og vedlikehold kan derfor være svært effektive måter å redusere klimagassutslippene i byggebransjen på (Regjeringen, 2022).

I byggebransjen er det mulig å ombruke materialer og strukturer fra tidligere strukturer for å bygge nytt. Gjennom ombruk av betong, trevirke og andre materialer kan man redusere utslippene forbundet med produksjon og transport av nye materialer. I tillegg bidrar ombruk til å redusere mengden avfall som må håndteres.

Selv om det kan kreve planlegging, økonomiske ressurser og begrenset miljømessig gevinst i begynnelsen, har ombruk potensial til å støtte bærekraftige byggeprosjekter over tid. Ved å ombruke materialer elimineres utslippene som oppstår i den mest ressurskrevende byggefasen, nemlig produksjonsfasen. For å oppnå dette kreves det en plan for demontering, kvalitetskontroll og dokumentasjon, samt en strategi for videre bruk og distribusjon av materialene.

Når det kommer til ombruk av betong- og treelementer er det viktig at elementene demonteres på en forsiktig måte og at kvaliteten dokumenteres grundig. Ombruk av stål kan være utfordrende, spesielt hvis det er utsatt for skader. Dette gjør gjenvinning av stålet til et vanligere alternativ. Når det gjelder betong, kan gjenvinning innebære bruk av betong som tilslag i andre prosjekter. Tre blir ofte brukt som biomasse for energiproduksjon.

Vedlikehold kan også bidra til å redusere klimagassutslippene i byggebransjen. Gjennom jevnlig vedlikehold og reparasjon av bygg kan man forlenge levetiden til bygningene, slik at man unngår å måtte bygge nye bygninger så ofte. Dette kan igjen redusere utslippene fra produksjon og transport av nye materialer, samt redusere avfallsmengden.



## 4 Lastberegning

### 4.1 Egenlast

I henhold til EC1-1, defineres egenlast som permanente bundne påvirkninger på et byggverk (Standard Norge, 2008). Dette innebærer at egenlasten består av vekten av konstruksjonens egne strukturelle elementer, som bjelker, søyler, vegger, tak og gulv. Permanente bundne påvirkninger refererer til belastninger som er varige og ikke kan fjernes uten å ødelegge konstruksjonen. Det er viktig å ta hensyn til egenlasten ved dimensjonering av byggverk for å sikre at konstruksjonen er sterk nok til å tåle påkjenningene som den vil bli utsatt for over tid.

Rapporten omhandler to ulike bæresystem i forskjellige materialer, som gjør at egenlastene på disse være forskjellige. I Bæresystem 1, er det betongdekket som utgjør den største lasten, på  $5.0\text{kN/m}^2$ , se vedlegg 2.1. I Bæresystem 2, er tre den største egenlasten, men det vil være nyttefasten som utgjør den største påkjenningen på bygget.

For å finne egenvekt av ulike konstruksjonsdeler er det hovedsakelig brukt erfaringstall fra SINTEF Byggforsk supplert med info fra diverse materialblad.

### 4.2 Nyttelast

Ifølge EC1-1, er nyttefast definert som variable, frie påvirkninger, med mindre standarden fastsetter noe annet (Standard Norge, 2008). Dette innebærer at nyttefasten på en konstruksjon kan variere i størrelse og retning, og kan påføres på ulike deler av en konstruksjon. Eksempler på nyttefast inkluderer mennesker, møbler, utstyr, snø, vind og andre midlertidige påvirkninger. Nyttelasten er en midlertidig belastning på konstruksjonen som kan fjernes uten å ødelegge den. Det er viktig å ta hensyn til nyttefasten ved dimensjonering av konstruksjoner for å sikre at konstruksjonen er sterk nok til å tåle de midlertidige påkjenningene som den vil bli utsatt for.

For begge bæresystemene forblir nyttefasten den samme, siden denne lasten bestemmes ut fra byggets formål og bruksområde. I henhold til EC1-1, vil nyttefasten variere avhengig av bygningens kategori. Basert på antagelser om at garderobebygget faller under samme

kategori som et forsamlingslokale, klassifiseres bygget som kategori C. Videre klassifiseres bygget som kategori C2, siden det er et areal med fastsatte seter. Dette betyr at nyttebelastningen på bygget vil være  $4.0\text{kN/m}^2$ .

#### 4.3 Snølast

Eurokoden definerer snølast som den statiske trykkraften som snø påfører en konstruksjon.

Snølast beregnes etter EC1-3, og tar hensyn til variabler som geografisk plassering av bygget, topografien rundt, byggets varmeutstråling og byggets utforming. Ut fra byggets parametere vil snølasten til bygget være  $1.6\text{kN/m}^2$ , se Vedlegg 2.3.

#### 4.4 Vindlast

Eurokoden definerer vindlast som den dynamiske trykkraften som vind påfører en konstruksjon.

Vindlasten er beregnet etter EC1-4, der referansevindhastigheten til Kvinnherad kommune er  $26\text{ m/s}^2$ . Det vil være rom for reduksjon av denne verdien ved gitte faktorer for nivå, returperiode, retning og årstid. Til sikker side er disse faktorene satt lik 1.0, slik at basisvindhastigheten blir lik vindhastigheten.

Garderobebygget er planlagt å bli plassert på Husnes, og det vil være en kort avstand til et område med en annen terrengruhetskategori. Denne avstanden er omtrent 700 meter, som kan bli sett i figur 10. Ruhetskategoriene er definert basert på terrengets ruhet, der kategori IV har den største ruheten og kategori 0 har den laveste ruheten. Bygget vil bli prosjektert i en sone med ruhetskategori III, med en



Figur 10 Kart som viser 671m fra sone III til I (Kartverket, u.å)

konservervativt fastsatt avstand på 500 meter til kategori I, som er beskrevet i vedlegg 2.4.2.

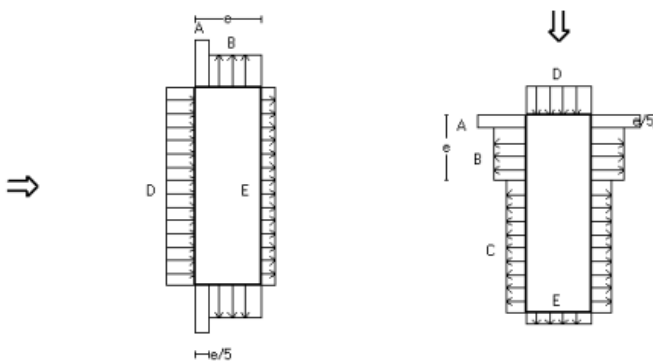


Figur 11 Illustrerer 10km radius (Google, u.å)

Byggested som grenser til nærliggende skråning eller fjell med en helning på  $30^\circ$  eller mer skal ta hensyn til en økning i vindhastigheten ifølge EC1-4. Om dette er tilfellet skal det tas hensyn til en økning av stedvindhastighet. Figur 11 viser området innenfor en 10km radius. Den største helningen innenfor gitt radius overstiger ikke  $30^\circ$  og derfor er det heller ingen topografieffekter, se vedlegg 2.4.1.

Vindhastigheten varierer basert på utforming av bygninger. Når man betrakter et punkt på overflaten, indikerer positivt vindtrykk et trykk som er rettet innover og normalt på flaten, mens negativt vindtrykk indikerer et trykk som er rettet utover og normalt på flaten, også kjent som sug (SINTEF, 2003).

Byggets vegger vil ha ulik lastpåkjenning avhengig av hvilken sone, vist i figur 12 og tabell 2.



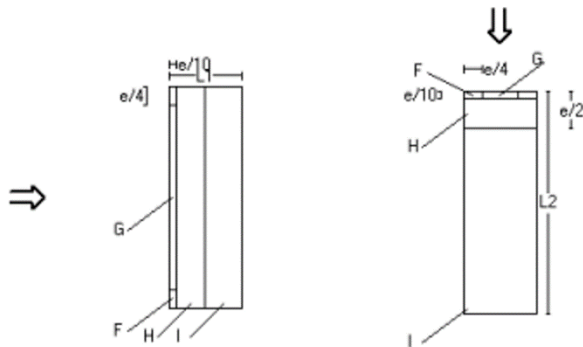
Figur 12 Vindsoner for vegger. Hentet fra OS-prog

Tabell 2 Vindlast på vegger

Sone	Formfaktor ( $C_{pe,10}$ )	Last ( $kN/m^2$ )
A	-1.2	-1.04
B	-0.8	-0.69
C	-0.5	-0.43
D	0.7	0.64
E	-0.3	-0.32

Laster på taket varierer utifra hvilke retning vinden treffer fra, se figur 13 og tabell 3.

Tabell 3 Vindlast på taket



Figur 13 Vindsoner for taket. Hentet fra OS-prog

Sone	Formfaktor ( $C_{pe,10}$ )	Last ( $\text{kN/m}^2$ )
F	-1.8	-1.56
G	-1.2	-1.04
H	-0.7	-0.61
I	+0.2	+0.17

#### 4.5 Seismisk last

Jordskjelvdimensjonering er en viktig faktor å vurdere når man bestemmer bæresystemer for bygninger. Jordskjelv kan forårsake store skader og potensielt føre til kollaps hvis bygningen ikke er riktig dimensjonert for å tåle kreftene som oppstår under et jordskjelv.

Jordskjelvbelastningene vil i prinsippet være like for begge bæresystemer, men responsen på belastningen vil variere avhengig av materialet som benyttes. Jordskjelvbelastninger beregnes ut fra grunnforhold, høyde og beliggenhet, og ikke fra materialene som brukes i bæresystemet.

Stivhet er en viktig mekanisk egenskap ved materialer som beskriver motstanden de gir mot deformasjon under belastning. I tilfeller ved jordskjelv, vil bygninger og infrastruktur som har høy stivhet motstå vibrasjonene bedre og redusere sannsynligheten for alvorlig skade.

Under et jordskjelv blir bygninger og broer utsatt for vibrasjoner og bevegelser som kan føre til alvorlig skade eller sammenbrudd hvis de ikke er konstruert til å tåle disse kreftene.

Stivheten til materialene som brukes i disse konstruksjonene, er derfor viktig for å bestemme hvor godt de vil motstå jordskjelvbelastninger.

Grunnet oppgavens begrensede tidsramme er det som nevnt ikke gjort beregninger på det som er presentert i dette underkapittelet.

#### 4.6 Grensetilstander

Bruksgrensetilstanden kontrollerer nedbøyning, vibrasjoner og riss, og den har til hensikt å sikre at bygningen har tilstrekkelig stivhet og stabilitet for å tåle belastninger som oppstår under normal bruk. Ved dimensjonering for bruksgrensetilstanden, må en ta hensyn til at bygningen vil oppleve konstante belastninger over tid.

Bruddgrensetilstanden dimensjoneres for de største lastene bygget blir utsatt for. Dette handler om å sikre at bygningen kan tåle ekstreme belastninger som oppstår ved uvanlige situasjoner, som for eksempel jordskjelv eller sterk vind. Ved dimensjonering av bæresystemet for bruddgrensetilstanden, må en ta hensyn til at bygningen kan oppleve store og plutselige belastninger.

Uregelmessige laster som kollisjon, brann og eksplosjon defineres som ulykkeslaster. Disse lastene er typisk kortvarige, men kan skape store påkjenninger for konstruksjonsdelene. Laster som dette kan være vanskelig å fastsette størrelse og hyppighet på, og er i denne rapporten forenklet ikke gjort beregninger for.

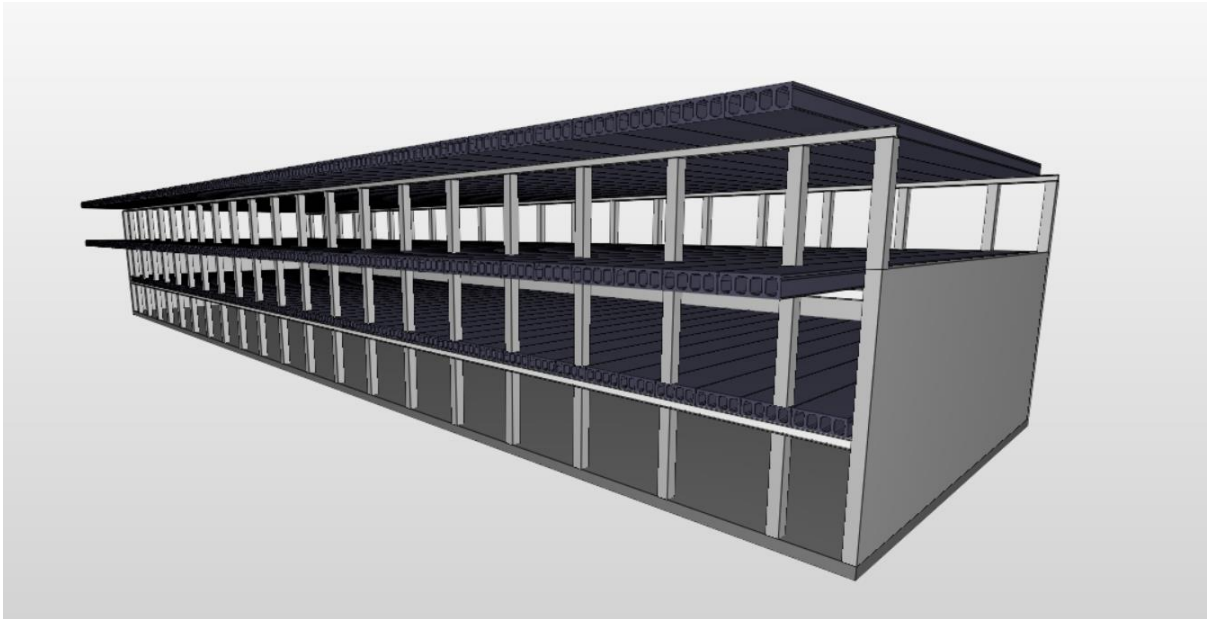
#### 4.7 Lastkombinasjoner

Ved dimensjonering av konstruksjoner er det viktig å sørge for at opptredende krefter ikke overskrider konstruksjonens kapasitet. Derfor defineres det forskjellige lastkombinasjoner i de ulike grensetilstandene. Den mest ugunstige kombinasjonen av laster med tilhørende last- og kombinasjonsfaktorer blir den dimensjonerende lastverdien. Lastfaktorene øker de faktiske lastene som konstruksjonen blir utsatt for, for å ivareta usikkerheter knyttet til karakteristiske laster, se tabell 4. Kombinasjonsfaktorer, betegnet med symbolet  $\psi$ , er reduksjonsfaktorer som tar hensyn til redusert sannsynlighet for at variable laster opptrer med sin maksimale verdi samtidig.

