

Emil Tangerud Viken
Peder Brønstad Parnas
Per Hammer

Dimensjonering av bæresystem og CO₂-regnskap av Brisingstubben bo & aktivitetssenter

Bacheloroppgave i Bachelor i ingeniørfag, bygg
Veileder: Lala Lacramioara Telehoi Nilsen (NTNU)
Medveileder: Anders Magne Flemmen (Consto Midt-Norge)
Mai 2022

Emil Tangerud Viken
Peder Brønstad Parnas
Per Hammer

Dimensjonering av bæresystem og CO₂-regnskap av Brisingstubben bo & aktivitetscenter

Bacheloroppgave i Bachelor i ingeniørfag, bygg
Veileder: Lala Lacramioara Telehoi Nilsen (NTNU)
Medveileder: Anders Magne Flemmen (Consto Midt-Norge)
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk

Tittel:

**Dimensjonering av bæresystem og CO₂-regnskap av
Brisingstubben bo & aktivitetssenter**

Kandidatnummer (navn):

Emil Tangerud Viken

Peder Brønstad Parnas

Per Hammer

Dato:

19/05/2022

Emnekode:

BYGA2900

Emne:

Bacheloroppgave bygg

Dokument tilgang:

Alle

Studium:

BACHELOR I INGENIØRFAG - BYGG

Ant. sider/vedlegg:

67 / 11

Bibl. nr:

Veileder:

Lala Lacramioara Telehoi Nilsen - Intern - NTNU Ålesund.

Anders Magne Flemmen - Ekstern - Consto Midt-Norge.

Sammendrag:

Denne bacheloroppgaven omhandler dimensjonering av bæresystem og framstilling av CO₂-regnskap av Brisingsstubben bo & aktivitetssenter for Ålesund Kommunale eiendom. Oppgaven er et forslag til hvordan bygget kan konstrueres på en bærekraftig måte. Dette innebærer minst mulig bruk av materialer, samtidig som bygget tilfredsstillende gjeldene lovverk og miljøsertifiseringer.

Forord

Bacheloroppgaven er vår avsluttende oppgave ved Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet i Ålesund på det tre-årige bachelorprogrammet, byggingeniør. Oppgaven er skrevet våren 2022 i samarbeid med Consto Midt-Norge AS og er verdt 20 studiepoeng. Vi ønsket oss en oppgave utenom det vanlige, der en måtte tenke kreativt, men også ta hensyn til bærekraft i beregningene.

Prosjektgruppen bestående av Peder Brønstad Parnas, Per Hammer og Emil Tangerud Viken, skulle dimensjonere et bæresystem for det kommende Brisingsstubben bo & aktivitetssenter og foreta et CO₂-regnskap for dette. Gruppen fikk tilsendt arkitektens tegninger på hvordan bygget skulle formes. Her måtte vi bruke vår tilegnede kunnskap fra vårt studieløp ved NTNU, samtidig som vi fikk innspill fra prosjekteringsansvarlige hos Consto Midt-Norge AS. Vi ser på prosjektet som interessant og en god forberedelse på hva som venter oss i arbeidslivet.

Gjennom bacheloroppgaven har vi hatt god dialog over Teams, med møter da vi måtte ønske. Dette har gitt oss god flyt gjennom semesteret. Consto Midt-Norge AS arrangerte også befaringsstur for oss, slik at vi fikk oppleve et bæresystem i praksis.

Med det vil vi takke vår kontaktperson i Consto Midt-Norge AS, Anders Magne Flemmen og hans konstruktører Per Henrik Rommetveit og Ståle Idar Liadal for god oppfølging. Vi setter også stor pris på god veiledning fra Lala Nilsen, Torodd Skjerve Nord og Bartosz Siedziako ved NTNU.

Innholdsfortegnelse

Figurliste	5
Tabelliste	7
Terminologi	11
1 INNLEDNING	12
1.1 Bakgrunn	12
1.2 Problemstilling og formål	12
1.3 Avgrensninger	13
1.4 Oppbygning av oppgaven	13
2 TEORETISK GRUNNLAG	14
2.1 Regelverk	14
2.1.1 Lover	14
2.1.2 Forskrifter	14
2.1.3 Standarder	14
2.2 Bæresystem	15
2.2.1 Generelt	15
2.2.2 Søylar	15
2.2.3 Bjelker	16
2.2.4 Fundamentering	17
2.2.5 Dekke	18
2.2.6 Vegg	19
2.2.7 Vindkryss	19
2.3 Klimaaspekt	19
2.3.1 CO ₂ - Karbondioksid	19
2.3.2 Utslipp fra produksjon	20
2.3.3 LCA - Life Cycle Assessment	20
2.3.4 EPD	21
2.3.5 ZEB	21
2.3.6 Passivhus	23
2.3.7 BREEAM sertifisering	23
2.4 Laster	24
2.4.1 Generelt	24
2.4.2 Egenlast	25
2.4.3 Nyttelast	25
2.4.4 Snølast	26
2.4.5 Vindlast	26
2.4.6 Seismisk last	27
2.4.7 Brann	27
2.5 Dataprogrammer	28
2.5.1 Revit	28
2.5.2 FEM-Design	29

2.5.3	EUROCODEexpress	29
2.5.4	Office 365	29
2.5.5	Overleaf	29
3	METODE	30
3.1	Laster	30
3.1.1	Egenlast og nyttelast	30
3.1.2	Snølast og vindlast	30
3.1.3	Andre laster	31
3.2	Fremgangsmåte	32
3.2.1	Dataprogram	32
3.2.2	Håndberegninger	42
3.2.3	CO ₂ -regnskap	45
3.2.4	Kommunikasjon	46
4	RESULTATER	47
4.1	Valg av bæresystem	47
4.2	Bjelker	47
4.2.1	IPE	47
4.2.2	THP	50
4.3	Søyler	50
4.3.1	HUP	50
4.4	Hulldekke	52
4.5	Avstivning	53
4.6	Fundament	54
4.7	Vindkrefter	57
4.8	Brann	57
4.9	CO ₂ -regnskap	57
5	DRØFTING	60
5.1	Dimensjonering	60
5.1.1	Dimensjonering av bjelker, søyler og vindkryss	60
5.1.2	Dimensjonering av dekker og fundament	62
5.2	CO ₂ -regnskap	62
5.3	Bærekraft	63
5.4	Erfaringer	63
6	KONKLUSJON	64
7	REFERANSER	65
8	VEDLEGG	67

Figurliste

1	3D illustrasjon av bygget	12
2	Bæresystem av stål og betong	15
3	Stål søyler	16
4	Stål bjelker	16
5	NS-EN 1997-1 Fig. 341 a og b, bestemmelse av jordtrykkskoeffisient.	17
6	Krefter i dekker.	18
7	Kombinasjon av skiver og plater.	18
8	Avstivning av bygget.	19
9	ZEB definisjoner	22
10	Faser og levetid	22
11	Soneinndeling av vindområder i Nord-retning.	31
12	Link IFC.	32
13	Plantegning av 1.etasje.	33
14	Arkitektmodellen i Revit.	33
15	Bæresystemet.	34
16	Bæresystemet i FEM-Design.	35
17	Support group i FEM-Design.	35
18	Egenskapene til støttene.	36
19	Legge på <i>cover</i> i FEM-Design.	36
20	Alle coverene lagt på og definert til vegg.	37
21	Lasttilfeller i FEM-Design.	37
22	Påført egenlast.	38
23	Egenlast Solceller.	38
24	Nyttelast.	39
25	Snølast.	39
26	Autogenerering FEM-Design.	40
27	Vindlast Nord.	40
28	Lastkombinasjoner i FEM-Design.	41
29	Lastanalyse i FEM-Design.	41
30	Manual steel design i FEM-Design.	42
31	Detaljert analyse av en bjelke i FEM-Design.	42
32	Mathcad forside.	43
33	Lage formler i MathCAD.	43
34	EUROCODEexpress for fundament.	44
35	EUROCODEexpress for bjelke.	44
36	Eksportering av materialliste i FEM-Design.	45
37	Bjelke B36.1 posisjon.	48
38	Utnyttelsesgrad bjelke B36.1.	48
39	Bjelke B38.1 posisjon.	49
40	Utnyttelsesgrad bjelke B.38.1.	49
41	Bjelke B58.1 posisjon.	50
42	Søyle C66.1 posisjon.	51
43	Søyle C84.1 posisjon.	51

44	Diagram over hulldekkekapasitet.	52
45	Dekkeretninger sett ovenfra.	53
46	Avstivning fra sør.	53
47	Avstivning fra øst.	54
48	Normalkrefter fra FEM-Design.	54
49	Størrelser til største fundament.	55
50	Størrelser til minste fundament.	55
51	Fundamentplassering.	56
52	Armering og plassering.	56
53	Krav til isolasjon rundt stål i bæresystemet.	57
54	Krefter forårsaket av vind	61

Tabelliste

1	Systemgrenser.	20
2	LCA A1-A5.	21
3	Faktorer i bruddgrensetilstand	24
4	Faktorer i bruksgrensetilstand	25
5	Karakteristiske nyttelaster på golv	25
6	Formfaktor for saltak, pulttak og sagtak	26
7	Terrengruhetskategorier med tilhørende parametere	27
8	Brannmotstand i hulldekke	27
9	Risikoklasser i bygninger	28
10	Brannklasser i bygg	28
11	Vindlast på bygget.	30
12	Metoder for datafremstilling.	46
13	Bjelke B36.1.	48
14	Bjelke B38.1.	49
15	Bjelke B58.1.	50
16	Søyle C66.1.	51
17	Søyle C84.1.	51
18	Sammenlikning av vindlaster.	57
19	CO ₂ -ekv. i kg per tonn material.	58
20	Avstander til byggeplass.	58
21	Materialmengder.	58
22	CO ₂ -ekv. i kg.	59

SAMMENDRAG

Oppgaven gikk ut på å dimensjonere et bæresystem og produsere CO₂-regnskap for Brisingsstubben bo & aktivitetsenter. Dette er et omsorgsbygg som ble utlyst for entreprenører i Ålesund av Ålesund Kommunale eiendom. Vår bacheloroppgave i samarbeid med Consto Midt-Norge AS skulle komme med et forslag til hvordan bygget kunne dimensjoneres. Dette ble gjort ved å benytte arkitektmodellen fra Arkitektkontoret Streken AS.

Oppgaven ble delt opp i flere deler, der den første delen bestod av teorien for problemstillingene vi satte oss. Videre beskrev vi fremgangsmåten vi benyttet for å løse de ulike delene i oppgaven. Før vi presenterte resultatene på en systematisk måte ved bruk av tabeller og figurer.

I denne bacheloroppgaven har vi støtt på utfordringer innenfor statikk, lastberegning og bruken av forskjellige dataprogram. Takket være god kunnskap fra tidligere semester, klarte vi å løse problemstillingene på en effektiv måte. Dette gjorde at vi fikk fremstilt 3D modell fra Revit og FEM-Design, utregninger i EUROCODEexpress og god analyse i FEM-Design. Vedlagt ligger alle beregninger og modeller.

ABSTRACT

The task of this thesis was to dimension a structural system and produce a CO₂-account for Brisningstubben living & activity center. This is a care building that was advertised for contractors in Ålesund by Ålesund Kommunale eiendom. In our bachelor thesis we had a collaboration with Consto Midt-Norge AS, where we were supposed to come up with a proposal for how the building could be dimensioned. This was done by using the architect model from Arkitektkontoret Streken AS.

The thesis was divided into several parts where the first part consists of the theory of the problems we chose. Furthermore, we described the procedure that we used to solve the various parts of the task. In the end we present the results in a systematic way with the use of tables and figures.

In this bachelor thesis, we have encountered challenges in statics, load calculation and the use of different computer programs. Thanks to good knowledge from previous terms, we were able to solve the problems in an efficient way. This meant that we were able to produce a 3D model from Revit and FEM-Design, calculations in EUROCODEexpress and great analysis in FEM-Design. Attached are all calculations and models.

Terminologi

Begreper

Cover Et system for å lage usynlige vegger på FEM-Design modellen for å legge til vindkrefter

Line load Linje last i FEM-Design

Line support group Støtter under vegger for å kunne ta opp krefter

Medium term Funksjon for analysen med variable laster i FEM-Design, middels tidsperspektiv

Point support group Støtter under søyler for at søylene skal ta opp krefter

Predefined types Forhåndsbestemte verdier i FEM-Design

Short term Funksjon for analysen med variable laster i FEM-Design, kort tidsperspektiv

Surface load Flatelast i FEM-Design

+Struc. dead load FEM-Design bruker byggets egenvekt til analysen

Symboler

Π3.14

λ Slankhet

< Større enn

> Mindre enn

Forkortelser

BREEAM Building Research Establishment's Environmental Assessment Method

CEN Europeiske Standardiseringsorganisasjonen

Delta bjelke En hybrid bjelke laget av stål som fylles med betong

EHP En hattet stålprofil

FEM-Design Finite Element Method Design

HD Hulldekke

HE Varmvalset bredflens stålprofil

HUP Hullkantprofil stål

IFC Filformat med alle bygningsdetaljer

IPE Smalflens stålprofil

ISO Internasjonal standard der det ikke kreves at det blir Norsk Standard

LCA Life Cycle Assesement / Livsløpsvurdering

NS Norsk Standard

NS-EN Standard utviklet i Europa, senere blitt Norsk Standard

PBL Plan og bygningsloven

RVT Revit fil, type format

StruXML Finite element fil eksportert fra Revit

TEK17 Teknisk forskrift utgitt i 2017

THP To hattet stålprofil

VKR Varmvalset konstruksjonsrør

ZEB-O Zero Emission Building, nivå O

2D To dimensjonalt

3D Tre dimensjonalt

1 INNLEDNING



Figur 1: 3D illustrasjon av bygget

1.1 Bakgrunn

Gruppen hadde et ønske om et bygg som ikke var konvensjonelt og krevde fokus på bærekraft. Dermed endte gruppen opp med å akseptere problemet til Consto Midt-Norge AS, der vi skulle dimensjonere et bo & aktivitetssenter på Brisingsstubben. Dette skulle være et institusjonsbygg som skal oppleves som en ordinær bolig.

Consto Midt-Norge AS satte kravene. Dimensjoneringen skulle være i henhold til BREEAM-Good sertifisering og bygget skulle tilfredsstillende ZEB-O etter ferdigstillelse. Oppgaven ble da å komme opp med et forslag til bæresystem, valget stod mellom stål og betong eller massivtre. I tillegg skulle det presenteres et CO₂-regnskap for ferdig levert bæresystem.

Bygget skulle dimensjoneres etter arkitektens valg og ha mulighet for romendring i framtiden. Det var også bestemt at solceller skulle benyttes på taket for energiproduksjon. Grunnet mangelen på eksterne veiledere for massivtre og begrenset med takhøyde i bygget, valgte gruppen å gå for stål og betong som bæresystem, men benytte treverk i lettkonstruksjoner uten overbygning.

1.2 Problemstilling og formål

Arbeidet skal være en forberedende prosess mot arbeidslivet der gruppen støtter på utfordringer og må benytte opparbeidet kunnskap. Dette for å øke forståelsen for dimensjonering av bæresystemer og en forsmak på miljøløsninger. Bæresystemet skal følge krav fra PBL og TEK17, samt oppnå tilstrekkelig kapasitet for gitte krefter. For å løse dette blir dataprogrammer som Revit, FEM-Design og EUROCODEexpress benyttet for å forenkle prosessen. Dette gir problemstillingene:

- Finne plassering av bæresystem utifra arkitektmodell etter passivhusstandarden
- Dimensjonere bæresystemet
- Gi et CO₂-regnskap for levert byggeplass

1.3 Avgrensninger

Prosjektet som ble gitt hadde ingen begrensninger i hvor mye gruppen kunne foreta seg. Derfor ble det valgt å utføre analyser via FEM-Design, med manuell beregning på et utvalg søyler og bjelker. Grunnen er at FEM-Design tar for seg en jevnt fordelt last, og vi ville kontrollsjekke at kreftene stemte.

Det ble også avtalt at gruppen skulle se bort fra koblingene mellom søyler og bjelker. Dersom gruppen opplever dårlig tid på slutten av perioden, vil en foreta beregninger for fundamentet med størst belastning og benytte dette for alle søylepunkt i konstruksjonen. Geotekniske oppgaver har blitt utelatt, men Consto Midt-Norge har fastsatt det dimensjonerende grunntrykket.

1.4 Oppbygning av oppgaven

Opgaven blir bygd opp av sju ulike deler og er som følger:

- Del 1** Innledning. Presentasjon hva oppgaven handler om og hvorfor den er valgt, forteller også leseren hva vi utelater.
- Del 2** Teoretisk grunnlag. Beskriver all terminologi i teksten og er nødvendig for at leseren skal få bakgrunn om hva som blir beskrevet senere i teksten.
- Del 3** Materialer og metode. Beskriver fremgangsmåten i oppgaven, skal kvalitetssikre at metodene kan benyttes av andre.
- Del 4** Resultater. Tabeller og figurer som er relevante for oppgaven blir presentert oversiktlig for leseren.
- Del 5** Drøfting. Resultatene fra del 4 blir diskutert hvorfor det ble slik og eventuelle avvik eller feilkilder blir tatt opp. Skal være subjektiv og representere resultatene.
- Del 6** Konklusjon. Erfaringen og resultatene fra del 4 og 5. Avslutter oppgaven med å si om resultatene svarer på formålet og problemstillingene.
- Del 7** Referanser. Viser den brukte litteraturen i en oversiktlig liste.
- Del 8** Vedlegg. Utregninger og annen informasjon som underbygger deler i rapporten som ikke er vesentlig, men for utdyping av svarene.

2 TEORETISK GRUNNLAG

2.1 Regelverk

2.1.1 Lover

Alle bygg er regulert av lover og regler. I Norge er det øverste leddet og den sentrale delen Plan- og bygningsloven. Plan- og bygningslovens formål er: *“Loven skal fremme bærekraftig utvikling til beste for den enkelte, samfunnet og framtidige generasjoner”* (Kommunal og distriktsdepartementet, 2021).

Loven utreder seks underdeler, del en med alminnelig informasjon og krav til kartgrunnlag. Del to, plandel innenfor nasjonale, regionale og kommunale planbestemmelser. Del tre som gjennomføring. Del fire angående byggesak. Del fem håndheving og gebyrregler og del seks med sluttbestemmelser.

2.1.2 Forskrifter

Byggeteknisk forskriften (TEK17) følger etter PBL. Den gir oss *“Tekniske krav til byggverk trekker opp grensen for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge”* (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Forskriften skal gi funksjonskrav til hvordan et bygg skal oppføres, men kan også gå inn på ytelseskravene på bygningsdelene.

Byggesak forskriften (SAK10) står likt med TEK17 og tar seg av *”byggesaksbehandling, kvalitetsskontroll og kontroll, om tilsyn, om godkjenning av foretak for ansvarsrett og om reaksjoner der reglene ikke er fulgt”*(Direktoratet for byggkvalitet, 2017). SAK10 utfyller dermed PBL sin del fire og fem.

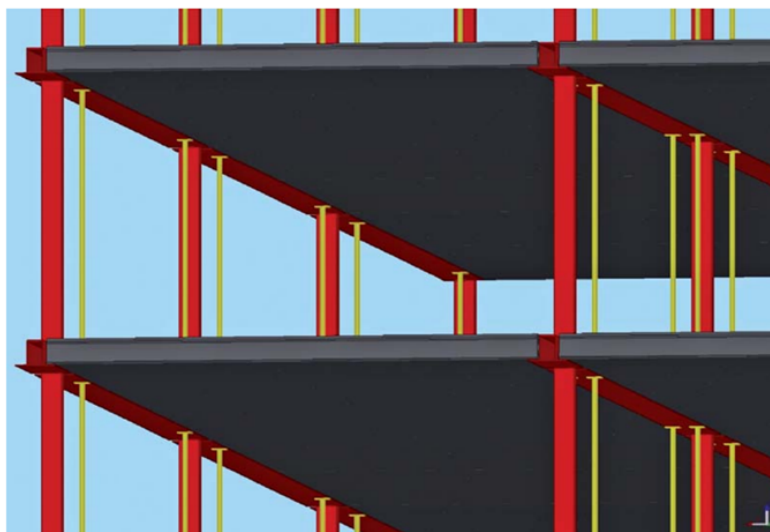
2.1.3 Standarder

Tredje og siste ledd er standardene. Norsk Standard er regler og bestemmelser for et produkt, utførelse eller prosess i byggenæringen. Norsk Standard det norske medlemmet i det internasjonale ISO og det europeiske CEN. Store deler av NS stammer fra CEN. Under standardene kommer Eurokodene som er felles for Europa. Disse går fra 0-9 (Standard Norge, 2021).

2.2 Bæresystem

2.2.1 Generelt

Av bæresystemer i Norge brukes det som regel to grunnsystemer. Disse to grunnsystemene er trekonstruksjoner eller stål og betong, der sistnevnte er mest brukt i større konstruksjoner. Et bæresystem i stål og betong er vist i figur 2. Bæresystemene har ofte prefabrikkerte elementer som er forhåndsregnet og har dermed preaksepterte løsninger og metoder. En vil alltid dimensjonere et bæresystem på mest økonomisk måte, men i henhold til kravene satt av arkitekt og gitte miljøkrav.



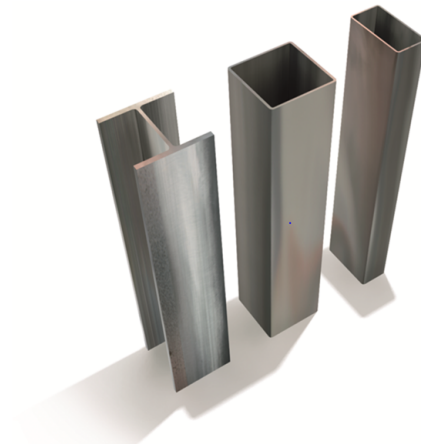
Figur 2: Bæresystem av stål og betong
(Norsk stålforbund og Betongelementforeningen, 2019).

2.2.2 Søylar

Søylene er en del av bæresystemet og skal føre kreftene vertikalt ned i grunnen. De skal dermed ta opp aksialkreftene, men har mulighet til å ta opp moment- og skjærkrefter. Ved dimensjonering av søyler i stålkonstruksjoner, er det hensiktsmessig å påse at slankhetsgraden holdes lav, grunnet knekking sidelengs. Slankheten er gitt ved:

$$\lambda = \frac{L_k}{i}$$

Her får en forholdet mellom L_k knekk lengden for elementet og i treghetsradiusen. Figur 3 viser ofte brukte stålsøyler som I-profiler og hullkantprofiler. Søylar kan også bli produsert i betong og tre (P. Kr. Larsen, 2020).

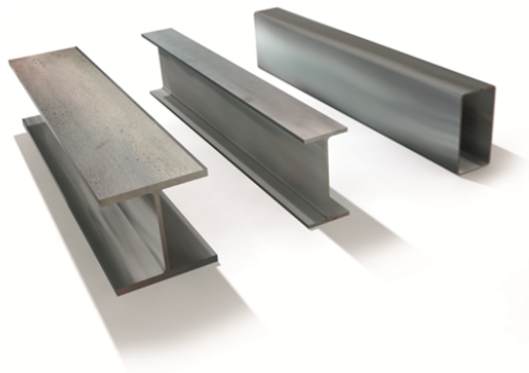


Figur 3: Stål søyler (Sintef Byggforsk, 2018).

2.2.3 Bjelker

Bjelkene skal bistå søylene i å holde dekket på plass og føre kreftene over til søylene. Dette gir oss den bærende konstruksjonen i tak og etasjeskillere. Disse har ofte flens i topp og bunn, samt et steg som holder de sammen. Bjelkene tar opp momentet på tvers av akselen og vil ofte få strekk på undersiden og trykk på oversiden. For at bjelkene skal ha stor nok kapasitet for vipping kreves det ofte stor flens. Ofte brukte bjelker er HE-bjelker, IPE og sammensatte bjelker som et fagverk. En får også bjelker i betong og treverk, da ofte limtre som treverk. Eksempler på bjelke er illustrert i figur 4.

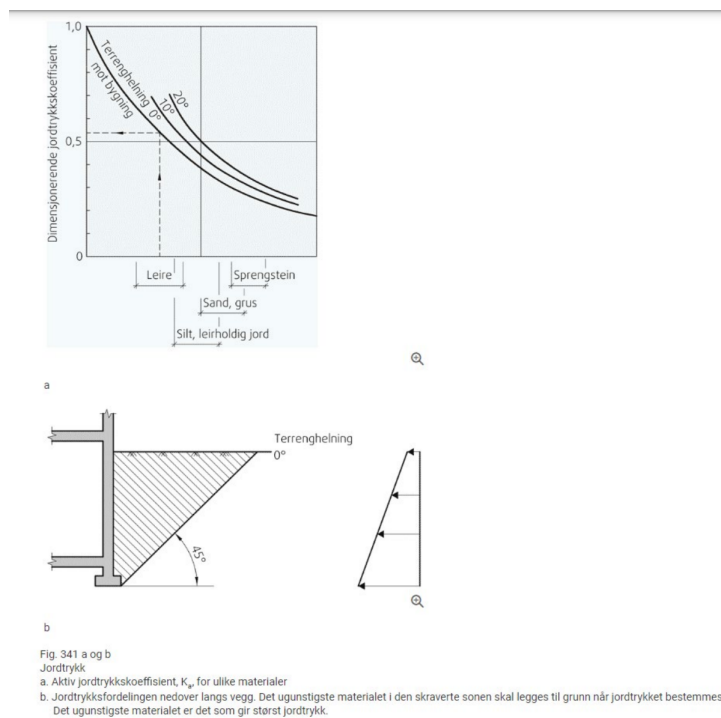
IPE bjelkene er å foretrekke foran HE bjelker ved lenger spenn i bygg. Grunnen er at IPE har mindre vekt og er sterkere. Dette er løst ved å ha en smalere flens i topp og bunn samtidig som godset er mindre. En grunn til å velge HE bjelke er hvis en sliter med vipping, da flensen er bredere. I figur 4 ser man en HE bjelke til venstre og en IPE i midten.