Tabell 4 Dimensjonerende verdier for laster

Situasjon	Permanente laster $\gamma_{Gj}$ eller $\zeta\gamma_{Gj}$	Dominerende variabel last $\gamma_{Q1}$ eller $\psi_{01}\gamma_{Q1}$	Andre variable laster <sup>2)</sup> $\gamma_{Qi}$ eller $\psi_{0i}\gamma_{Qi}$
6.10a)	1,35/1,0 <sup>1)</sup>	1,05	1,05
6.10b)	1,20/1,0 <sup>1)</sup>	1,5	1,05
<p><sup>1)</sup>Den lastfaktor som gir den ugunstigste lastvirkningen skal benyttes. For kontinuerlige bjelker benyttes samme lastfaktor for egenlast i alle spenn, bortsett fra utkragede deler.</p> <p><sup>2)</sup>Se NS-EN 1991 til NS-EN 1999 for <math>\gamma</math>- verdier for påført deformasjon.</p>			

## 5 Bæresystem 1



Figur 14 Illustrasjon av bæresystem 1. Hentet fra Solibri

### 5.1 Hulldekke

Hulldekker er en type prefabrikkerte betongelementer som brukes som bærende konstruksjonselementer i bygg og konstruksjoner. Som navnet antyder, har hulldekker hulrom i midten, se Figur 15, som gir betydelige fordeler i forhold til massiv betong. Fordelene med hulldekker inkluderer lavere vekt, bedre lyd- og varmeisolering, og muligheten til å legge rør, ledninger og annet utstyr gjennom hulrommene. De kan også være mer kostnadseffektive og lettere å installere enn massiv betong.

Hulldekker kan leveres i ulike former og størrelser, avhengig av spesifikke krav til bygningen eller konstruksjonen. De vanligste typene er elementer med glatt overside, ribbet overside eller med hull. Hulldekker er en populær løsning i mange typer bygg, inkludert boliger, kontorbygg, skoler og sykehus. De gir en pålitelig og effektiv måte å skape et stabilt og solid gulv eller tak på, samtidig som de gir fordeler som lavere vekt og bedre lyd- og varmeisolering (Nobi, u.å).





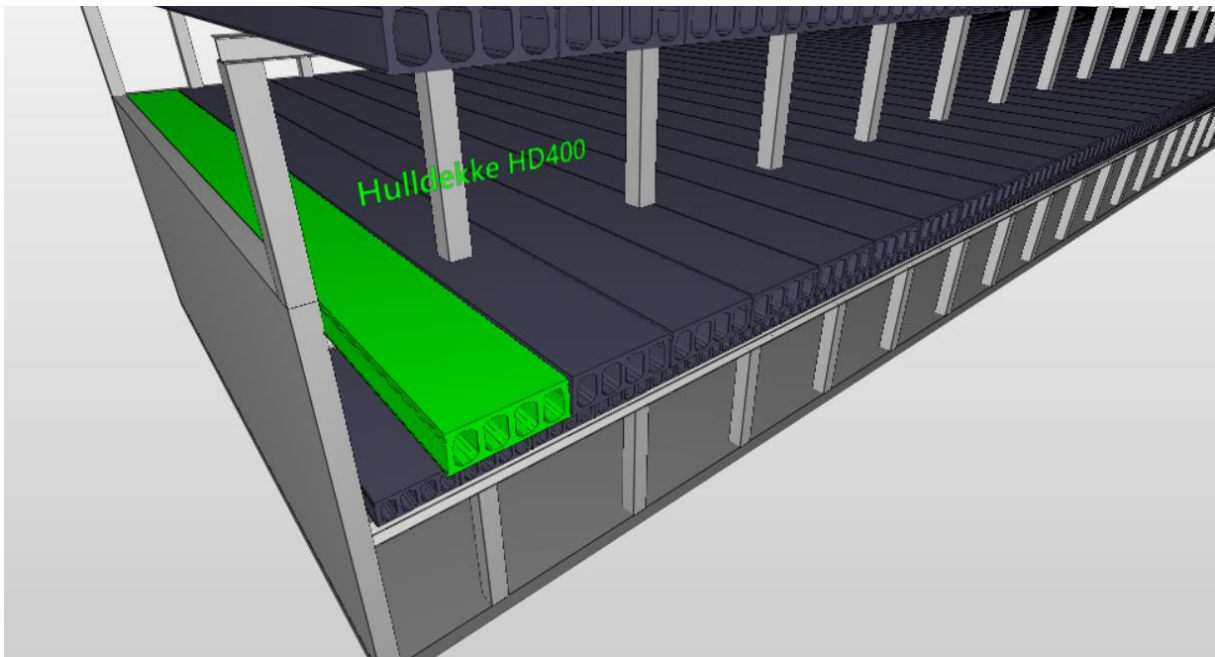
Figur 15 Bilde av hulldekker (Betongelementforeningen, 2010).

## 5.2 Valg av løsninger

### 5.2.1 Dekkeløsning

Når det kom til valg av dekkeelementer stod det mellom de to vanligste, hulldekkeelement og DT-element, som begge er prefabrikkerte betongelementer som brukes i bygningskonstruksjoner. DT-elementer er betongplater med to ribber på undersiden som danner en dobbel T-form, som gir elementene økt bæreevne og stivhet. De brukes vanligvis som etasjeskiller i industribygg, lager og andre bygninger som krever store spennvidder og høy belastningskapasitet. Hulldekker, derimot, er flate betongplater med hulrom i midten, som gir elementene relativt lav vekt og høy bæreevne. De er vanligvis også brukt som etasjeskiller i bygninger, men de kan også brukes som takkonstruksjoner. For denne konstruksjonen ble det derfor valgt HD400 hulldekker av betongkvalitet B45 som både etasjeskillere og tak, se figur 16.



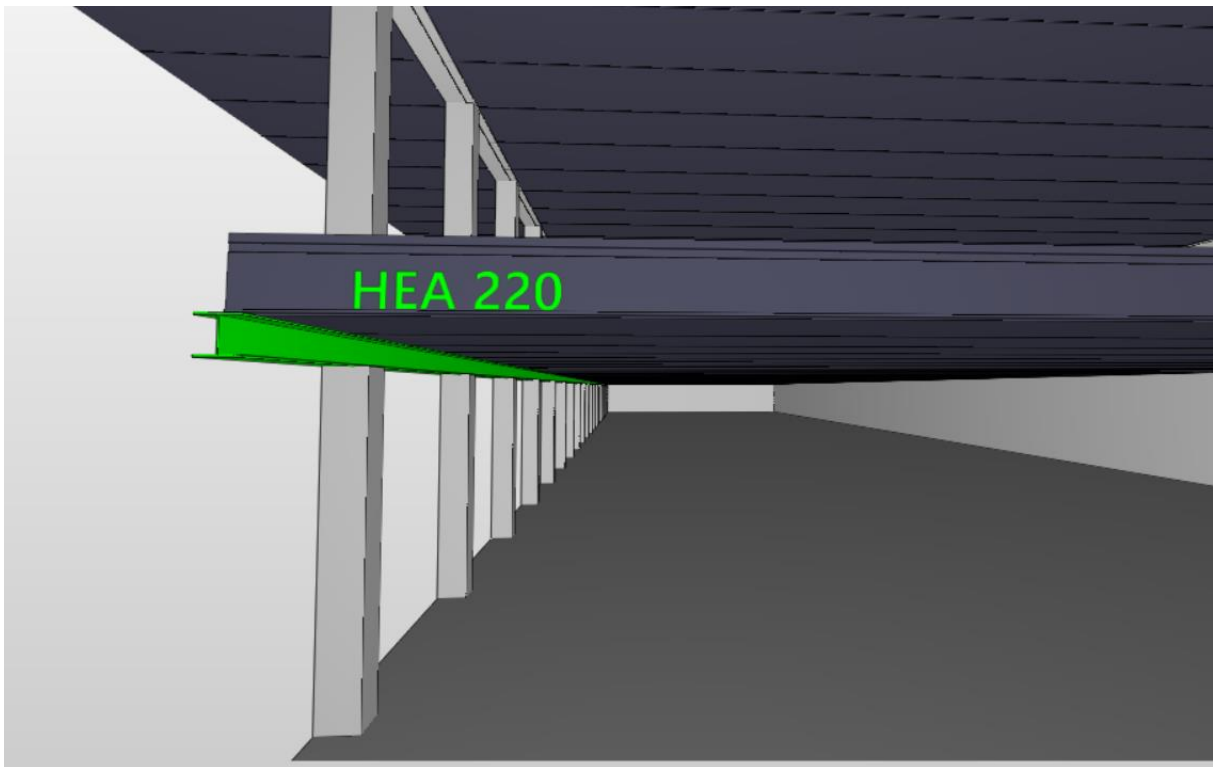


Figur 16 Illustrasjon av dekkeløsningen. Hentet fra Solibri

### 5.2.2 Bjelker

Ved valg av bjelker ble det diskutert om stål- eller betongbjelker var mest hensiktsmessig. Betongbjelker var en mulighet, men ble ansett som mindre praktisk på grunn av stor tyngde og utfordringer med byggets utforming. Betongbjelker ville også krevd større tverrsnittshøyde, noe som kunne vært ugunstig dersom man ønsket å skjule bjelken i bygget.

Stålbjelker vil ha et bedre styrke-til-vekt forhold, og kan ha tilnærmet lik kapasitet med en lavere tverrsnittshøyde enn betongbjelker. Det er derfor valgt å sette inn en HEA220 bjelke i Plan TEK og Plan 01, samt to HEA220 bjelker i Plan 02, se figur 17. HEA220 ble valgt siden denne kan ta relativt store krefter, og passer for spennvidden valgt i vår utforming av bæresystemet. Det er planlagt bruk av S355 konstruksjonsstål.

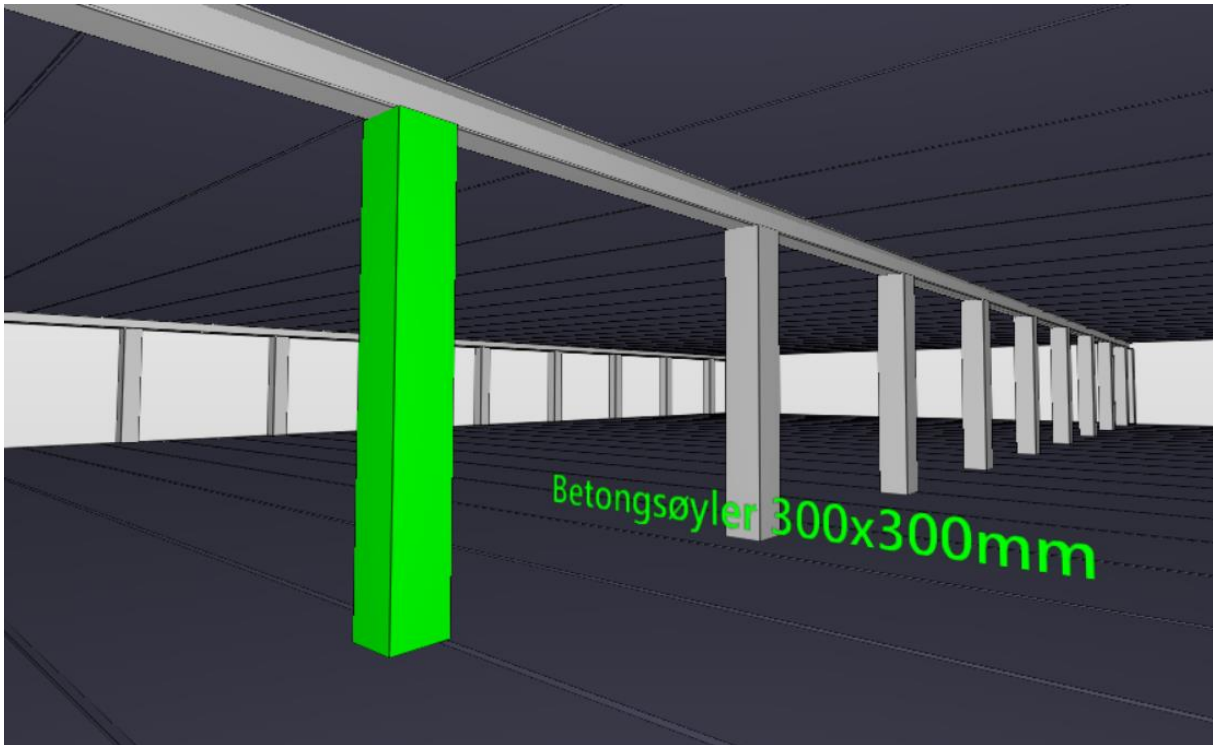


Figur 17 Illustrasjon viser hvor stålbeleggene er plassert. Hentet fra Solibri

### 5.2.3 Søyler

Når det kommer til valg av søyler for et bæresystem, er det flere faktorer som må vurderes. Søylene må ha tilstrekkelig aksialkapasitet for å tåle de påkjenningene de vil bli utsatt for. Selv om formålet til søylene i en bygningsstruktur er funksjonelt, kan de også ha en estetisk verdi hvis de ikke blir tildekket.