Figur 4: Stål bjelker (Sintef Byggforsk, 2018).

2.2.4 Fundamentering

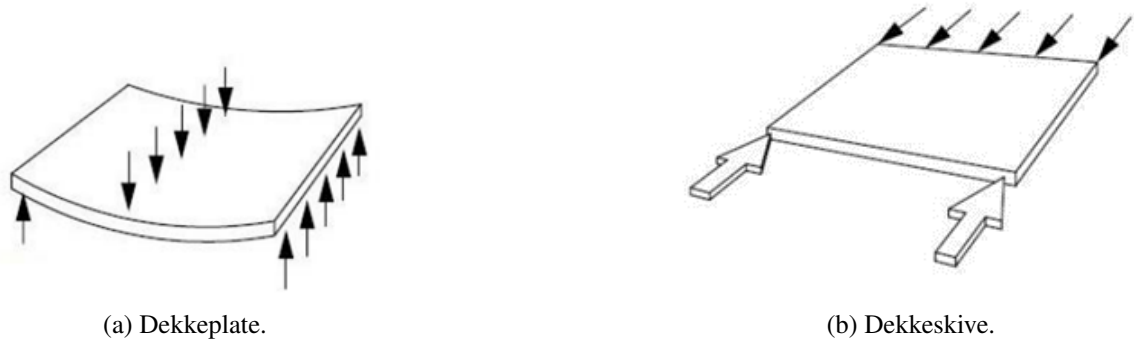
Kreftene i bygget føres fra toppen i konstruksjonen til fundamentene i bunn. Et eksempel på dette kan være: Dekke - bjelker - søyler - vindkryss og vegger - fundament. Før dimensjonering av fundamentene kan starte må bæreevnen til jorden være satt. Denne blir målt ved geotekniske undersøkelser og består av grunnforhold, hvilke masser som befinner seg i området og vannstanden. De geotekniske undersøkelsene skal også innebære jordtrykksvurdering. Det er hvor mye krefter som jorden påvirker bygget i vertikal retning. De viktigste parameterene i jordtrykks beregning er jordarten, mens egenskapene til bygget spiller en mindre rolle. Jordtrykkskoeffisienten kan etter dette bestemmes etter *NS-EN 1997-1 Fig. 341 a og b* (figur 5) (P. Kr. Larsen, 2008).



Figur 5: NS-EN 1997-1 Fig. 341 a og b, bestemmelse av jordtrykkskoeffisient.

Fundamentene skal dimensjoneres slik at bygget tåler setninger og ikke få deformasjoner. En geoteknisk setning vil si de vertikale forflytningene til fundamentet eller hele bygget over tid. Dette er noe som skal unngås så langt det lar seg gjøre, og er mer krevende når jordtrykket er lavt som for eksempel leire. Foretrukne jordart er høy steinfylling.

Punktfundament er å foretrekke ved søylepunkt, mens stripefundament brukes under vegger og sjakter. Punktfundamentene blir ofte dimensjonert med tanke på den mest belastede søylen i bygget, for å så bestemme hvor vidt spekter en vil ha på arealene. For mange fundamenter vil øke kostnadene men redusere ulik setning i bygget og mulige spenninger. Stripefundamentene vil være større og er beregnet for større krefter. Disse oppfører seg mer stabilt enn punktfundamentene og vil fordele spenningene jevnt (Arnfinn Emdahl, 2014).

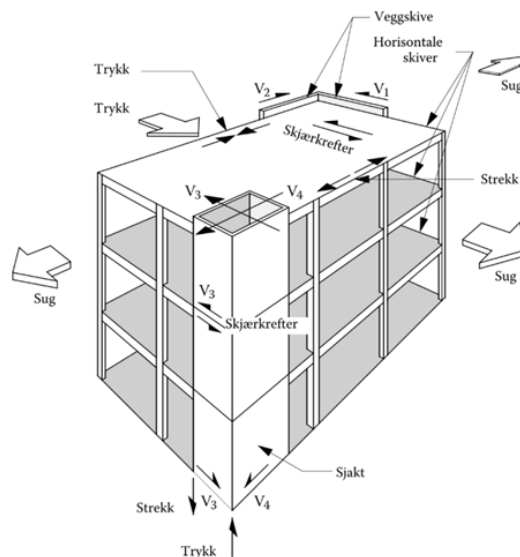


Figur 6: Krefter i dekker.

2.2.5 Dekke

Huldekker og plastøpt betong er kjente løsninger for dekker. Disse skal fungere som skiver for vindkreftene og seismiske krefter som vist i figur 6b. Dekket skal også ta opp krefter fra egenlasten og nyttelasten som en plate som i figur 6a. Felles for skiven og platen er at kreftene skal føres videre til bjelkene og søylene før de blir ført til grunnen.

I dag er det hektisk på byggeplassene derfor er det gunstig, både tidsmessig, plassmessig og økonomisk å benytte huldekker. Disse er ofte preakseptert og forenkler prosjekteringen. I tillegg tar disse opp store deler av kreftene, dersom en kobler de sammen og skaper et statisk system. Dette blir da et kombinasjonssystem, som avstivningssystem som vist under i figur 7.



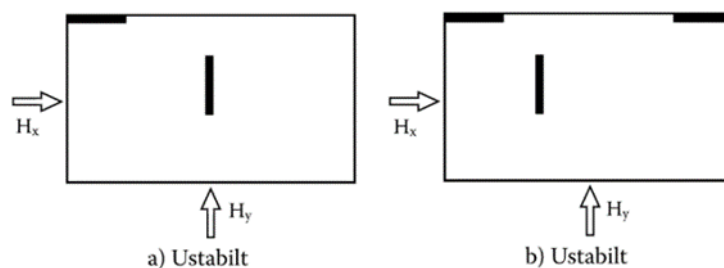
Figur 7: Kombinasjon av skiver og plater.

2.2.6 Vegg

Veggskivene skal være med og ta opp horisontalkreftene og avstive konstruksjonen. Jobben til veggene er den samme som dekkene. De skal føre kreftene videre til bjelker og søyler som en skive eller plate for at kreftene skal ende opp i grunnen. Eksempel på dette er illustrert i figur 8. I dagens bygninger benytter man ofte heissjakter og trappeløp som avstivende vegger. For at dette skal være tilstrekkelig, må det være symmetri i plasseringen.

2.2.7 Vindkryss

Dersom veggensnivåene ikke er tilstrekkelig avstivning i et statisk bestemt system som i figur 8, er en nødt til å tilføye vindkryss. Dette løses med stålstag på kryss mellom søylene og bidrar til avstivning. Her holder det ofte med små stag.



Figur 8: Avstivning av bygget.

2.3 Klimaaspekt

2.3.1 CO₂ - Karbondioksid

Karbondioksid er en kjemisk forbindelse bestående av et karbon og to oksygenatomer. CO₂ kan finnes naturlig i både fri og bundet form. Med rikelig oksygentilførsel vil også CO₂ dannes under forbrenning av f.eks kull, naturgass og petroleum. Ved industrielle prosesser med forbrenning, slippes det derfor ut store mengder CO₂ i atmosfæren som et biprodukt. Balansen av CO₂ er viktig for livet på jorden. Det er nesten likevekt i mengden CO₂ som skapes fra naturlige prosesser og mengden CO₂ som blir bundet opp i atmosfæren. Karbondioksidet blir bundet opp i fotosyntesen og igjen sluppet ut gjennom åndedrett og forråtnelsesprosesser. Den ytterligere tilføringen av CO₂ fra menneskelige industriprosesser er dermed med å skape en ubalanse. En økning av CO₂ i atmosfæren bidrar til å forårsake nye klimaendringer og forsterke drivhuseffekten. På grunn av omfanget og levetid er CO₂ den mest kritiske formen for utslipp (B. Pedersen, 2022).

Utslipet av CO₂ fra byggeprosesser måles i enheten CO₂-ekvivalenter. Denne enheten tilsvarer den effekten en gitt mengde CO₂ påvirker den globale oppvarmingen over en gitt periode. Andre klimagasser som metan og lystgass måles også i CO₂-ekvivalenter ved hjelp av GWP-faktorer. GWP står for globalt oppvarmingspotensial. For å finne utslippet for et byggemateriale, multipliseres CO₂-ekvivalenten med massen til materialet (Miljødirektoratet, 2019).

2.3.2 Utslipp fra produksjon

Den mest brukte metoden for å fremstille råjern i verden, er å smelte jernmalm ved hjelp av koks eller elektrisitet. Koks er i hovedsak fremstilt fra steinkull og forårsaker hoveddelen av utslippet ved fremstilling av stål. Det er estimert at 7-9% av verdens utslipp av CO₂ kommer fra produksjon av stål. Gjennomsnittlig produseres det 1,8 millioner tonn CO₂ per tonn ferdig stål. I 2020 ble det produsert 1864 millioner tonn stål på verdensbasis (J. K. Solberg, 2022).

Betong består av sement, vann og tilslag av sand og stein. Det er estimert at 7-8% av verdens utslipp kommer fra produksjonen av sement. Sementen står til sammen for 90% av utslippene i produksjonen av betong. Lavkarbonbetong er produsert i samsvar med NS-EN 206+NA. Standarden setter krav til mengde CO₂-ekvivalenter per m³ betong. Et eksempel er B35 i lavkarbonbetong A som har en grense på 200 CO₂-ekv. per m³ i forhold til gjennomsnittet som er 280 CO₂-ekv. per m³ (A. K. Kvellheim og K. Bramslev, 2020).

2.3.3 LCA - Life Cycle Assessment

En livsløpvurdering er en metode for å finne den samlede miljøpåvirkningen av et produkt, tjeneste eller komponent. Livsløpvurderingen vil inkludere alt fra råvareproduksjon til hvordan avfallet blir behandlet mot slutten av levetiden. Miljøpåvirkningen blir målt i CO₂-ekv. produsert og mengde energi som er brukt. I livsløpvurderingen blir det sett på både direkte og indirekte miljøpåvirkninger. Et eksempel på direkte er forbrenning av diesel, og indirekte er utslippet fra produksjonen av drivstoffet. En LCA er oppbygd etter kravene i ISO 14040-14044 (NORSUS, 2022).

Livsløpet i LCA er delt opp i kategoriene A, B, C og D, som vist i tabell 1. A er produksjon og montering, B er brukstiden, C er slutten av levetiden og D er miljøpåvirkninger som kommer utenfor kategoriene.

Tabell 1: Systemgrenser.

Produksjon	Konstruksjon	Bruk	Slutten av bruk	Utenfor systemgrensene
A1 - A3	A4 - A5	B1 - B7	C1 - C4	D

Kategoriene er også delt opp i mindre prosesserer, kategori A er vist i tabell 2. Her er A1 utvinning av råmaterialer, A2 er transport til produksjon, A3 er produksjon, A4 er transport til leveringssted og A5 er montering på leveringssted.

Tabell 2: LCA A1-A5.

A1	A2	A3	A4	A5
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Installering

2.3.4 EPD

EPD står for Environmental Product Declaration og er en miljødeklarasjon. Dette dokumentet viser til miljøprofilen til et produkt, tjeneste eller komponent. Oppbygningen og kravene til en EPD er gitt i ISO 14020-14025. Dokumentet er også verifisert av en tredjepart. EPD brukes både i norsk og internasjonal sammenheng. En EPD med standardiserte produkter gjør det mulig å kunne se og sammenligne utslippet fra produksjonen av produktet. Et eksempel på dette kan være å sammenligne utslippet på 1m^3 med betong mellom produsenter. Flere produsenter i byggenæringen tilbyr EPD på sine produkter til sine kunder. EPD er basert på gjennomsnittsverdier av prosent materialbruk med en feilmargin på +/-10% (EPD Norge, 2021).

2.3.5 ZEB

ZEB (Zero Emission Buildings) er et forskningscenter som har som mål å utvikle kunnskap og løsninger for eksisterende og nye bygninger. Et bygg med ZEB definisjon skal gjennom sin levetid kompensere for alle klimagassutslippene knyttet til produksjon, oppføring og drift. Disse byggene blir ofte definert som nullutslippsbygg. Dette vill gjelde i fem forskjellige nivåer vist i figur 9.

ZEB - O ÷ EQ

Bygningens fornybare energiproduksjon kompenserer for klimagassutslippet fra drift av bygningen, men uten medregnet den energien som går til bruk av utstyr.

ZEB – O

Bygningens fornybare energiproduksjon kompenserer for klimagassutslippet fra drift av bygningen.

ZEB – OM

Bygningens fornybare energiproduksjon kompenserer for klimagassutslippet fra drift og produksjon av byggematerialer.

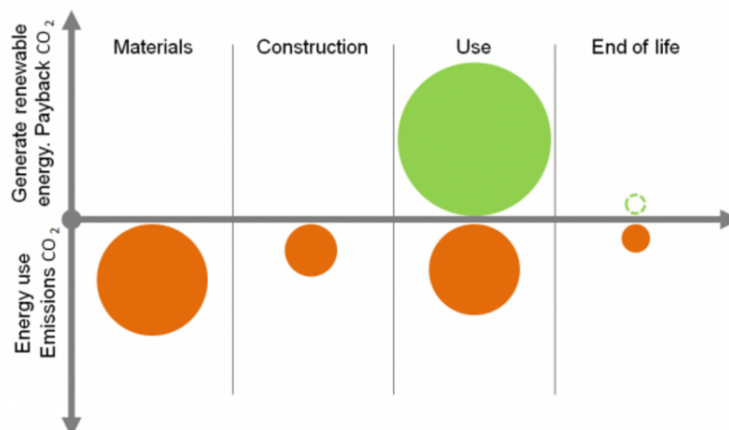
ZEB – COM

Bygningens fornybare energiproduksjon kompenserer for klimagassutslippet fra bygging, drift og produksjon av byggematerialer.

ZEB – KOMPLETT

Bygningens fornybare energiproduksjon kompenserer for klimagassutslippene fra absolutt hele levetiden til bygningen. Dette gjelder byggematerialer, konstruksjon, drift og produksjon, samt riving og gjenvinning.

Figur 9: ZEB definisjoner (ZEB, 2022).



Figur 10: Faser og levetid (ZEB, 2022).

Illustrasjonen i figur 10 viser byggets ulike faser og levetid. Grønn sirkel (fornybar energiproduksjon) skal være like stor eller større enn oransje sirkler (utslipp). Hvor mange av de oransje sirklene som det skal kompenseres for, bestemmes av ZEB nivået. Tiltak som kan gjøres for å gjennomføre kravene kan for eksempel være solcellepanel på tak, ventilasjon med energigjenvinning, grunnboring etter vann og bergvarme.

2.3.6 Passivhus

Passivhus er et begrep som har fått mye oppmerksomhet de siste årene. Dette konseptet ble utviklet av et forskningsinstitutt i Tyskland, og det første passivhuset ble bygget allerede i 1990. Konseptet ble utviklet med et mål om å redusere energibehovet til en bolig, og samtidig beholde et komfortabelt og sunt inneklima. For at et bygg skal komme innenfor passivhusstandarden må det gjøres passive tiltak før og under byggingen:

- Ekstra isolasjon i vegg, gulv og tak.
- Ekstra isolerte vinduer.
- God tetthet, med lite kuldebroer og luftlekkasjer.
- God utnyttelse av solenergi.

I NS 3700:2013 settes det krav til varmetapstall, oppvarmingsbehov, energiforsyning og lekkasjetall. Dette er minimumskrav som må overholdes for å definere et bygg som passivhus (Tekna, 2021).

2.3.7 BREEAM sertifisering

BREEAM står for Building Research Establishment's Environmental Assessment Method og er Europas ledende miljøsertifisering verktøy for bygninger. Grønn allianse i Norge har også utviklet en egen sertifisering, BREEAM-NOR. BREEAM-NOR er Norges eneste sertifisering av bærekraftige bygg. Denne sertifiseringen skal motivere til å tenke bærekraftige løsninger gjennom hele byggeprosessen, og blir gitt i fem forskjellige nivåer. Disse er "Pass", "Good", "Very Good", "Excellent", "Outstanding" (Byggalliansen, 2022). Nivåene er gitt ut fra dokumentasjon på miljøprestasjoner i ni forskjellige kategorier:

- Ledelse
- Helse og innemiljø
- Energi
- Transport
- Vann
- Materialer
- Avfall
- Arealbruk og økologi
- Forurensning

2.4 Laster

2.4.1 Generelt

Ved dimensjonering av et bygg ønsker man å finne den mest kritiske lasten. Dette gjøres ved å se på de ulike lastene som bygget blir påvirket av. Disse blir kategorisert i permanente laster og variable laster. Disse blir så delt inn i ulike tilstander bygget skal tåle.

Grensetilstander

En konstruksjon dimensjoneres ut fra forskjellige grensetilstander før konstruksjonen kan tas i bruk. Grensetilstanden er tilstanden der en konstruksjon er på grensen til å være uegnet eller ikke er innenfor kravene som stilles til bygget. Det er fire forskjellige grensetilstander, bruddgrensetilstand, bruksgrensetilstand, utmattingsgrensetilstand og ulykkesgrensetilstand.

Bruddgrensetilstand

I bruddgrensetilstanden skal konstruksjonens kapasitet testes mot dimensjonerende lastvirkning. Her brukes gitte faktorer (tabell 3) for å kontrollere at konstruksjonen ikke overgår gitte bruddgrensekriterier. Her skal alle mulige lastkombinasjoner testes i ligningene 6.10a og 6.10b, slik at største potensielle lastvirkningen brukes videre for dimensjonering av konstruksjonen eller konstruksjonsdelen. Bruddgrensetilstanden brukes ved utregning av momentkapasitet, skjærkapasitet og normalspenningskapasitet. (T. Rørvik og V. Årskog, 2010)

Tabell 3: Faktorer i bruddgrensetilstand (T. Rørvik og V. Årskog, 2010).

Lastkombinasjoner som skal påvises	Permanente laster		Dominerende variabel last Q_i	Øvrige variable laster Q_i
	Ugunstig	Gunstig		
	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}$	$\gamma_{Q1}\psi_{0,1}$	$\gamma_{Qi}\psi_{0,i}$
B1 (Ligning 6.10a)	1,35	1,00	1,05	1,05(0,90)*
B2 (Ligning 6.10b)	1,20	1,00	1,50	1,05(0,90)*

*Dersom øvrige variable laster er vindlast eller temperaturlast skal verdien 0,90 nyttes.

*Nyttelast på tak (unntatt snølast) skal ikke inkluderes i en lastkombinasjon dersom denne nyttelasten tilhører kategorien *øvrige variable laster*.

Bruksgrensetilstand

Bruksgrensetilstanden brukes når konstruksjonens funksjonsdyktighet skal kontrolleres. Konstruksjonen skal tåle vanlig bruk, uten å komme utenfor satte kriterier. Dette gjelder konstruksjonens forskyvninger, som for eksempel nedbøyning av stålbjelker. Forskyvninger kan også ha påvirkning for konstruksjonens svingninger, noe som igjen påvirker rissvidde i betongen. Derfor må eventuell beregning av rissvidde også gjøres i bruksgrensetilstanden. Ved beregning av funksjonsdyktighet trengs ikke noe sikkerhet for lastverdiene. Det er forskyvningene for ulike kombinasjoner som er av størst interesse. Derfor brukes faktorer fra tabell 4 til dimensjonering i bruksgrensetilstand.

Tabell 4: Faktorer i bruksgrensetilstand (T. Rørvik og V. Årskog, 2010).

Lastkombinasjoner	Permanente laster	Dominerende last	Øvrige variable laster
	γ_{Gj}	γ_{Q1}	γ_i
Karakteristisk	1,0	1,0	0,7
Ofte forekommende	1,0	0,7	0,6
Tilnærmet permanent	1,0	0,6	0,6

2.4.2 Egenlast

Med egenlast på en konstruksjon menes konstruksjonens egen vekt og konstruksjonsdeler som blir liggende permanent. Egenlasten flyttes som oftest ikke, så denne vil ha fast plassering, retning og størrelse. Faste installasjoner som heis, solcellepanel, ventilasjonsutstyr og lignende defineres som påført egenlast (T. Rørvik og V. Årskog, 2010).

2.4.3 Nyttelast

Nyttelast er vanligvis en variabel last. Nyttelasten får en verdi satt ut ifra kategorien bygget defineres innen. Dette er en minimumsverdi, så denne kan justeres om nødvendig. Nyttelasten oppstår under lastpunkt som flytter plassering ofte, som for eksempel mennesker, dyr, møbler, lagrede materialer, maskiner eller kjøretøy (R. W. Meyer, 2021). Nyttelasten blir oftest regnet som jevnt fordelt last over et visst areal. Tabell 5 viser hvilke nyttelaster som er gjeldene.

Tabell 5: Karakteristiske nyttelaster på golv (T. Rørvik og V. Årskog, 2010).

Kategori	Bruk	Eksempler	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)
A	Arealer for inneaktiviteter og hjemmeaktiviteter	Rom i boligbygg og hus; rom og avdeliger i sykehus; soverom i hoteller og gjestgiverier; kjøkken og toaletter.		
		- Gulv	2,0	2,0
		- Trapper	3,0	2,0
		- Balkonger	4,0	2,0
		- Loft med liten takhøyde eller begrenset adgang	1,0	1,5
B	Kontorarealer		3,0	2,0
C	Arealer hvor personer kan samles (med unntak av arealer som er definert i kategori A, B, D og E)	Arealer med bord, for eksempel i skoler, kafeer, restauranter, spisesaler, leserom, resepsjoner. C1	3,0	4,0
		Arealer med faste seter, for eksempel arealer i kirker, teatre, kinosaler, konferanserom, forelesningssaler, forsamlingsaler, venterom og lignende. C2	4,0	4,0
		Arealer uten hindringer for personer i bevegelse, for eksempel arealer i museer, utstillingsrom, ankomstområder i offentlige bygg, administrasjonsbygg, hoteller C3	5,0	4,0
		Arealer med mulige fysiske aktiviteter, for eksempel dansesaler, gymnastikkrom, scener og lignende C4	5,0	7,0
		Arealer som lett overfylles, for eksempel i bygg for offentlig bruk som konsertsaler, idrettshaller inklusive tribuner og atkomstområder, utendørs idrettsanlegg C5	5,0	4,0
D	Forretningsarealer	Arealer i detaljhandel, varehus, bok- og papirhandel ... D1	5,0	4,0
		Arealer belastet med pallet papir og lignende D2	5,0	7,0
E	Arealer for oppsamling av varer, innbefattet ankomstområder	Arealer for oppbevaring, innbefattet biblioteker. E1	7,5	7,0

2.4.4 Snølast

Snølasten er definert som en variabel last. Det er flere faktorer som påvirker snølasten. Eksempler på dette er høyde over havet, utforming på tak, taktekkingsmaterialet, årstid, plassering i landet og topografi, Snølasten dimensjoneres etter en 50-årslast i hver kommune. Det vil si at snølasten i gjennomsnitt hvert 50. år overgår denne lasten. Tabell 6 viser hvilke faktorer som skal brukes ved dimensjonering av snølast på tak. (T. Rørvik og V. Årskog, 2010, s. 51-52).

Tabell 6: Formfaktor for saltak, pulttak og sagtak (T. Rørvik og V. Årskog, 2010).

Formfaktor	Takvinkel		
	$0^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60^\circ - \alpha)/30^\circ$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha/30^\circ$	1,6	-

Snølasten på tak er gitt av NS-EN 1991-1-3:2003:

$$S = \mu * C_e * C_t * S_k \quad (kN/m^2)$$

μ = Formfaktor

C_e = Eksponeringsfaktor (sterk vind kan redusere snøtyngden på taket)

C_t = Termisk faktor (snølasten kan bli redusert på grunn av varmegjennomgang)

S_k = Karakteristisk snølast på mark

2.4.5 Vindlast

Vindlast er belastningen en konstruksjon blir utsatt for i sterk vind. Lasten som påføres konstruksjonen er ikke konstant, derfor defineres den som variabel last. Den karakteristiske vindbelastningen på bygget beregnes av den største vindhastigheten som forekommer hvert 50. år. Vindhastigheten påvirkes av forskjellige faktorer, som årstid, topografi, beliggenhet, terrenghet, omkringliggende byggverk og selve byggets geometri og stivhet. Hver enkelt kommune har sin referansevindhastighet som ligger i NS-EN 1991-1-4. Tabell 7 gir kategoriene utifra terrenget bygget ligger i (T. Rørvik og V. Årskog, 2010).

Tabell 7: Terrengruhetskategorier med tilhørende parametere (T. Rørvik og V. Årskog, 2010).