Betongsøyler kan ha ulike former på tverrsnittet, og de vanligste formene er rektangulære eller sirkulære. Betongsøyler har høy bæreevne og er i stand til å tåle høye belastninger over tid, noe som gjør dem svært velegnet for konstruksjonsformål. Betongsøyler gir bygget en solid og pålitelig struktur som vil sikre at det står trygt og stabilt i mange år framover. Bygget er konstruert ved å bruke kvadratiske betongsøyler med en dimensjon på 300x300mm og en senteravstand på 3000mm. Det er plassert 18 slike søyler i U1 og 18 stykker i teknisk etasje. I tillegg er det 40 kvadratiske betongsøyler i plan 1, se figur 18. Plasseringen av søylene er bestemt etter beregninger som er gjort og vil sikre nødvendig støtte og stabilitet. Det er her valgt betongtype B45 for søyler.

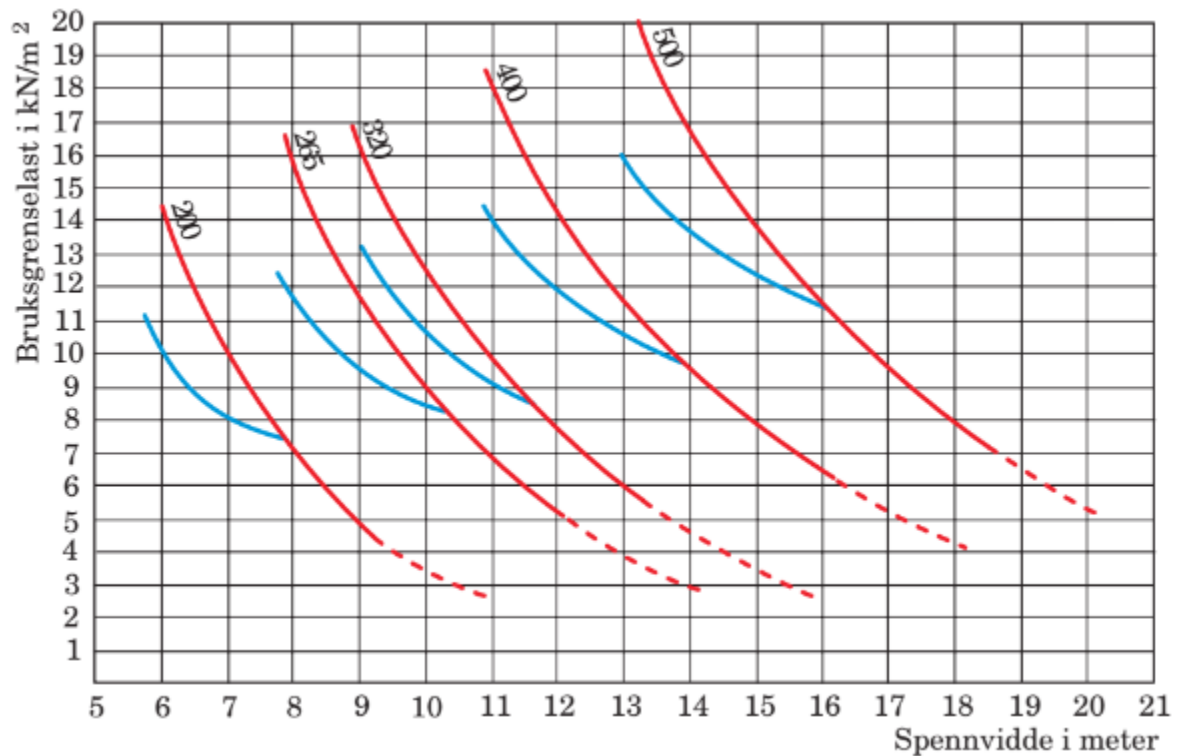


Figur 18 Illustrasjon av betongsøyler. Hentet fra Solibri

## 5.3 Dimensjonering

### 5.3.1 Dekker

HD400 ser ut til å være en egnet dimensjon for hulldekke med hensyn til spennvidder da den har god kapasitet i henhold til diagrammet i betongelementboka, som vist i figur 19. Det er her funnet en kapasitet på  $7\text{kN/m}^2$ , se Vedlegg 3.1, hvor egenvekten allerede er tatt hensyn til, og derfor ikke skal medregnes. Siden nyttelasten er på  $4\text{kN/m}^2$ , gir dette tilstrekkelig kapasitet. Ifølge Betongelementhåndboka er det ikke nødvendig å beregne riss og nedbøyning for dekket, med mindre andre krav er satt i prosjekteringen. Dette er også illustrert i figur 19, der det angis at dette kun er nødvendig hvis lasten kommer på stiplet del av rød strekning, der spennvidden er stor.



Figur 19 Bæreevne for hulldekker (Betongelementforeningen, 2010).

### 5.3.2 Bjelker



Standardverdier for kapasitet i Byggforskserien ble benyttet for å bestemme bjelker og spennvidde, vist i figur 20. Etter å ha vurdert påførte laster, ble det konstatert at HEA220 med en spennvidde på 3.0m var nødvendig for å oppfylle kravene til kapasitet. Det ble først forsøkt med en større spennvidde, men verdier fra tabell i Byggforsk viste at spennvidden måtte reduseres. Dette gir til slutt en kapasitet på 143.7kN/m, som er større enn påført last på 123kN/m, se vedlegg 3.2.

Bjelketype	Egenlast kN/m	Bjelkedim. B×H mm×mm	Type kap. pkt. 31	Lastkapasitet (kN/m)											
				Spennvidde, L (m)											
				3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
HE100A	0,17	100×96	q <sub>m</sub>	24,9	18,3	14,0	11,1	9,0							
			q <sub>v</sub>	19,0	13,2	9,6	7,2	5,5							
			q <sub>6400</sub>	5,2	3,3	2,2	1,5	1,1							
HE120A	0,20	120×114	q <sub>m</sub>	35,8	26,3	20,1	15,9	12,9	10,6	8,9					
			q <sub>v</sub>	27,1	18,7	13,5	10,1	7,7	6,0	4,8					
			q <sub>6400</sub>	9,0	5,7	3,8	2,7	2,0	1,5	1,1					
HE200A	0,42	200×190	q <sub>m</sub>	125,0	94,9	72,7	57,4	46,5	38,4	32,3	27,5	23,7	20,7	18,2	16,1
			q <sub>v</sub>	110,1	76,6	55,5	41,5	31,8	24,9	19,9	16,2	13,3	11,1	9,3	7,9
			q <sub>6400</sub>	55,1	34,7	23,2	16,3	11,9	8,9	6,9	5,4	4,3	3,5	2,9	2,4
HE220A	0,50	220×210	q <sub>m</sub>	163,2	121,4	96,0	75,9	61,5	50,8	42,7	36,4	31,4	27,3	24,0	21,3
			q <sub>v</sub>	143,7	104,4	75,9	56,9	43,7	34,3	27,4	22,3	18,3	15,3	12,8	10,9
			q <sub>6400</sub>	80,8	50,9	34,1	23,9	17,5	13,1	10,1	7,9	6,4	5,2	4,3	3,6

Figur 20 Dimensjonerende lastkapasiteter for fritt opplagte HE-A bjelker ved jevnt fordelt last (SINTEF, 2018a).

### 5.3.3 Søyler

For søyler velges det armerte betongsøyler da disse har god trykk-kapasitet og at det finnes standardverdier for de i Byggforskserien. Figur 21 viser verdier, utarbeidet av Byggforsk for dimensjonerende aksiallastkapasitet, og det er blitt lest av at søylene som er valgt har god nok aksialkapasitet. Den påførte lasten på 184.5kN, er mye mindre enn kapasiteten på 1465kN, se vedlegg 3.3.

Søyleverrsnitt		Dimensjonerende aksiallastkapasitet, $N_{Rd,red}$ , i ordinær bruddgrensetilstand					
Tverrsnittsdimensjon, sidekanter/diameter, h	Lengdearmring, antall og diameter <sup>3)</sup>	Kvadratisk søyle 			Rund søyle 		
	(bøylearmring, se tab. 25)	$N_{Rd,red}$ for ulike søylelengder, $L^{1)}$ (se også fig. 24 a)			$N_{Rd,red}$ for ulike søylelengder, $L^{1)}$ (se også fig. 24 b)		
mm	mm	L = 2,5 m kN	L = 3,0 m kN	L = 4,5 m kN	L = 2,5 m kN	L = 3,0 m kN	L = 4,5 m kN
200	4Ø12	500	450	250	415	345	170
225	4Ø16	750	715	450	650	555	300
250	4Ø16	925	920	635 <sup>2)</sup>	810	710	435
275	4Ø16	1 115		825	975	905	630 <sup>2)</sup>
300	4Ø20	1 465		1 170	1 290	1 225	885
325	4Ø20	1 690		1 430	1 470	1 425	1 095

Figur 21 Tabell om dimensjonerende aksiallastkapasitet til betongsøyler basert på tverrsnittsdimensjoner (SINTEF, 2012)

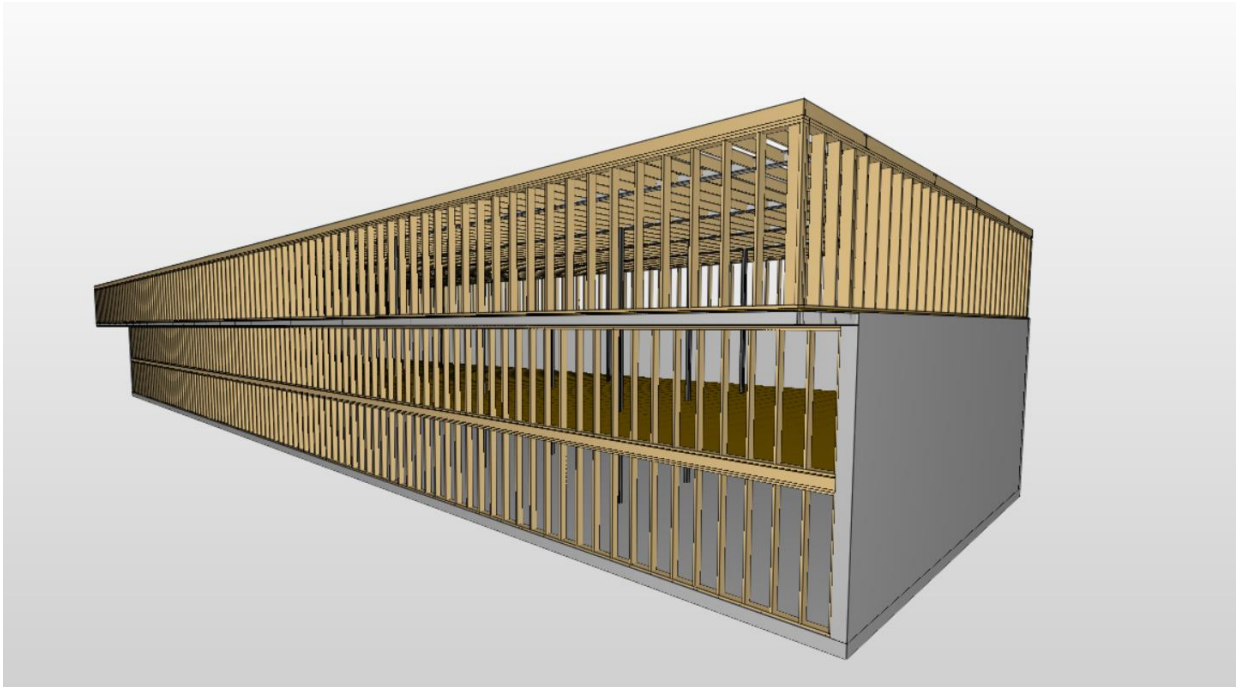
### 5.3.4 Nedbøyning

Som nevnt tidligere blir det bare gjort nedbøyningskontroll for utkraget del av bygget.

Gjennom beregninger ble det her funnet en nedbøyning på 0.2mm for utstikker, som er godt

innenfor kravet satt på  $\left(\frac{1}{200}\right) \cdot \text{spennvidde}$ , se vedlegg 3.1.