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

2.4.6 Seismisk last

I Norge blir den seismiske lasten medregnet i horisontal retning og vil være med å påvirke byggets stabilitet. En må spesielt ta hensyn til dette på dårlig grunn og på Nord-Vestlandet. Den seismiske lasten blir regnet ut i fra EC8. Utelatelseskriteriene for om seismisk last skal være med ligger i grunntypen på jorden. Ut fra dette kan en bruke EC8-1, likning 3.1 for å finne skjærbølgehastigheten og berggrunnakselerasjonen med EC8-5, likning 5.2

2.4.7 Brann

Om en brann skulle oppstå vil dette potensielt få store konsekvenser. For å minimere mulighetene for store konsekvenser, blir byggene delt inn i risikoklasser avhengig om hva bygget har som formål. I tabell 9 vises grunnlaget for inndelingen av risikoklassene. Tabell 10 viser brannklassene som blir satt ut fra om det er fare for liv og helse. Brannklassene er hentet fra NS-EN 1993-1-2:2005. I stålkonstruksjoner kan en utføre branndimensjoneringen ved hjelp av tykkelsen på isolasjonen rundt bæresystemet, brannsikker maling eller gips.

Tabell 8 viser brannmotstanden i standard hulldekker. Disse hulldekkene har alle brannmotstand på minimum R60.

Tabell 8: Brannmotstand i hulldekke (Betongelementboka, 2020).

Element-tykkelse	Ekvivalent tykkelse	Ett armeringslag			Maks. armering		
		Armeringsdybde	REI 60	REI 90	Midlere arm.dybde	REI 90	REI 120
200	105	40	×	(×)	40	(×)	-
265	152	40	×	(×)	40	(×)	-
320	162	40	×	(×)	Min. 45	×	(×)
400	187	40	×	(×)	Min. 45	×	(×)
500	256	40	×	(×)	Min. 45	×	(×)

Tabell 9: Risikoklasser i bygninger (Direktoratet for byggkvalitet, 2018).

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

Tabell 10: Brannklasser i bygg (Direktoratet for byggkvalitet, 2018).

Brannklasse	Konsekvens
1	Liten
2	Middels
3	Stor
4	Særlig stor

2.5 Dataprogrammer

2.5.1 Revit

Revit er et komplett BIM verktøy utviklet av det amerikanske selskapet Autodesk. Programmet kan brukes av både arkitekter og ingeniører for å kunne visualisere avanserte 3D-modeller. Det er også mulig å lage 2D tegninger og få tilgang til detaljert informasjon fra komponenten i modellen (BIM). Selve 3D-modellen kan tegnes med elementer av tre, stål og betong. Programmet effektiviserer tegneprosessen ved å automatisere enkle oppgaver og muliggjør import av ferdige elementer. I sammensatte prosjekter kan ulike yrker sette sammen sine modeller for enklere samhandling.

2.5.2 FEM-Design

FEM-Design er et 3D-modellereingsprogram til bruk for strukturell design og analyse. Programmet er utviklet av det svenske selskapet Strusoft. I programmet er det mulig å kjøre analyser av 3D-modeller med elementer i stål, tre, kompositt, mur og betong. 3D-modellen kan påføres flere krefter og kraftkombinasjoner. Dette er for eksempel egenlast, nyttelast, snølast, vindlast og seismisk last. Alle analysene i programmet blir gjennomført i henhold til Eurocode. FEM-Design forenkler avanserte beregninger og fremstiller resultatet i 3D-modellen.

2.5.3 EUROCODEexpress

EUROCODEexpress er et beregningsprogram utviklet av RUNET software & expert systems. Programmet lar deg beregne konstruksjonsobjekter basert på de ulike Eurokodene med nasjonale tillegg. Dette innebærer alt fra betong, stål, mur og betong. Relevante diagrammer, tabeller og informasjon er lett tilgjengelig i programmet.

2.5.4 Office 365

Office 365 er en samling dataprogrammer utviklet av Microsoft. Samlingen inneholder blant annet Word, Excel og PowerPoint. Disse programmene benyttes til tekstbehandling, beregning og presentasjoner. Office 365 inkluderer også Teams som er en samarbeidsplattform for møter og fildeling.

2.5.5 Overleaf

Overleaf er et nettbasert tekstbehandlingsprogram som bygger på typesettingssystem LaTeX. Programmet lar flere brukere redigere dokumentet samtidig. Dokumentet kan enkelt lastes ned og konverteres til pdf.

3 METODE

3.1 Laster

3.1.1 Egenlast og nyttelast

NS-EN 1991-1-1 gir hvilken verdi som skal brukes for nyttelast. I dette tilfellet blir verdien for vanlig boligbygg med hybler benyttet. Grunnet kontorarealer i bygget havnet gruppen på en gjennomsnittlig verdi på $3,0 \text{ kN/m}^2$.

Bygget skulle også dimensjoneres etter ZEB-O, dette er noe som må bli tatt hensyn til under dimensjonering. Consto Midt-Norge AS hadde allerede valgt at bygget skulle ha solceller på taket som bidrar til ZEB-O kravet. Lasten for dette vil være permanent og legges til påført egenlast, verdien på dette er satt til $0,5 \text{ kN/m}^2$ etter avklaring med Consto. Påstøp og andre objekter som innervegger og tekniske installasjoner skal tas hensyn til og vil også være en påført egenlast, verdien ble satt til $1,5 \text{ kN/m}^2$, etter tabeller fra (Sintef Byggforsk, 2013).

Egenlasten i bygget blir automatisk utregnet av FEM-Design, og er derfor ikke tatt med her. Dette vil være vekten av søyler, bjelker og dekker. Utregning på dette er fremstilt i vedlegg 7.

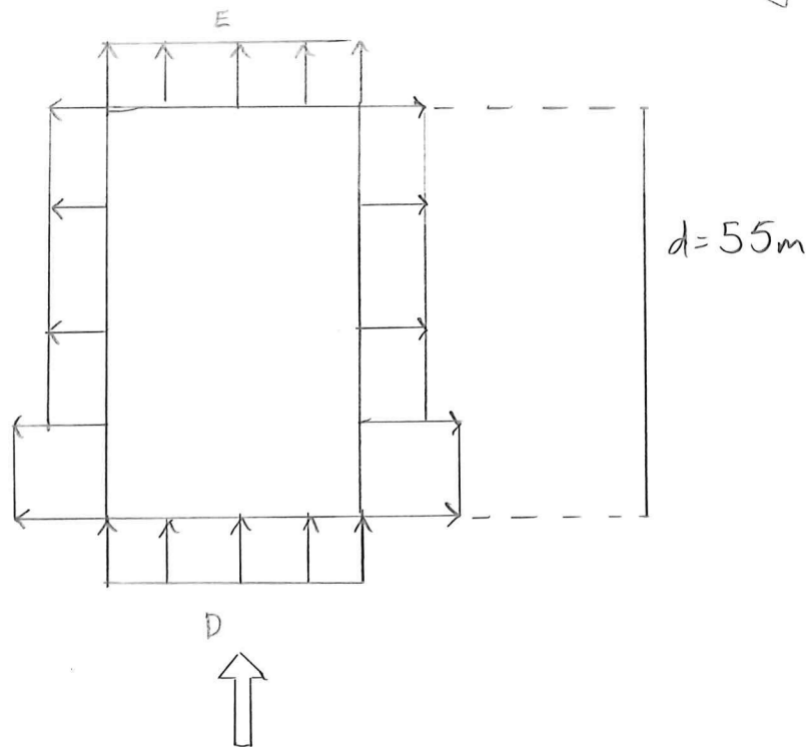
3.1.2 Snølast og vindlast

Bygget ligger i Ålesund kommune og vil derfor få en karakteristisk snølast (S_{k0}) på $3,0 \text{ kN/m}^2$ etter NS-EN 1991-1-3. Vi vil også få formfaktoren (μ) på 0,8. Dette gir oss en dimensjonerende snølast (q_1) på $2,4 \text{ kN/m}^2$. Lasten blir brukt direkte inn i FEM-Design og lagt på de flatene som er aktuelle for snølast.

I figur 11 er bygget delt opp i soner der vinden går mot nord. Det ble valgt å forenkle bygget inn i en rektangel grunnet usymmetrisk bygg. Vindlasten blir automatisk regnet ut i FEM-Design etter at alle parameterene gitt i NS-EN 1991-1-4 ble lagt inn. For å være sikker på at programmet benytter de korrekte verdiene har det blitt foretatt en kontroll for hånd, dette kan sees i vedlegg 4. Tabell 11 viser hvilke verdier som har blitt benyttet i utregningen. Lengden ble satt til 33 meter på nordsiden og 55 meter på vestsiden.

Tabell 11: Vindlast på bygget.

	Hastighets-trykk, kN/m^2	Formfaktor sone D, $C_{pe,10}$	Formfaktor sone E, $C_{pe,10}$	Vindlast sone D	Vindlast sone E	Total vindlast kN/m^2
Nordsiden	1,14	0,798	-0,342	0,91	-0,39	1,3
Vestsiden	1,14	0,798	-0,342	0,91	-0,39	1,3



Figur 11: Soneinndeling av vindområder i Nord-retning.

FEM-Design velger å legge inn vindlaster som flatelast som virker inn i etasjene, dermed må den totale vindlasten multipliseres med etasjehøyden og $\frac{2}{3}$ for å finne resultanten av kreftene. Modellen for dette prosjektet er laget med covers på FEM-Design, slik at vindkreftene får effekt over hele byggets side. Programmet trenger disse parameterene: referansevindhastigheten i Ålesund på 29 m/s, terrengtype II og høyde over havet 30 moh.

3.1.3 Andre laster

Brisningsstubben ligger i et område der massene må skiftes ut ned til fjell. Dette gir oss en total dybde på sju meter med sprengstein. Tidligere var dette kun våt myr. Oppgaven ble basert på en konservativ verdi for grunntrykk på 250 kN/m^2 , men med grunntype A. Den seismiske aktiviteten i Møre og Romsdal skal også vurderes. Seismisk klasse for bygget er to, med en bergakselerasjon, a_{g40Hz} på 0,45. Dette gir en verdi av produktet a_{gS} på $0,36 \text{ m/s}^2 < 0,49 \text{ m/s}^2$. Valget blir dermed å utelate og begrense oppgaven med tanke på seismisk påvirkning av bygget, i henhold til EC8-1 NA.3.2.1(5)P. Det er gjort utregninger på dette i vedlegg 4.

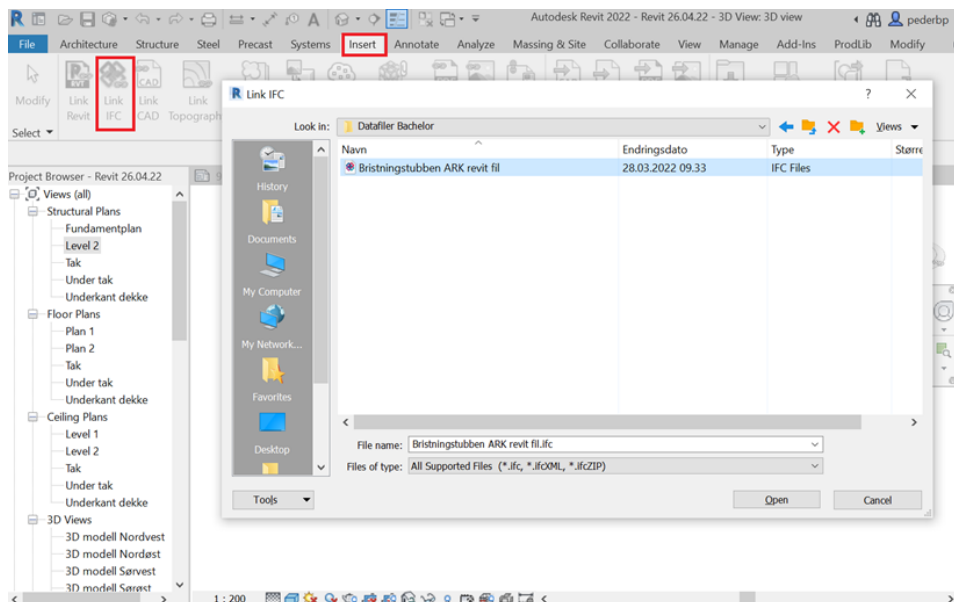
3.2 Fremgangsmåte

Prosjektet ble gitt av Consto til gruppen i starten av desember. Dette gjorde at gruppen startet med å samle informasjon om bygget i god tid før bachelortiden var i gang. Det ble avtalt mellom gruppemedlemmene hvilke fagfelt en stilte sterkest i og hva hver enkelt skulle fordype seg mer i før modelleringen av bygget startet.

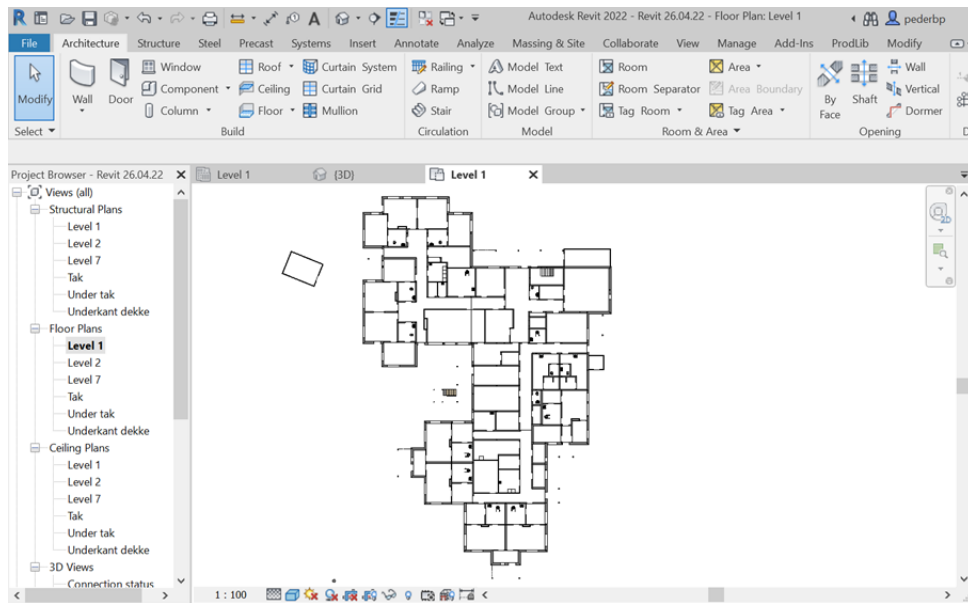
3.2.1 Dataprogram

Oppbygging av Revit modell

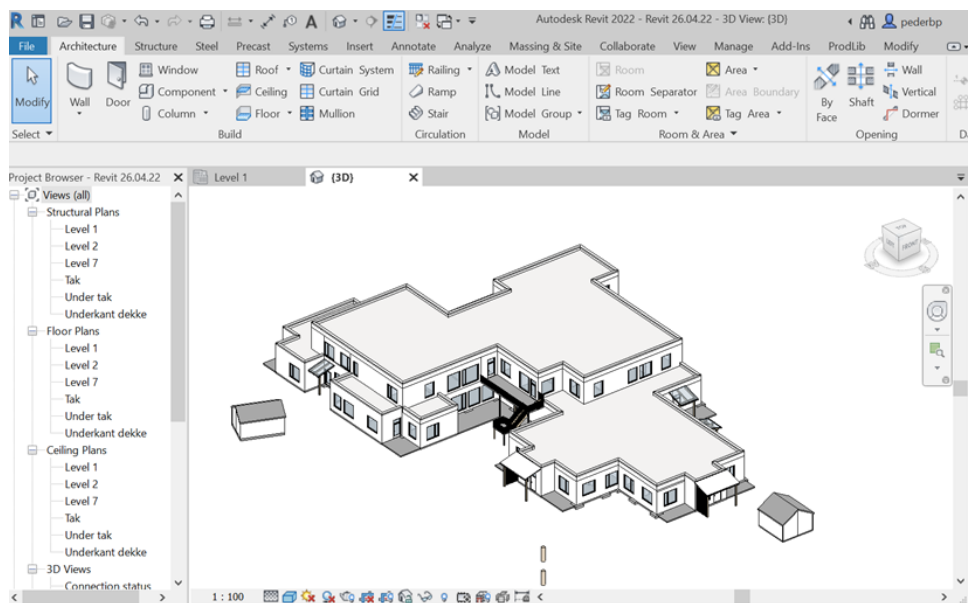
Ved starten av prosjektet hadde gruppen kontakt med Consto for å få informasjon om hvilke deler som skulle utelates i oppgaven, og for å lede oss i rett retning. Oppgaven startet med å skissere opp et bæresystem for hånd på papir for å lettere kunne se hvilken retning systemet skulle gå. Deretter gikk arbeidet videre inn i Revit Structure der vi brukte IFC-filen fra oppdragsgiveren til å modellere opp bæresystemet. Denne ble lastet opp via ”link IFC” som laster filen rett inn i den posisjonen som vi ønsker (figur 12). Filen inneholdt alle plantegninger av bygget og høyden på etasjene (figur 13). Revit var en del av undervisningen ved NTNU, og gruppen var godt kjent med programmet. Et overblikk av arkitektmodellen i figur 14 viser hvordan bygget er tenkt. Revit forenkler jobben betraktlig, da alle hindringer kommer fram og en får se plasseringene av veggene i et 2D perspektiv.



Figur 12: Link IFC.



Figur 13: Plantegning av 1.etasje.

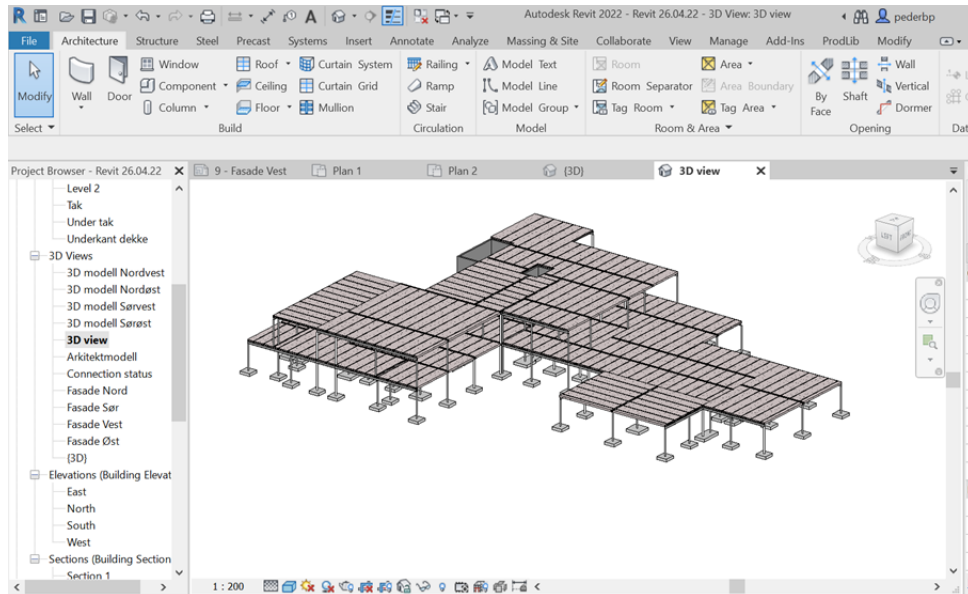


Figur 14: Arkitektmodellen i Revit.

Modellering av søyler, bjelker og dekker i Revit

Utplassering av søyler og bjelker var utfordrende i et slikt bygg. Lite av strukturen i andre etasje var lik den i første på grunn av manglende bæreakser. Mye tid ble lagt ned for å finne den mest optimale løsningen som gjorde at vi fikk kreftene kontrollert ned i grunnen gjennom stålkonstruksjonen. Vi brukte stålsøyler av typen HUP, og stålbjelker av typen IPE og THP. IPE blir brukt i ytterkant av bygget hvor dekket blir liggende på oversiden av bjelken. Inne i bygget blir det brukt THP bjelker. Her blir bjelken liggende mellom betongdekket og tar ikke opp noe av takhøyden. Denne blir brukt for å gi bedre høyde over himling for installasjoner.

Under plassering av søylene måtte vi tenke på brannkravene R60 i bærekonstruksjonen og R30 i trappeløpene, samtidig som at søylene ble plassert så nære innervegg som mulig for å unngå kuldebroer. Figur 15 viser hvordan systemet ble plassert.

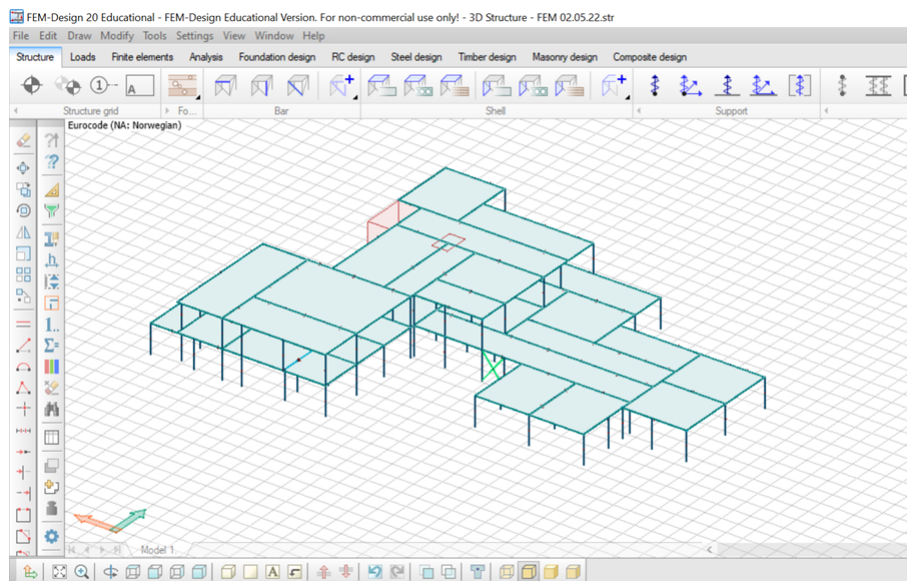


Figur 15: Bæresystemet.

Mot slutten av modelleringsfasen ble Revit modellen optimalisert ved å fjerne og flytte søyler for å redusere bruken av stål i bæresystemet. Dette vil ha en positiv effekt på miljø og økonomi. Etter dette vil modellen bli lastet opp i FEM-Design for analyse.

Eksport fra Revit til FEM-Design

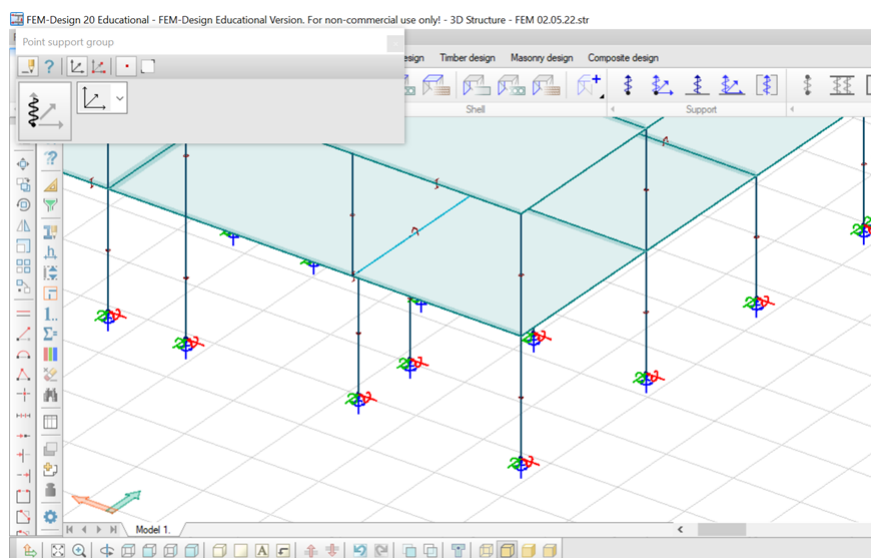
Det finnes flere muligheter for å eksportere RVT-filen til FEM-Design. Vi valgte å gjøre filen til en IFC-fil lik som arkitektmodellen og åpne denne i FEM-Design. Dette gjorde at dekkene fra Revit ble borte i FEM-Design. I FEM-Design måtte vi tilpasse høyden på søylene og legge på nytt dekke. Vi valgte å bruke et dekke tidligere laget av FEM-Design og kun bestemme retning på spennet. Figur 16 viser hvordan modellen ble sendt ut etter at dekker har blitt lagt inn og søyler justert.



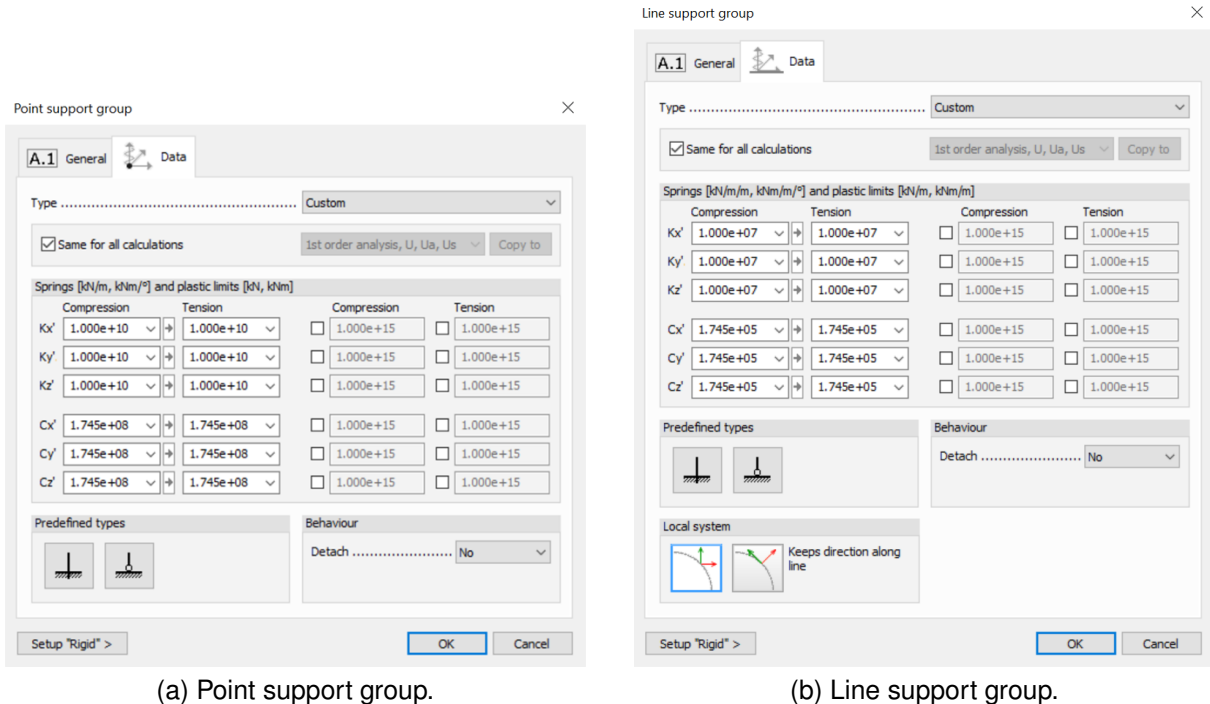
Figur 16: Bæresystemet i FEM-Design.