## 6 Bæresystem 2

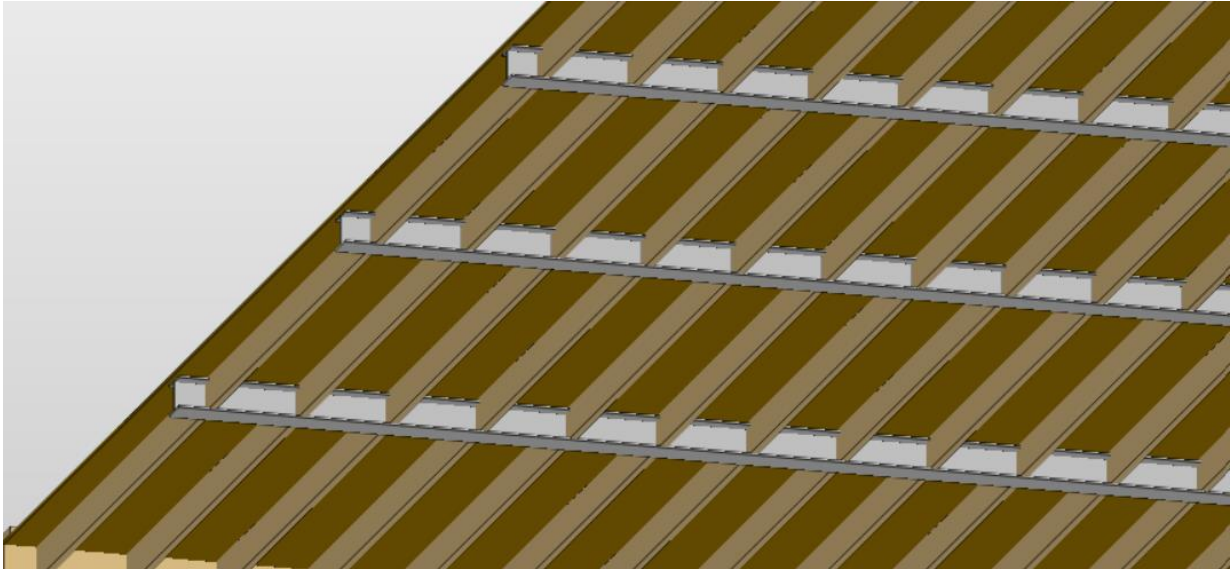


Figur 22 Illustrasjon av Bæresystem 2. Hentet fra Solibri

### 6.1 Trebjelkelag

I dette kapittelet vil det bli sett nærmere på trebaserte materialer som brukes til gulvbjelker i bygningskonstruksjon. For trebjelkelag er det flere alternativer til gulvbjelker, og de som vanligvis anvendes er konstruksjonsvirke(heltre), sammenlimte tverrsnitt i form av limtre, I-bjelker og parallellfiner eller fagverksbjelker. Maksimal høyde på bjelker av vanlig standard trevirke er 223mm, som fører til en begrensning i maksimale spennvidder som kan oppnås. For å kunne håndtere større spenn kan sammenlimte bjelkeprofiler eller fagverksbjelker anvendes. Slike bjelkeprofiler er også kjent for å ha vesentlig bedre retthet, nøyaktighet, samt bedre stabilitet med mindre krymp og vridninger ved uttørking av byggfukt (SINTEF, 2011a).





Figur 23 Illustrasjon av bjelkelag. Hentet fra Solibri

## 6.2 Valg av løsninger

Det ble besluttet å benytte trebjelkelag fremfor massivtre, da det var flere fordeler ved å velge mindre og lettere elementer. Dette ville gjøre transport og montering enklere, noe som er en vanlig utfordring i byggebransjen. Bjelkelag i tre anses som en mer praktisk og vanlig løsning sammenlignet med massivtre. Selv om massivtre har blitt et stadig mer populært valg, kan det være utfordrende å anvende. Begrensninger som tilgang på leverandører, høye transportkostnader og krevende montering på grunn størrelse og tyngde gir et behov for spesialisert utstyr og kompetanse for å installere.

Undergulvet har en betydning når det gjelder hvordan punktlaster på golvet fordeles på bjelkelaget. De mest aktuelle platetyperne for undergulv er 22mm sponplater og 22mm OSB-plater, og her ble det valgt å gå for 22mm sponplater (SINTEF, 2011b).

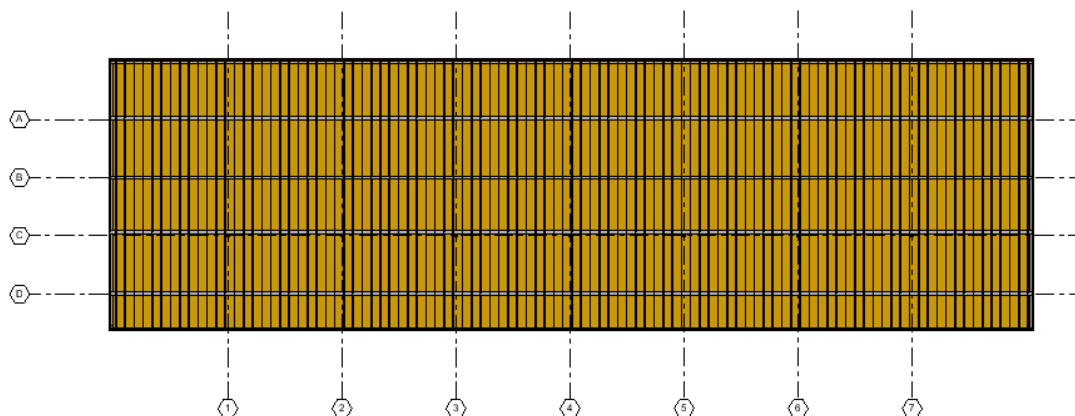
Utstikkeren må tåle stor belastning, og derfor ble det vurdert ulike måter dette kunne løses på. Det ble først vurdert å bytte ut gulvbjelkelag over utstikkeren med I-bjelker som er mye lettere enn konstruksjonstrevirke og som da gjør belastningen mindre. Dette ble valgt bort senere på tross av den gunstige vekten på bjelkene, fordi det kan på den andre siden være vanskeligere å kappe og skjære til riktig lengde. Det er også begrenset plass til innfesting som kan gjøre monteringen mer utfordrende.



Til forskjell fra I-bjelker er standard konstruksjonsvirke enklere å skjære til slik man ønsker, og man har mer innfestningsplass. Likevel kom det frem ved forhåndsbergingning at trebjelker i seg selv ikke ville være nok for å ta krefter ved utstikker. Det ble derfor valgt å snu spennretning på bjelkelaget og å bruke stålbjelker som har større kapasitet.

### 6.2.1 Etasjeskiller og bjelker

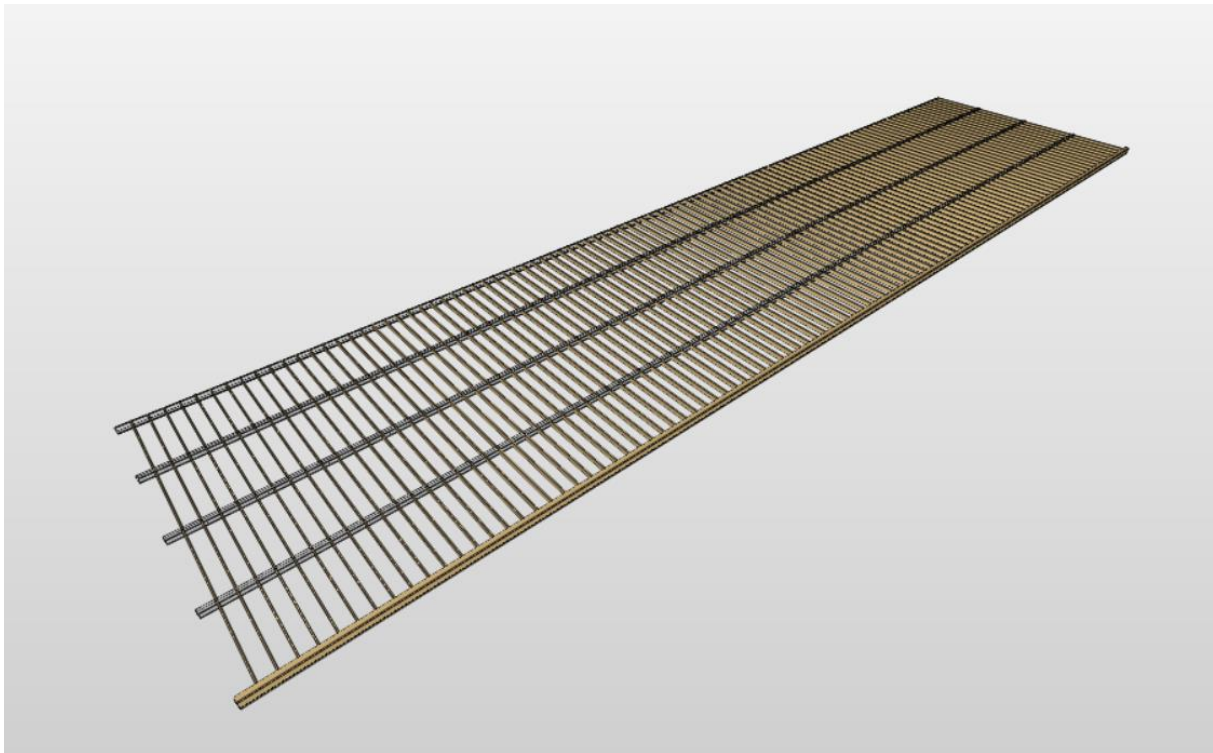
Etasjeskillene i bygningen er utformet som bjelkelag bestående av en kombinasjon av stål- og trebjelker. Gulvbjelkene av konstruksjonsvirke med fasthetsklasse C30 har dimensjonene 48x223mm og med en senteravstand på 60cm. Stålbjelkene av type S355 profil HEA220 legges motsatt vei, på langs av bygget og følger akser A, B, C og D. Det ble foretatt endringer når det kommer til de horisontale aksene.



Figur 24 Illustrasjon horisontalt aksesystem sett ovenfra. Hentet fra Revit

Aksene som går på langs av bæresystemene har beholdt navnene A, B, C, D, men er forskjøvet noe i forhold til arkitekttegning. De aksene som går på tvers av bygget, har navnene 1-7. Det ble først antatt at de gitte akser kunne brukes her, men det ble gjort en økning i antall akser i denne retningen da spennet ble for stort for gitte akser, se figur 24. Stålbjelkene tar dermed for seg det største spennet på tvers av bygget på 7.5m, mens det største spennet gulvbjelkene må ta er på 3.9m.

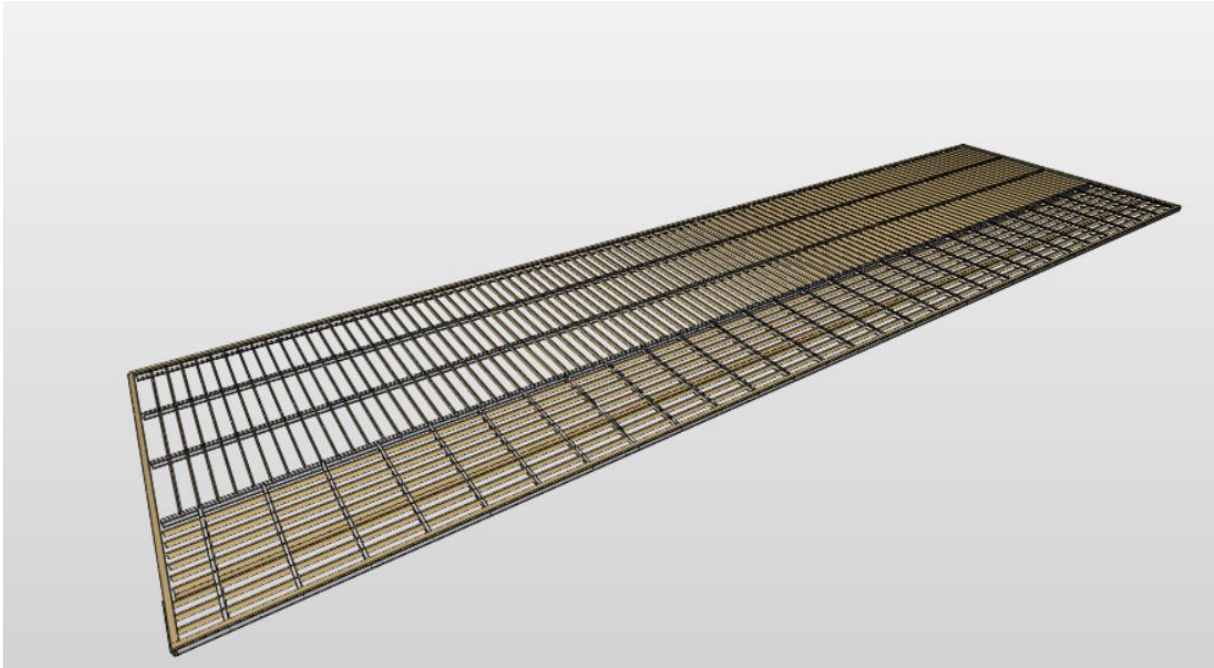
Dette valget ble gjort fordi tre som materiale normalt sett ikke tåler å ha store spenn. Ved å legge inn stålbjelker over de lengste spennene i kombinasjon med gulvbjelkene skapes det et solid etasjeskille, se figur 25 nedenfor. Med denne utformingen blir stålbjelken fastholdt mot vipping, noe som gir gunstigere kapasitet.