Support group

For å kunne kjøre analyser av modellen var vi avhengig av å sette inn *point support group* under søylene, og *line support group* under betongveggene. Uten disse ville modellen falt gjennom planet og ikke tatt krefter. Disse vil gjøre bygget fast og kan ikke sammenlignes med faktiske fundament, men har samme funksjon. Vi valgte å sette disse som fast innspent slik at de tar opp moment som søylene i fundamentene vil gjøre. Figur 17 viser hvilke retninger og hvilke momenter som blir tatt opp i støttene. I figur 18a og 18b viser vi hvilke egenskaper vi valgte på støttene. *Predefined types* hjelper oss med å velge grensene, valget er mellom fast innspent eller leddet forbindelse.



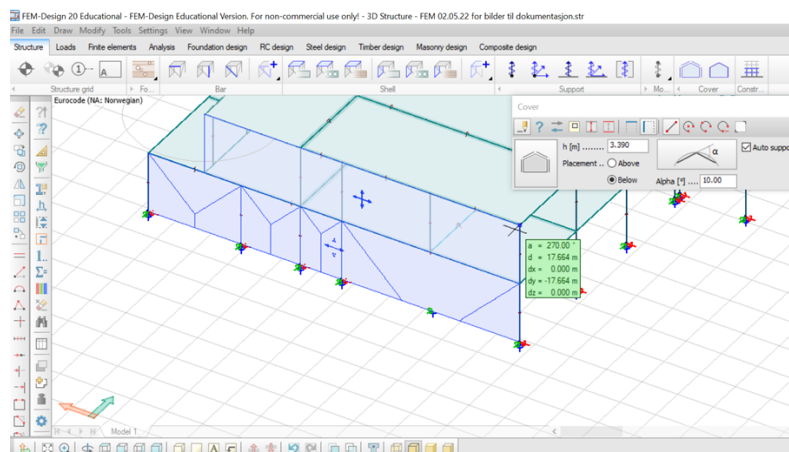
Figur 17: Support group i FEM-Design.



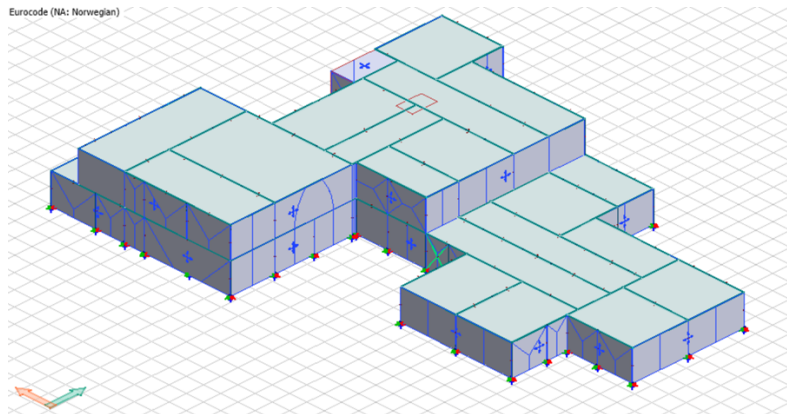
Figur 18: Egenskapene til støttene.

Cover i FEM-Design

Vi valgte å bruke *cover* rundt modellen i FEM-Design da dette forenklet jobben med å legge på vindkrefter. *Cover* gjorde at vi fikk fiktive vegger rundt hele bygget. Vindkreftene kunne nå påføres på hele veggen som en *surface load* istedenfor å kun virke inn på bjelkelaget. *Coverene* måtte defineres om de var på vertikale eller horisontale flater for at kreftene skulle virke i riktig retning (figur 20). I figur 19 viser vi hvordan *cover* blir lagt til.



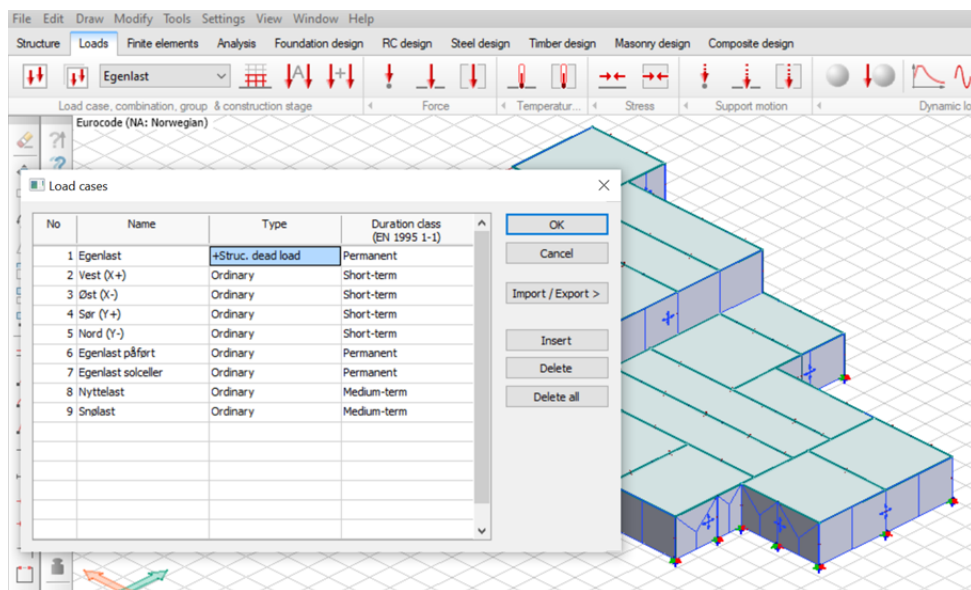
Figur 19: Legge på cover i FEM-Design.



Figur 20: Alle coverene lagt på og definert til vegg.

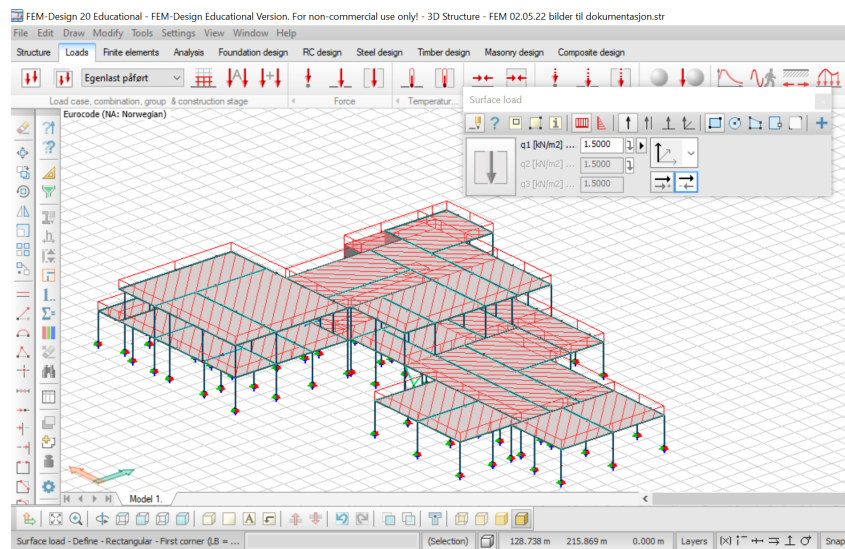
Laster

Når konstruksjonen i FEM-Design er ferdig skal alle lastene legges til. Dette gjøres ved å benytte *Load cases*, her bestemmer vi hvilke laster som skal være med. I figur 21 vises hva som er aktuelt for dette bygget. Det er i dette punktet vi velger tidsperspektivet til de ulike lastene og hva som blir permanent og variabelt.



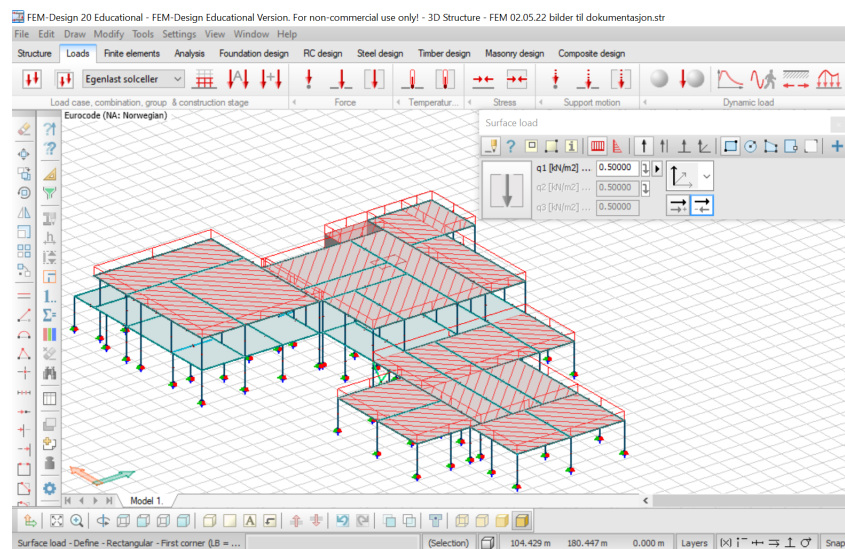
Figur 21: Lasttilfeller i FEM-Design.

Egenlasten ligger som + *struc. dead load*. Dette gjør at analysen i FEM-Design velger de fastsatte vektene til bæresystemet som last, uten at vi trenger å regne de ut selv. I den påførte egenlasten ligger alt av påstøp i hulldekkene, innvendige vegger og vinduer. Påført egenlast er bestemt utifra 471.031 (Sintef Byggforsk, 2013) og vist i figur 22. Både egenlasten og den påførte egenlasten vil være permanente.



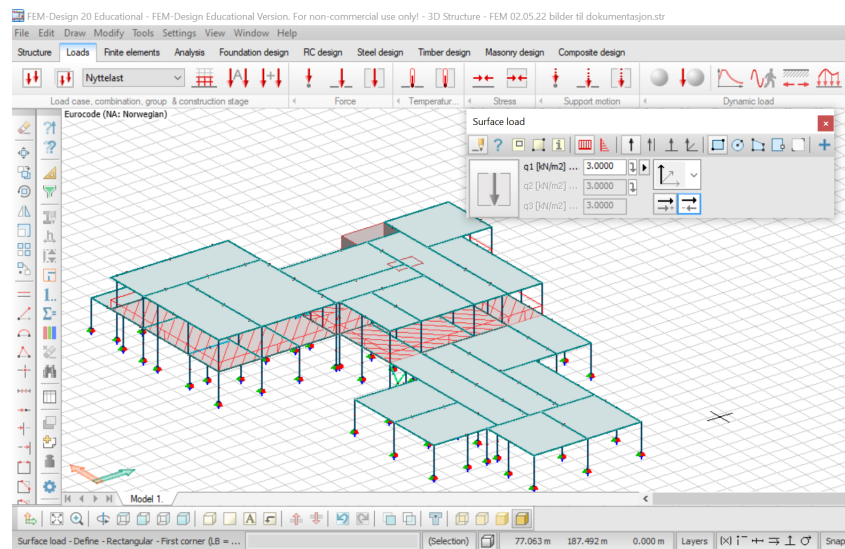
Figur 22: Påført egenlast.

Vi valgte å skille kreftene fra solcellene fra den påførte egenlasten. Grunnen er at solcellene har annen plassering og kraft. Denne kraften har samme tidsperspektiv som påført egenlast. Plasseringen av solcellene vises i figur 23.