Figur 25 Illustrasjon etasjeskille Plan TEK. Hentet fra Solibri

Det har blitt gjort modifikasjoner på bjelkelaget i Plan 01 og Plan 02 for å ta krefter ved utkragede deler.

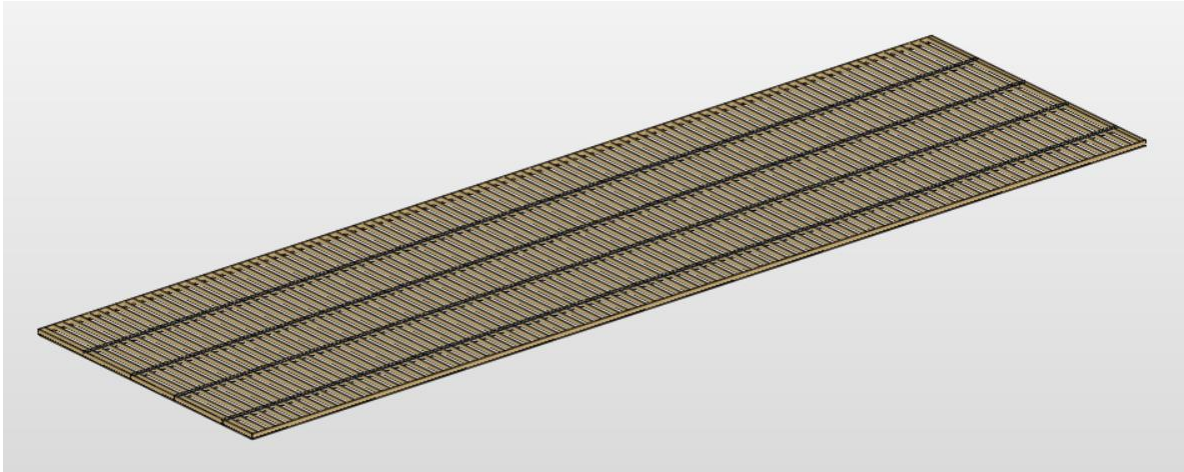
I Plan 01 er etasjeskillet utformet på samme måte som beskrevet tidligere, med unntak av utstikkeren på bygget. Her er det lagt inn IPE220-bjelker av konstruksjonsstål S355 med en lengde på 6.2m, montert i motsatt retning, hvorav den utkragede delen utgjør 2.4m. Bjelkene har en avstand på 2m og er plassert for å ta opp krefter som kan oppstå på utstikkeren, som vist i figur 26. Det er satt inn bjelker av konstruksjonsvirke mellom IPE-bjelkene, og disse bjelkene har samme dimensjoner som resten av etasjeskillet, men med kortere spennvidde.



Figur 26 Illustrasjon etasjeskille Plan 01. Hentet fra Solibri

For å oppfylle kravene til bæreevne og stabilitet av tak, ble det diskutert å inkludere takstoler. Fordeler med takstoler er at de er standardiserte bygningskomponenter som kan tilpasses spesifikke byggemål, og de er enkle å installere, som igjen kan redusere byggetiden. Takstoler gir også rom for enkel og effektiv ventilasjon på grunn av dens dimensjoner og form, men dette kan igjen begrense takets designmuligheter.

I tillegg kan reparasjon eller utskifting av takstolene være vanskelig og føre til ekstra kostnader og arbeid. I dette tilfellet ble det derfor valgt å opprettholde lik utforming som i etasjeskillene, som igjen var enklere å modellere opp med begrensede modelleringsmuligheter. Plan 02 er derfor utformet på samme måte som etasjeskillene, men inneholder i tillegg en utstikker på 2.4m av fasthetsklasse C30 og dimensjoner 48x223mm med senteravstand 60cm, se Figur 27.



Figur 27 Illustrasjon av tak Plan 02. Hentet fra Solibri

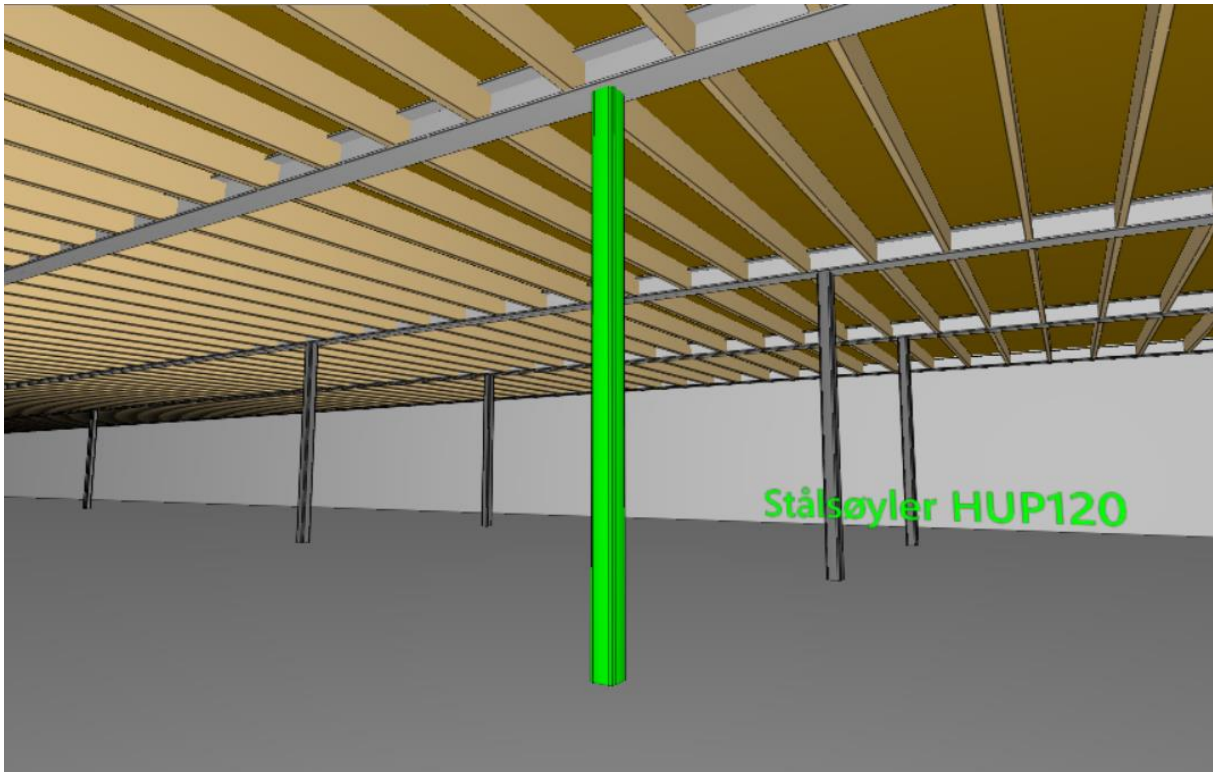
### 6.2.2 Søyler

Ved plasseringen av de innvendige stålsøylene av typen HUP120 var det viktig å identifisere klare bæreakser for å sikre en stabil bæring. Aksene ble fastsatt ved å undersøke arkitekttegningene ved å se på hvor de innvendige veggene i bygningen var.

Opprinnelig var det planlagt største spennvidde på 8m på grunn av innvendige vegger i bygget, men som nevnt tidligere ble dette justert etter en kontrollberegning som indikerte at en mindre spennvidde var nødvendig for å kunne ta påførte krefter. Det førte til noen søyler ikke vil være skjult i vegger med planløsning fra arkitekttegning. Siden arkitekttegningene er tiltenkt et betongbygg, ble det vanskelig å sette inn søyler på ønsket måte.

Det ble satt nye akser for bæresystemene 1-7, som vist i figur 24. Søylene har ikke plassering etter de aksene som kom ved arkitekt tegningene, men følger de nye aksekryssene som er satt. Denne endringen har medført at det også har blitt satt inn flere søyler. De valgte stålsøylene var spesielt egnet til å stå i veggene, siden dimensjonene på 120x120mm var i samsvar med veggtykkelsen fra arkitekttegning på 150 mm, men dette vil også være gunstig der søylene ikke treffer med veggene, da de er relativt smale.

Stålsøylene går igjen i alle etasjene, i tillegg til 7 ekstra søyler som går over utstikkeren. Disse ekstra søylene følger også bærende akser og står på linje med de andre. Dette utgjør totalt 21 søyler i Plan U1, 21 søyler i Plan TEK og 28 søyler i Plan 01.



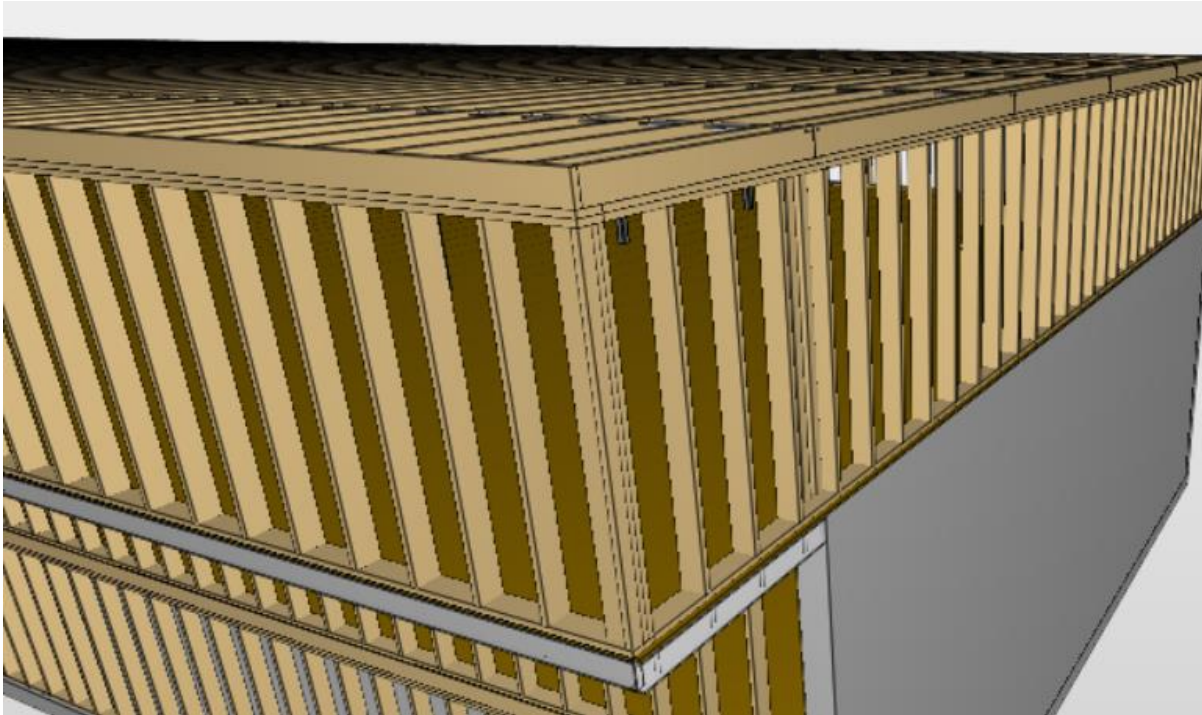
Figur 28 Illustrasjon innvendige søyler i Plan U1. Hentet fra Solibri

### 6.2.3 Bindingsverk

Bindingsverket i bygget er en del av det bærende systemet som går igjen i tak, gulv og vegger. Utformingen av bindingsverket avhenger av faktorer som bygningens størrelse, form, beliggenhet og materialer som brukes.

For å bestemme utformingen av bindingsverket har det blitt benyttet SINTEF (2011a) sine løsninger, og tatt i bruk anbefalte standarder og praksis. Dette inkluderer krav til dimensjonering av konstruksjonsvirke, samt anbefalte tekniske løsninger for hvordan det skal settes sammen.

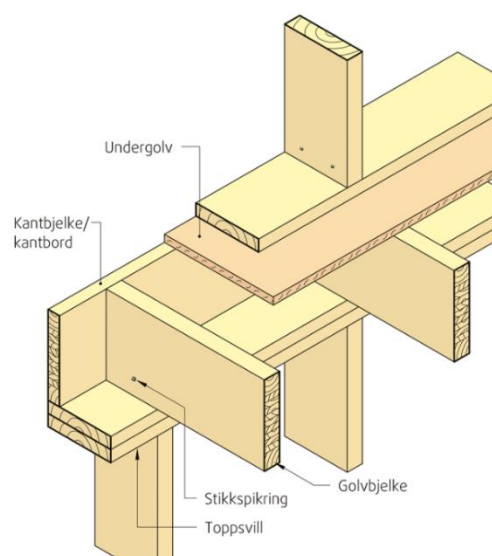




Figur 29 Illustrasjon av bindingsverk. Hentet fra Solibri

Bindingsverket er sammensatt av flere ulike komponenter og utgjør treets bidrag av bæresystemet. Komponenter som nevnes her inkluderer bunnsvill, stenderer, toppsvill, gulvbjelke, undergulv og kantbjelke, se figur 30. For hjørnene i bygningen blir det plassert hjørnestolper, i form av ekstra stenderer. Hjørneløsningene kan gjøres på flere måter, men vil normalt bli bestemt av plasseringen av stenderer.

Bunnsvillen er en horisontal bjelke som ligger på fundamentet og støtter opp resten av bindingsverket. Stenderne er vertikale elementer som går fra bunnsvillen og opp til toppsvillen. Dobbel toppsvill er to horisontale bjelker som ligger på toppen av stenderne, og som gir ekstra styrke til bindingsverket. Kantbjelken ligger over toppsvillene og bidrar til å styrke takkonstruksjonen.



Figur 30 Opplegg av gulvbjelker på yttervegg av tre (SINTEF, 2011a)

Opplegg på trevegger kombineres som vist i figur 31. Her legges dobbel toppsvill over stendere. Over toppvillen kommer kantbjelken og bjelkelaget som danner etasjeskiller. Over bjelkelaget legges undergulvet. Videre oppover legges det bunnsvill og stendere igjen.

Stenderne i bindingsverket er av typen konstruksjonsvirke fasthetsklasse C24 med dimensjoner 48x198mm med senteravstand 60cm.

### 6.3 Dimensjonering

Å dimensjonere en slik kombinasjon av et bæresystem er gjort mye tidligere, men kan da også utføres på mange ulike måter og kombinasjoner. I denne rapporten har valg av dimensjoner vært basert på erfaringstall og beregninger.



Figur 31 Illustrasjon som viser opplegg på trevegg. Hentet fra Solibri

#### 6.3.1 Bjelker

I Bæresystem 2 er det valgt to typer stålbjelker i kombinasjon med en type trebjelke. Stålprofil HEA220 går gjennom hele bygget på langsiden i alle etasjer. I Plan 01 er det satt stålprofil IPE220 i motsatt retning over utkraget del.

Det ble valgt HEA220 for å kunne ta den relativt store spennvidden mellom søylene. Spennvidden på 7.5m muliggjør minimal bruk av søyler i bygget samtidig som bjelken opprettholder tilstrekkelig kapasitet. Kapasiteten til HEA-bjolkene er på 27.3kN/m ifølge Byggforsk, se figur 32, og påført last er på 24.9kN/m, se vedlegg 4.1.1. Dette gir en høy utnyttelse på 91%, men er fortsatt innenfor satte krav i rapporten.

Bjelke type	Egenlast kN/m	Bjelke dim. B×H mm×mm	Type kap. pkt. 31	Lastkapasitet (kN/m)											
				Spennvidde, L (m)											
				3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
HE100A	0,17	100×96	q <sub>m</sub>	24,9	18,3	14,0	11,1	9,0							
			q <sub>v</sub>	19,0	13,2	9,6	7,2	5,5							
			q <sub>6400</sub>	5,2	3,3	2,2	1,5	1,1							
HE120A	0,20	120×114	q <sub>m</sub>	35,8	26,3	20,1	15,9	12,9	10,6	8,9					
			q <sub>v</sub>	27,1	18,7	13,5	10,1	7,7	6,0	4,8					
			q <sub>6400</sub>	9,0	5,7	3,8	2,7	2,0	1,5	1,1					
HE200A	0,42	200×190	q <sub>m</sub>	125,0	94,9	72,7	57,4	46,5	38,4	32,3	27,5	23,7	20,7	18,2	16,1
			q <sub>v</sub>	110,1	76,6	55,5	41,5	31,8	24,9	19,9	16,2	13,3	11,1	9,3	7,9
			q <sub>6400</sub>	55,1	34,7	23,2	16,3	11,9	8,9	6,9	5,4	4,3	3,5	2,9	2,4
HE220A	0,50	220×210	q <sub>m</sub>	163,2	121,4	96,0	75,9	61,5	50,8	42,7	36,4	31,4	27,3	24,0	21,3
			q <sub>v</sub>	143,7	104,4	75,9	56,9	43,7	34,3	27,4	22,3	18,3	15,3	12,8	10,9
			q <sub>6400</sub>	80,8	50,9	34,1	23,9	17,5	13,1	10,1	7,9	6,4	5,2	4,3	3,6

Figur 32 Dimensjonerende lastkapasiteter for fritt opplagte HE-A bjelker ved jevnt fordelt last (SINTEF, 2018a).

Ved dimensjoneringen av trebjelker ble det ikke benyttet tabellverdier fra Byggforskserien, da nyttelastkategori C ikke gir spesifikke tabellverdier for trebjelker.

Det ble derfor gjennomført håndberegninger av bjelkens bruddgrensekapasitet i henhold til EC 5-1. Bjelkens påførte moment er på  $17.9\text{N/mm}^2$ , mens momentkapasitet er på  $19.2\text{N/mm}^2$ , se vedlegg 4.1.2. Dette gir en høy utnyttelsesgrad på 93%, men anses fortsatt som ok ifølge krav satt for dette prosjektet.





Figur 33 Illustrasjon av trebjelker. Hentet fra Solibri

IPE-bjelkene som ble satt inn for å ta lasten på utstikker ble funnet å ha god kapasitet for jevnt fordelt last i bruddgrense. Den har en kapasitet på 48.3kN/m, se figur 34, mens lasten påført er på 12.8kN/m, se vedlegg 4.1.3.

Bjelketype	Egenlast kN/m	Bjelkedim. B×H mm×mm	Type kap. pkt. 31	Lastkapasitet, kN/m												
				Spennvidde, L (m)												
				3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
IPE180	0,19	91×180	q <sub>m</sub>	49,9	36,7	28,1	22,2	18,0	14,8	12,5	10,6	9,2	8,0			
			q <sub>v</sub>	24,3	15,8	10,8	7,7	5,6	4,2	3,2	2,6	2,1	1,7			
			q <sub>6400</sub>	19,7	12,4	8,3	5,8	4,3	3,2	2,5	1,9	1,6	1,3			
IPE200	0,22	100×200	q <sub>m</sub>	66,1	48,6	37,2	29,4	23,8	19,7	16,5	14,1	12,1	10,6	9,3		
			q <sub>v</sub>	31,1	20,3	14,0	10,1	7,5	5,7	4,5	3,6	2,9	2,4	2,0		
			q <sub>6400</sub>	29,0	18,2	12,2	8,6	6,3	4,7	3,6	2,8	2,3	1,9	1,5		
IPE220	0,26	110×220	q <sub>m</sub>	86,0	63,1	48,3	38,2	30,9	25,6	21,5	18,3	15,8	13,8	12,1	10,7	9,6
			q <sub>v</sub>	42,6	27,7	19,0	13,7	10,2	7,8	6,1	4,9	4,0	3,3	2,7	2,2	1,9
			q <sub>6400</sub>	41,4	26,0	17,5	12,3	8,9	6,7	5,2	4,1	3,3	2,6	2,2	1,8	1,5

Figur 34 Dimensjonerende lastkapasiteter for fritt opplagte IPE bjelker ved jevnt fordelt last (SINTEF, 2018a).

### 6.3.2 Søyler

Ved valg av dimensjon på søyler ble det tatt hensyn egenlast og nyttelast til bæresystemet, som til sammen utgjør en påført last på 93.5kN, se Vedlegg 4.2.1. Valgte søyleprofil på 120x120mm har ikke en tabellverdi for kapasitet i Byggforskserien. Det ble derfor konservativt valgt kapasitet for nærmeste søyledimensjonen på 100x100mm, som ga en verdi på 328kN, se figur 35.

Stålprofil HxBxt mm×mm×mm	Egenlast kN/m	Lastkapasitet (kN)													
		Kneklengde (m)													
		2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0
KFHUP 100×100×3,0	0,09	280	256	232	209	187	168	151	135	122	110	100	91	83	76
KFHUP 100×100×4,0	0,12	363	331	300	269	241	216	193	174	156	141	128	116	106	97
KFHUP 100×100×5,0	0,14	445	405	365	328	293	262	234	210	189	171	155	141	128	117

Figur 35 Dimensjonerende lastkapasitet for kvadratiske stålsøyler av type KFHUP (SINTEF, 2018b)

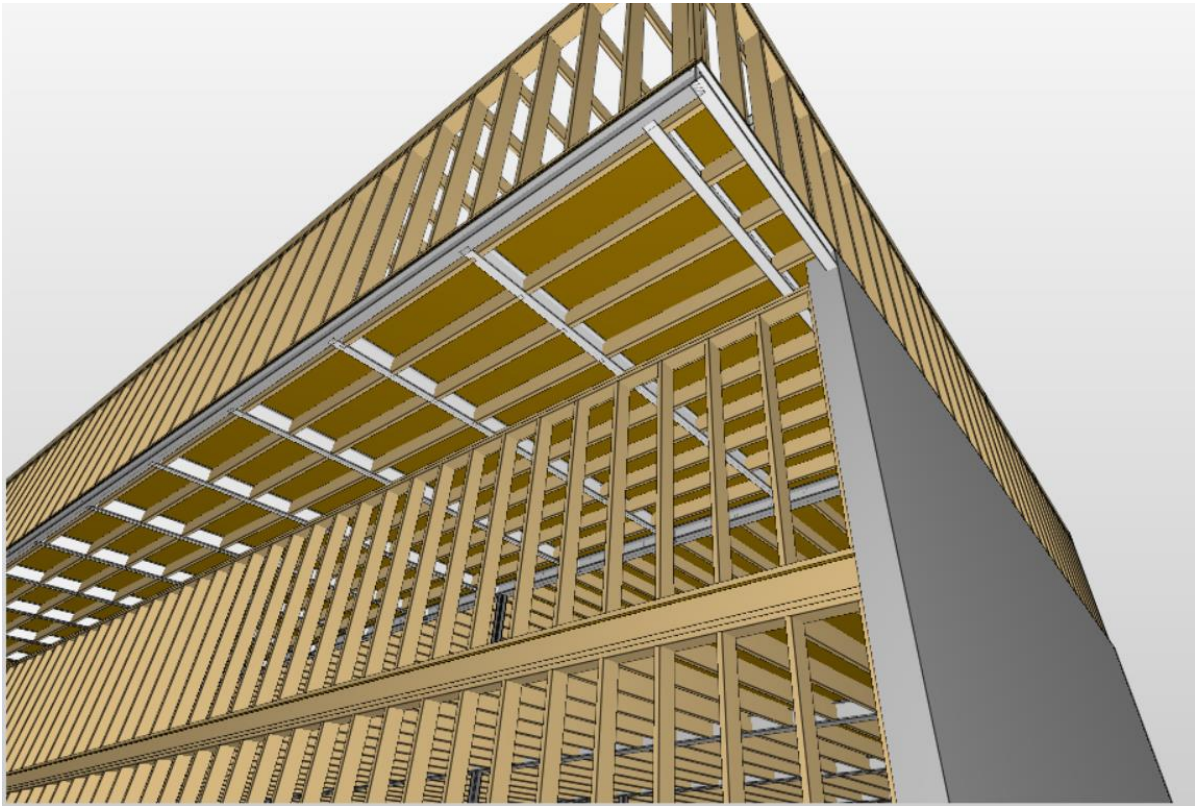
Som for trebjelkene, ble det heller ikke her funnet aktuelle standardverdier for tresøyler med dimensjon 48x198mm i Byggforskserien. Derfor ble det gjennomført håndberegninger på aksialkapasiteten til søyler, der det ble funnet en god kapasitet på 13.4N/mm<sup>2</sup>, sammenlignet med en påført last på 0.8N/mm<sup>2</sup>, se vedlegg 4.2.2.

### 6.3.3 Nedbøyning

For å sikre at utstikkeren kan tåle den betydelige belastningen, ble det som nevnt tidligere tatt en beslutning om å snu spennretningen til bjelkelaget. Valget falt på stålbjelker som kunne motstå belastningen, og IPE 220 ble identifisert som det optimale profilet. For å styrke konstruksjonen ytterligere, ble trebjelker med dimensjonene 48x223mm lagt til i kombinasjon med stålbjelkene.

Det ble utført beregninger for å vurdere nedbøyningen av stålbjelkene i gulvet ved utstikkeren. Dette var et krav som ble fastsatt tidligere i analysen på grunn av den store belastningen. Resultatene viste betydelig nedbøyning på 1.5 cm i de mest utsatte bjelkene,

se vedlegg 4.1.3. Til tross for dette oppfyller nedbøyningen likevel kravet satt til  $\left(\frac{1}{200}\right) \cdot$   
*spennvidde*.



Figur 36 Illustrasjon snudd spennretning av bjelkelag hvor nedbøyning kan inntreffe. Hentet fra Solibri

## 7 Resultat

Etter å ha presentert detaljene rundt bestemmelsen av bæresystemene i forrige kapittel, rettes nå oppmerksomheten mot resultatene fra livssyklusanalysen. Dette kapitlet tar sikte på å presentere og analysere resultatene av analysen, med fokus på bæresystemenes miljøpåvirkning.

### 7.1 Livssyklusanalyse

En livssyklusanalyse ble utført på begge bæresystemene. Analysen hadde som mål å identifisere og vurdere de ulike aspektene ved bæresystemenes levetid, inkludert produksjon, transport, bruk og endt levetid av materialer, se tabell 5 under. Sammenligning mellom bæresystemene vil kun være mulig når de har samme funksjon, systemavgrensning og scenarier. Formålet med sammenligningen skal alltid framgå, slik at resultatene forstås i riktig kontekst. Dataene som ble benyttet i analysen, har basert seg på modeller utviklet i Revit som omfattet komponenter og detaljer av datakvalitet 2.

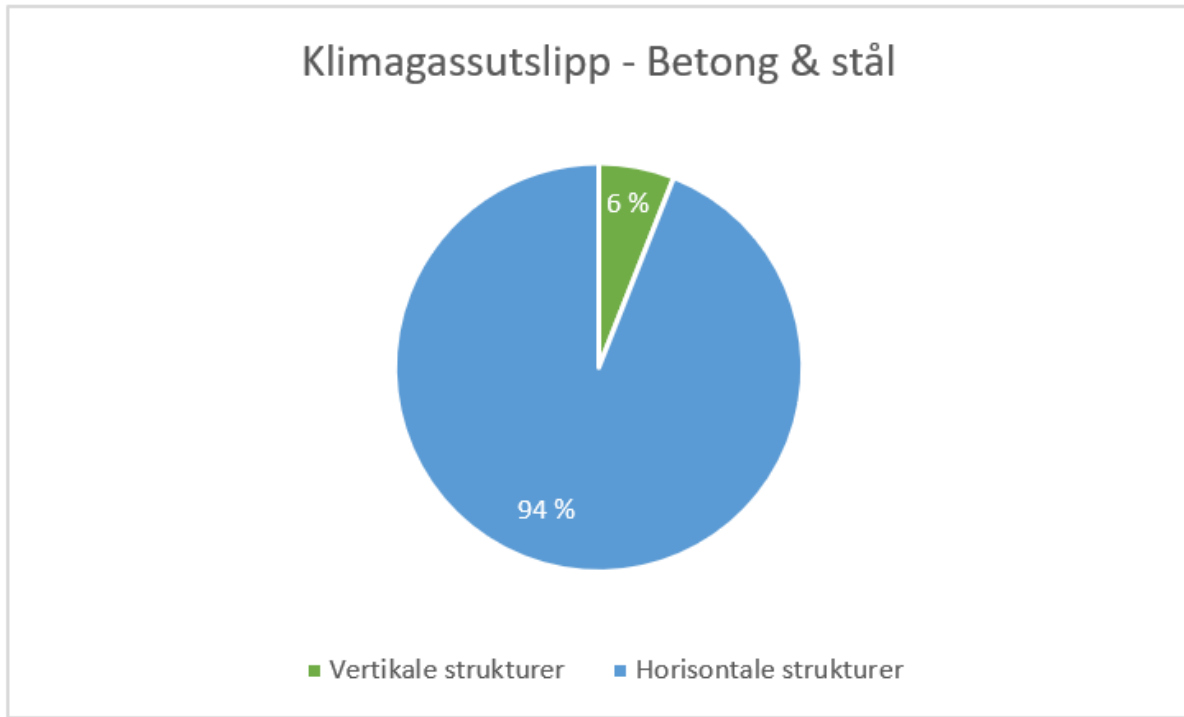
Tabell 5 Fasene i livssyklusanalyse. Bearbeidet fra (Standard Norge, 2018).

Produksjonsfase	A1	Råvarer - utvinning og bearbeiding
	A2	Transport av råvarer til byggeplass
	A3	Produksjon
Byggefase	A4	Transport til byggeplass
Endt levetid	C1-C4	Riving, transport og avfallsbehandling

#### 7.1.1 Betong

Resultatene av analysen viser at bæresystem 1 har et samlet klimagassutslipp på 95 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, se vedlegg 5.2. Den største andelen av dette utslippet på 94%, kommer fra

horisontale bæreelementer som dekker og bjelker. De horisontale elementene er hulldekker og stålbjelker. Bærende vertikale strukturer som betongsøyler, står dermed for cirka 6% av utslippet, se figur 37.

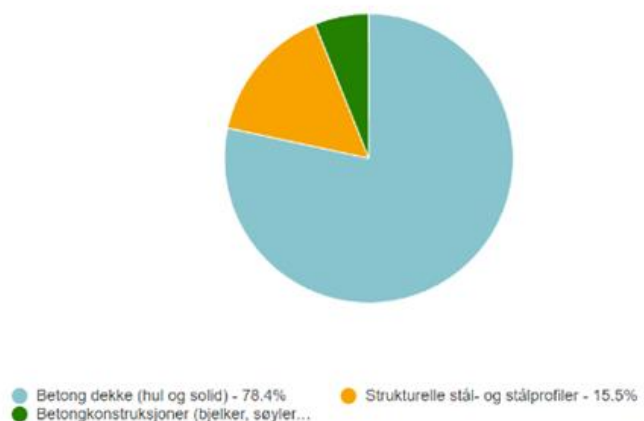


Figur 37 Diagram som viser klimagassutslipp fordelt på strukturer. Hentet fra Excel

Selv om stålets andel i bygget kun utgjør 0.3%, er det fortsatt en betydelig kilde til CO<sub>2</sub>-utslipp, og utgjør 15.5% av det totale utslippet, slik figur 38 viser. Dette indikerer at stålproduksjonen har høy klimapåvirkning i byggeprosessen.

### Klimagassutslipp kg CO<sub>2</sub>e - Ressurs-typer

Dette er et drilldown-skjema. Klikk på tabellen for å se detaljer

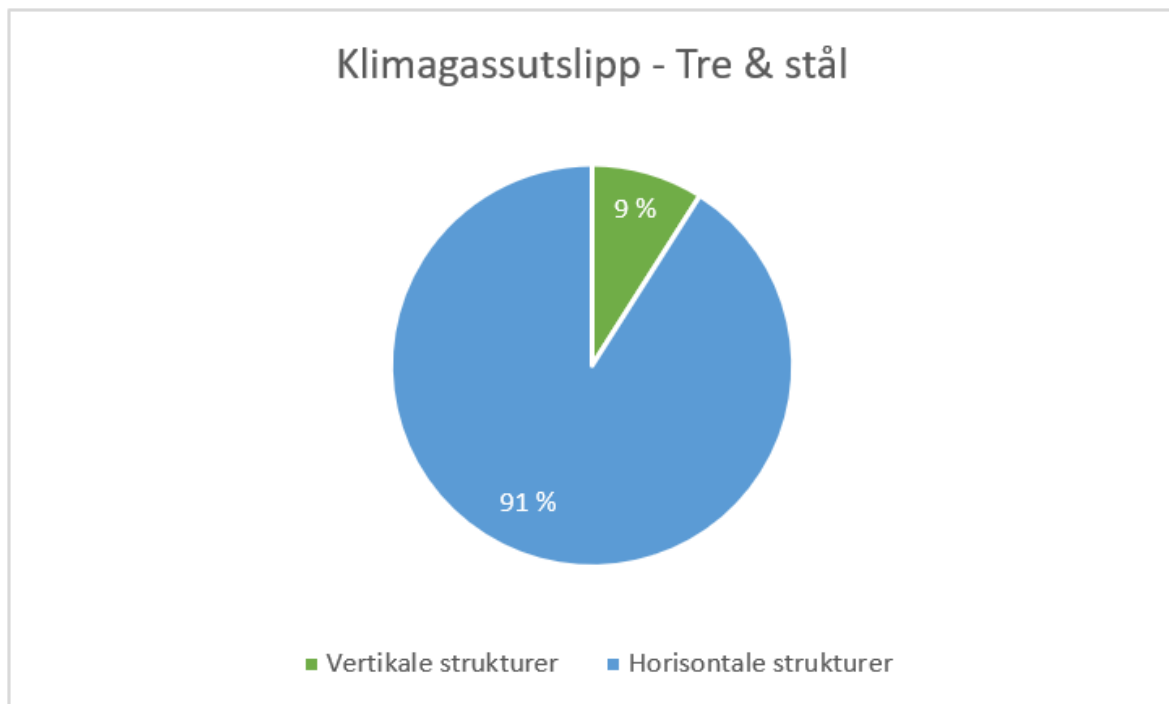


Figur 38 Diagram som viser klimagassutslipp fordelt på materialer (One Click LCA, u.å)

### 7.1.2 Tre

Bæresystem 2 har et totalt klimagassutslipp på 74 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, se vedlegg 5.3.

Den største andelen av utslippet på 91%, kommer fra horisontale strukturer som inneholder både stål- og trebjelker, som vist i figur 39.

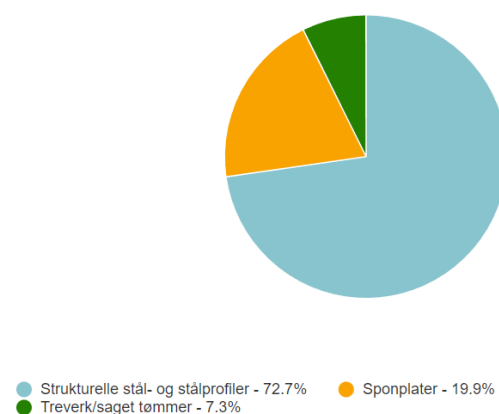


Figur 39 Diagram som viser klimagassutslipp fordelt på strukturer. Hentet fra Excel

Analyseresultatene indikerer også at stål spiller en betydelig rolle i klimagassutslippene i Bæresystem 2. Figur 40 viser at stål står for hele 72.7% av utslippene. Denne høye prosentandelen skyldes hovedsakelig produksjonen av stål, som krever betydelige mengder energi og ressurser. Det er også verdt å merke seg at bruken av stål i Bæresystem 2 er omtrent 70% høyere enn i Bæresystem 1.

Klimagassutslipp kg CO<sub>2</sub>e - Ressurs-typer

Dette er et drilldown-skjema. Klikk på tabellen for å se detaljer



Figur 40 Diagram som viser klimagassutslipp fordelt på materialer (One Click LCA, u.å)

### 7.1.3 Sammenligning

Selv om byggematerialer som betong, stål og tre har blitt brukt i årevis, er det økende fokus på hvordan disse materialene påvirker miljøet og klimaet. Ved sammenligning av ulike byggematerialer med hensyn til miljøpåvirkning, representerer klimagassutslipp en av de mest betydningsfulle faktorene som må tas i betraktning.

Bæresystem i bygninger utgjør en vesentlig del av bygningens klimaavtrykk og har derfor vært gjenstand for mye forskning i de siste årene. Betong, tre og stål er de mest brukte materialene for å konstruere bæresystemer i bygninger. Hvert av disse materialene har sine fordeler og ulemper når det gjelder klimapåvirkning, både i produksjon, transport og bruk i bygninger.

Som tidligere nevnt, viser resultatene fra One Click LCA-analysen at Bæresystem 1 har et klimagassutslipp på 95 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, mens Bæresystem 2 har et utslipp på 74 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Dette indikerer en tydelig forskjell i klimapåvirkningen mellom de to bæresystemene.

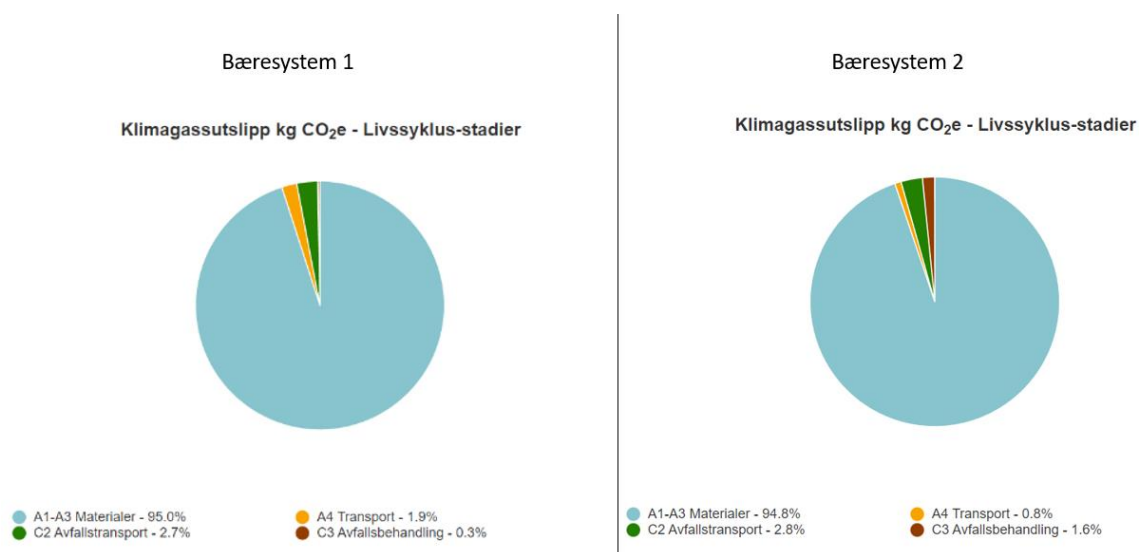
Analysen viser at Bæresystem 1 har en utslippsforskjell på 22% i tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter sammenlignet med Bæresystem 2 når det gjelder materialbruk, se vedlegg 5.4. Samtidig viser analysen at Bæresystem 2 har lavere klimagassutslipp knyttet til transport til byggeplassen. Denne reduksjonen skyldes hovedsakelig at Bæresystem 2 bruker mindre mengder materialer sammenlignet med Bæresystem 1, i tillegg til at materialene som brukes har lavere vekt. Som et resultat kreves det mindre energi i form av drivstoff for å transportere materialene til byggeplassen.

Utslippet for transport til byggeplass er 68% større for Bæresystem 1, se vedlegg 5.4. På grunn av at det ble valgt datakvalitet 2 for oppgaven, ble det benyttet generiske data for transportavstander til materialene. Selv om Bæresystem 2 slipper ut mindre utslipp i transport og produksjon, slipper det ut 11% mer klimagassutslipp ved endt levetid, se vedlegg 5.4. Dette skyldes i hovedsak at tre lagrer CO<sub>2</sub>, som den vil slippe ut ved endt levetid. Tre og stål er også mer sårbare for fysiske skader, og derfor kan ha en kortere levetid sammenlignet med betong. Dette spiller inn på om materialet kan ombrukes eller ikke.



Samlet sett viser analysen at det er en betydelig forskjell i klimapåvirkning mellom bæresystemene. Bæresystem 1 har en høyere klimapåvirkning enn Bæresystem 2, mens stål står for den største andelen av utslippene i Bæresystem 2, på tross av at det er minoriteten av bæresystemet som består av det. Det er en rekke muligheter for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene til bæresystemene med hensyn på ombruk av konstruksjonsdelene.

I denne rapporten blir det tydeliggjort at produksjonsfasen spiller en avgjørende rolle når det gjelder klimagassutslippene knyttet til byggeprosjekter. Uansett hvilket bæresystem som blir brukt, utgjør produksjonsfasen rundt 95% av det samlede klimagassutslippet, se figur 41. Dette indikerer at de viktigste miljømessige påvirkningene oppstår i de tidlige stadiene av byggeprosessen, inkludert produksjonen av materialer og transporten av disse. Dette viser igjen viktigheten av ombruk og gjenvinning.



Figur 41 Oversikt over klimagassutslipp fra livssyklus-stadier (One Click LCA, u.å)



## 8 Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres det rundt hensikten med rapporten og dens funn, eventuelle utfordringer og hva dette har av betydning.

Hensikten med rapporten var å utfylle eksisterende forskning og teori, som ofte har sammenlignet bæresystemer som plaststøpt betong eller massivtre mot prefabrikkert betong. Det har imidlertid vært mindre fokus på å sammenligne mer brukte bæresystemer som prefabrikkert betong mot konstruksjonsvirke, derfor har dette vært av interesse for analysen i rapporten.

I analysen ble det undersøkt hvor stor forskjell de ulike bæresystemene utgjorde når det gjaldt klimagassutslipp. Treløsningen hadde mindre klimagassutslipp sammenlignet med betongløsningen, samtidig som den var høyt utnyttet. Resultatene fra analysen bekreftet tidligere indikasjoner, men det var likevel interessant å se den faktiske størrelsen på forskjellen.

Selv om resultatene viste at den trebaserte løsningen hadde betydelig lavere klimagassutslipp enn betongløsningen, er det viktig å merke seg at økonomiske aspekter ikke ble undersøkt. Kostnader er en viktig faktor å vurdere ved valg av bæresystem. Det er også viktig å påpeke at det er flere faktorer som bør tas i betraktning ved slike valg, og noen av disse vil bli nevnt som potensielle områder for videre arbeid.

Utfordringer ved studien har vært knyttet til å bestemme bæresystemer uten tidligere erfaring. En annen utfordring har vært å sørge for at dataene lagt inn i One Click var korrekte, slik at resultatene fra analysen ble realistiske og pålitelige.

Studien har bidratt til å støtte opp under ideen om at klimapåvirkningen til bæresystem er et viktig hensyn som bør tas med i betraktningen. Selv om funnene kun gjelder for dette spesifikke prosjektet, kan disse funnene være av interesse til fremtidige prosjekter.

## 9 Konklusjon

Hensikten med oppgaven har vært å utforme to konkurransedyktige løsninger til bæresystem av ulikt materiale som danner sammenligningsgrunnlag til livsløpsanalyse. Klimapåkjenningene som oppstår under byggingen av et bæresystem, ble vurdert i forhold til bruk av betong og stål sammenlignet med bruk av tre og stål.

For å oppnå et godt sammenligningsgrunnlag ble Byggforskserien og eurokoder benyttet i dimensjonering av alternativene. Det ble satt like krav til utforming og tatt hensyn til lastpåkjenninger som vil oppstå på bæresystemene. Beregningene viste at et bæresystem i tre og stål, vil få flere konstruksjonsdeler nær maks utnyttelsesgrad. Likevel er begge bæresystem innenfor satte krav.

I rapporten kommer det frem at bæresystemet av tre og stål vil ha et CO<sub>2</sub>-utslipp som er cirka 22% lavere enn bæresystemet i betong og stål. Ved en isolert vurdering av denne faktoren kan det antas at bæresystemet laget av tre og stål er det ideelle valget. Imidlertid viser beregningene at det mer bærekraftige bæresystemet består av flere konstruksjonsdeler som har en vesentlig høy utnyttelsesgrad.

For å oppsummere rapporten konkluderes det med at bæresystemet basert på tre har et lavere CO<sub>2</sub>-utslipp sammenlignet med bæresystemet basert på betong, i henhold til livssyklusanalysen.

## 10 Forslag til videre arbeid

På grunn av tidsbegrensning er det flere avgrensninger som det har blitt sett bort fra når det kommer til dimensjoneringen av bæresystemene. Flere av disse avgrensningene kunne det vært interessant å gå videre med. Følgende punkter foreslås som videre arbeid:

- Dimensjonering av knutepunkter for begge bæresystem.
- Kostnadsanalyse for sammenlikning av bæresystemene.
- Sammenligne bæresystem i andre materiale.
- Sammenlikning av tidsbruk i byggeprosess.
- Se på endringer som må gjøres ved jordskjelvberegning.

## 11 Referanser

Autodesk. (u.å). *Revit: BIM-programvare for designere, byggere og utførere*. Hentet April 12, 2023 fra <https://www.autodesk.no/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

Betongelementforeningen. (2010). *7.1 Forspente hulldekker*. Hentet fra Betongelementboken på nett: [https://betongelementboka.betong.no/betongapp/BookA.asp?isSearch=0&liID=71&DocumentId=BindA/Del\\_2/A7/7\\_1\\_Forspente\\_hulldekker.pdf&BookId=A](https://betongelementboka.betong.no/betongapp/BookA.asp?isSearch=0&liID=71&DocumentId=BindA/Del_2/A7/7_1_Forspente_hulldekker.pdf&BookId=A)

Betongsentrum. (2020, November 1). *Valg av riktig betongkvalitet*. Hentet fra <https://www.betongsentrum.no/valg-av-riktig-betongkvalitet/>

Direktoratet for byggkvalitet. (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Hentet fra <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/10/10-2>

EPD-Norge. (u.å.). *Hva er en EPD?* Hentet fra <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>

FN-sambandet. (2023, Mars 21). *Klimaendringer*. Hentet April 17, 2023 fra <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>

Focus Software AS. (u.å). *Sletten Byggdata*. Hentet April 12, 2023 fra <https://www.ovesletten.no/>

Google. (u.å). *Google Maps*.

Grønvold, K. (2019, Januar 10). *Tre som byggemateriale*. Hentet fra Norsk digital læringsarena: <https://ndla.no/subject:1:0d67724e-d9fa-4365-9839-4cc91c012855/topic:1:eaf487bb-a2ad-4725-8e57-fd709dd4cade/topic:2:158644/resource:1:169558>

Kartverket. (u.å). *Norgeskart*.

Kjeldsen, R., & Bedin, T. (2023, Februar 9). *Karbonets kretsloop*. Hentet fra Norsk digital læringsarena: <https://ndla.no/subject:1:f18b0daa-6507-4025-8998->

b8a11c8ccc70/topic:7:ff48ed85-dbc5-4b98-a3b2-4212fd341c1a/topic:1:821c4c4e-8fb6-45be-a35d-d61ab59e95d8/resource:b5625e7e-aedf-4c5a-ab09-a8db438896e6

KLP. (u.å). *Transport*. Hentet fra <https://www.klp.no/om-klp/samfunnsansvar/klimatips/transport>

Larsen, H. N., Sandberg, H. M., & Heggelund, E. (2022). *Klimabidrag bygg & anlegg*. Asplan Viak. Hentet fra <https://www.eba.no/siteassets/dokumenter/rapporter-og-publikasjoner/rapport-bygg-og-anlegg-endelig.pdf>

Miljødirektoratet. (2022, November 3). *Norske utslipp og opptak av klimagasser*. Hentet April 17, 2023 fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/>

Nobi. (u.å). *Huldekker*. Hentet April 14, 2023 fra <https://www.nobi.no/bygg/huldekke/>

One Click LCA. (u.å). *Calculate your environmental impacts in minutes*. Hentet fra <https://www.oneclicklca.com/>

One Click LCA. (u.å). *One Click LCA for Buildings and Infrastructure projects*. Hentet April 12, 2023 fra <https://www.oneclicklca.com/construction/>

Regjeringen. (2021, Desember 8). *Det grønne skiftet*. Hentet April 12, 2023 fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/det-gronne-skiftet/id2879075/>

Regjeringen. (2022). *Gjør det enklere å selge brukte byggevarer*. Hentet April 17, 2023 fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/gjor-det-enklere-a-selge-brukte-byggevarer/id2913366/>

SINTEF. (2003). *Vindlaster på bygninger*. Hentet fra Byggforskserien: [https://www.byggforsk.no/dokument/3118/vindlaster\\_paa\\_bygninger](https://www.byggforsk.no/dokument/3118/vindlaster_paa_bygninger)

SINTEF. (2011a, August). *Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse*. Hentet fra Byggforskserien: [https://www.byggforsk.no/dokument/334/trebjelkelag\\_dimensjonering\\_og\\_utfoerel](https://www.byggforsk.no/dokument/334/trebjelkelag_dimensjonering_og_utfoerel)

se

SINTEF. (2011b, August). *Udergolv på trebjelkelag*. Hentet fra Byggforskserien:

[https://www.byggforsk.no/dokument/343/undergolv\\_paa\\_trebjelkelag](https://www.byggforsk.no/dokument/343/undergolv_paa_trebjelkelag))

SINTEF. (2012, Mars). *Søyler av armert betong. Dimensjonering*. Hentet fra Byggforskserien:

[https://www.byggforsk.no/dokument/3359/soeyler\\_av\\_armert\\_betong\\_dimensjonering](https://www.byggforsk.no/dokument/3359/soeyler_av_armert_betong_dimensjonering)

SINTEF. (2015, August). *Trevirke. Treslag og materialegenskaper*. Hentet fra Byggforskserien:

[https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke\\_treslag\\_og\\_materialegenskaper](https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke_treslag_og_materialegenskaper)

SINTEF. (2018a, September). *Stålbjelker for små spenn. Dimensjoneringstabeller*. Hentet fra Byggforskserien:

[https://www.byggforsk.no/dokument/305/staalbjelker\\_for\\_smaa\\_spenn\\_dimensjoneringstabeller](https://www.byggforsk.no/dokument/305/staalbjelker_for_smaa_spenn_dimensjoneringstabeller)

SINTEF. (2018b, Mars). *Søyler av stål. Dimensjoneringstabeller*. Hentet fra Byggforskserien:

[https://www.byggforsk.no/dokument/307/soeyler\\_av\\_staal\\_dimensjoneringstabeller%20](https://www.byggforsk.no/dokument/307/soeyler_av_staal_dimensjoneringstabeller%20)

SINTEF. (u.å). *Livsløpsanalyser for bygg og anlegg (LCA)*. Hentet fra

<https://www.sintef.no/ekspertise/community/livsløpsanalyser-av-bygninger/>

Solberg, J., Christensen, N., & Almar-Næss, A. (2022, Juni 3). *Stål*. Hentet fra Store norske

leksikon: <https://snl.no/st%C3%A5l>

Solberg, M. G. (2017, Februar 17). *Sementindustrien står for 4-5 prosent av verdens totale utslipp: Her er planen for å gjøre den klimanøytral*. Hentet fra Teknisk ukeblad:

<https://www.tu.no/artikler/sementindustrien-slipper-ut-4-5-prosent-av-verdens-totale-utslipp-her-er-planen-for-a-gjore-den-klimanoytral/376709>

Solibri. (u.å). *The core product for model checking and collaboration*. Hentet fra

<https://www.solibri.com/solibri-office>

Standard Norge. (2005). *NS-EN 1993 Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner*. Hentet

April 14, 2023 fra <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/eurokode-3-prosjektering-av-stalkonstruksjoner/>

Standard Norge. (2006). *Miljøstyring, Livsløpsvurdering, Prinsipper og rammeverk (ISO 14040:2006)*.

Standard Norge. (2008). *NS-EN 1991-1-1 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner*.

Standard Norge. (2018). *NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygnigner*.

Standard Norge. (2022, August 1). *Norsk Standard og veiledning med metode for klimagassberegninger for bygninger*. Hentet April 14, 2023 fra Standard.no: <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/bygningsenergi/klimagassberegninger/>

Standard Norge. (u.å). *Eurokoder*. Hentet fra <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/>

Statistisk sentralbyrå. (2022). *Utslipp til luft*. Hentet April 17, 2023 fra [ssb.no: https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft](https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft)

Sørnes, K., Nordby, A., Fjeldheim, H., Hashem, S. M., Mysen, M., & Schlanbusch, R. D. (2014). *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer*. Oslo: SINTEF akademisk forlag. Hentet fra <https://www.sintefbok.no/book/download/985>

TAG Arkitekter. (2022).

Thue, J. V. (2019, Juli 16). *Betong*. Hentet fra Store norske leksikon: <https://snl.no/betong>

TreFokus. (u.å). *Kan vi redde miljøet ved å bruke tre?* Hentet fra <http://www.trefokus.no/aktuelt/kan-vi-redde-miljoet-ved-a-bruke-tre->

Universitetet i Oslo. (2022, Januar 19). *Klima*. Hentet fra <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/k/klima.html>