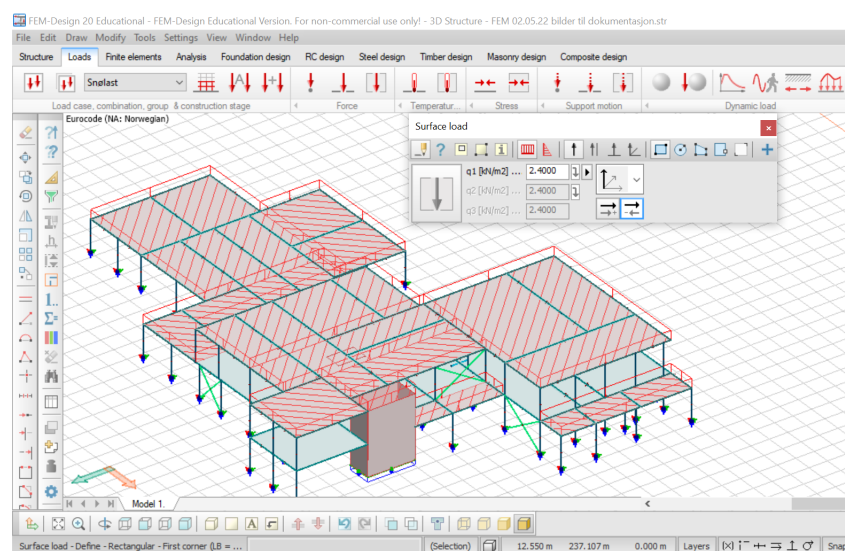


Figur 23: Egenlast Solceller.

Nyttelast og snølast vil være påført over en lengre tid, men ikke permanent. Derfor benytter vi *medium term*. Bygget skal ha nyttelast i andre etasje og snølast på tak. Plassering av kreftene er illustrert i figur 24 og 25.

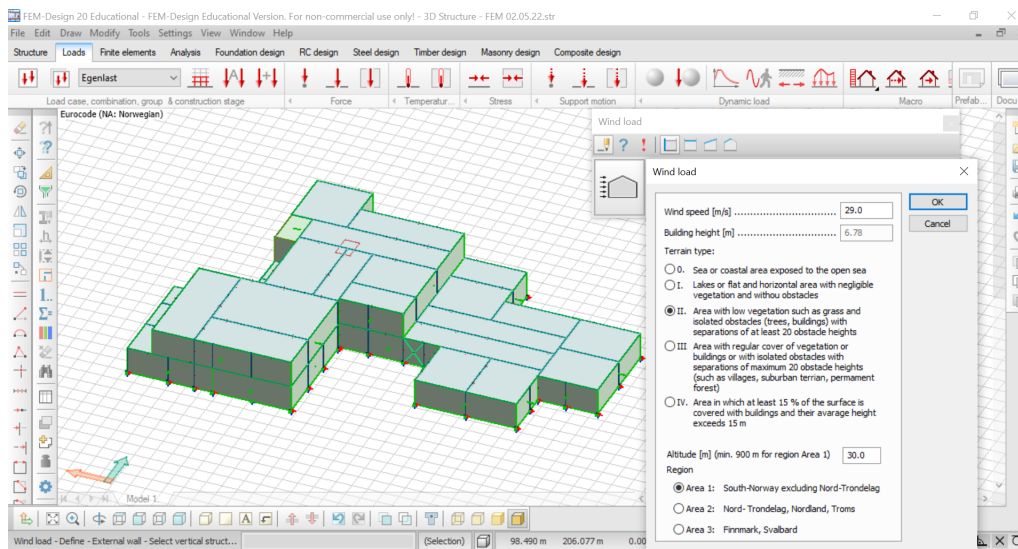


Figur 24: Nyttelast.

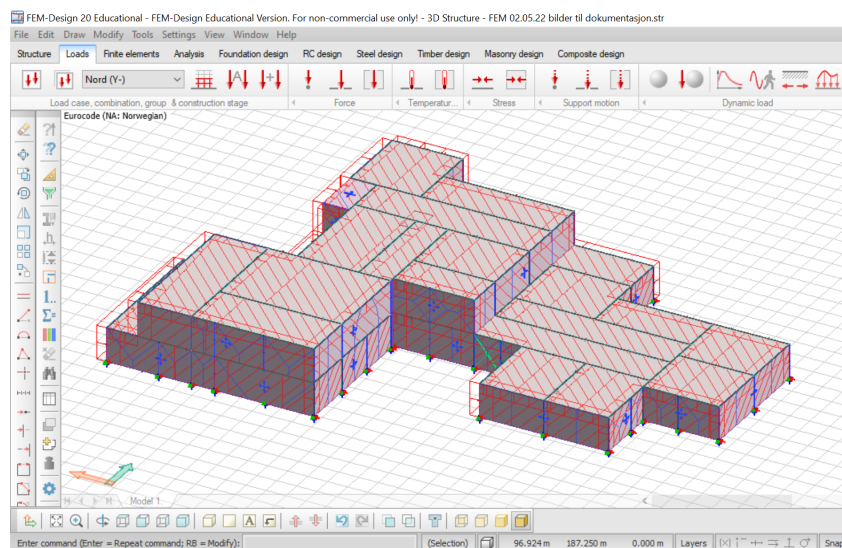


Figur 25: Snølast.

Vindlasten vil kun virke i korte perioder, derfor har vi valgt å sette denne til *short term*. Vi valgte å benytte autogenereringsfunksjonen i FEM-Design for å skape trykk og sug. I figur 26 ser man hvordan autofunksjonen fungerer.



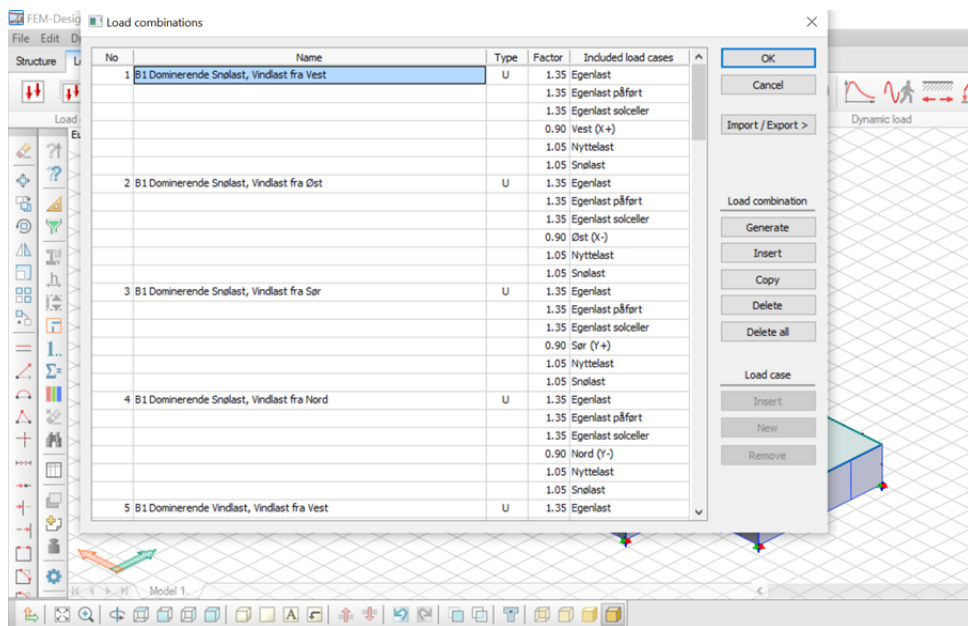
Figur 26: Autogenerering FEM-Design.



Figur 27: Vindlast Nord.

Lastkombinasjoner

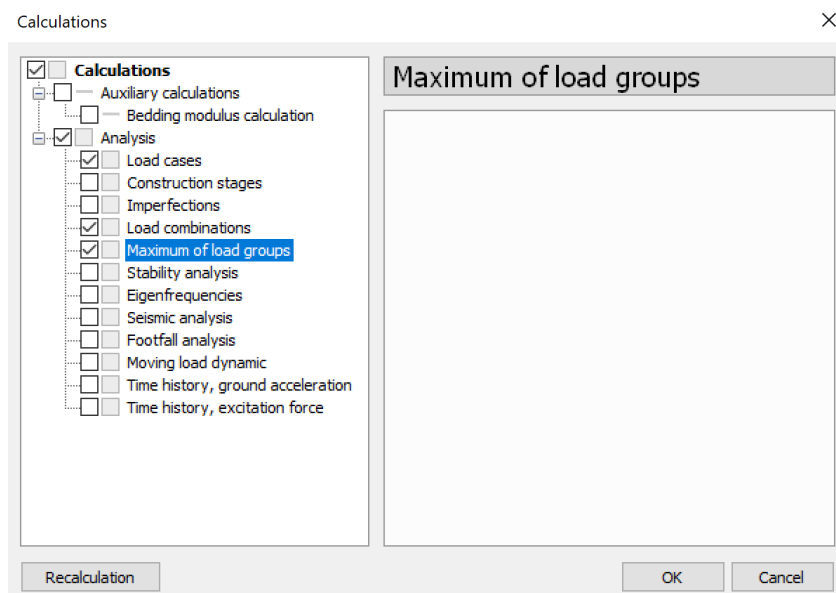
Lastkombinasjonene som er vist figur 28 blir laget utifra EC 1990:2002 §6.4, likning 6.10a og 6.10b fra tabell 3. Her blir det brukt 24 ulike lastkombinasjoner som gjør det mulig å kjøre analysen i FEM-Design. Vi har valgt å kun ta med jevnt fordelte laster, og kun vind fra en side om gangen. En bedre oversikt av lastkombinasjonene kan ses i vedlegg 3.



Figur 28: Lastkombinasjoner i FEM-Design.

Analyse

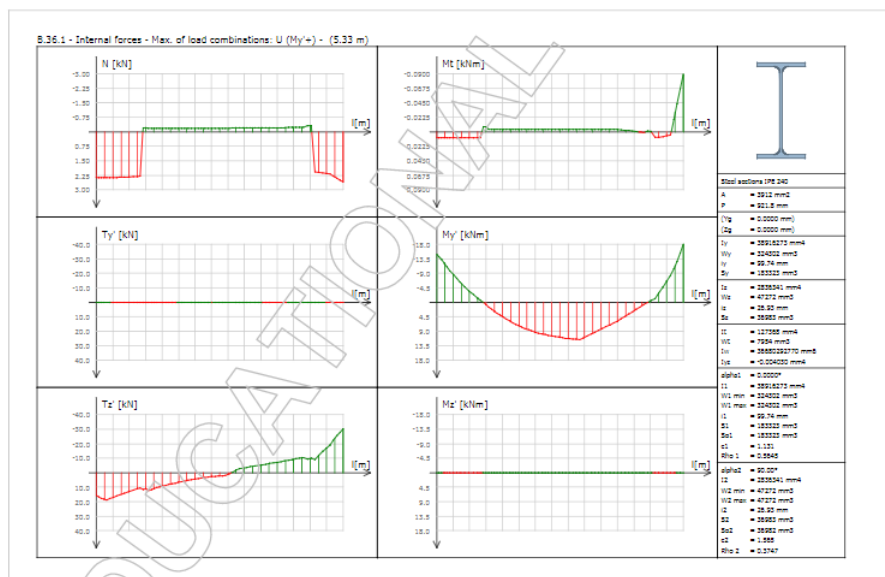
Analysen i FEM-Design ble kjørt med disse bestemmelsene (figur 29) der vi får ut maksimale krefter til hver enkelt del av bæresystemet. En får også ut nedbøyning, men dette var ikke noe vi brukte. I stedet ble det gjort håndberegninger og sjekk på EUROCODEexpress. FEM-Design får ut en *Manual steel design*, her får vi muligheten til å sjekke utnyttelsen av alle stålkomponenter i bæresystemet. Et utdrag av sjekken er vist i figur 30. Etter disse enkle sjekkene kan en gå videre å få ut krefter i hver enkelt del (figur 31).



Figur 29: Lastanalyse i FEM-Design.

Member	Section	Maximum	Combination	RCS	FB	TFB	LTB,t	LTB,b	IA
[-]	[-]	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
B.1.1	IPE 240	39	B2 Dominerende Snølast, Vindlast fra Nord	19	2	1	30	38	39
B.2.1	IPE 240	39	B2 Dominerende Snølast, Vindlast fra Øst	16	2	1	33	39	39
B.3.1	D 20-200	33	B1 Dominerende Snølast, Vindlast fra Nord	33	0	0	0	0	33
B.4.1	D 20-200	39	B2 Dominerende Snølast, Vindlast fra Sør	39	1	1	1	1	25
B.5.1	D 20-200	2	B1 Dominerende Vindlast, Vindlast fra Sør	2	0	0	0	0	2
B.6.1	IPE 240	13	B2 Dominerende Snølast, Vindlast fra Nord	13	0	0	11	10	11
B.7.1	D 20-200	15	B2 Dominerende Nyttelast, Vindlast fra Nord	15	0	0	1	0	7
B.8.1	IPE 240	28	B2 Dominerende Snølast, Vindlast fra Nord	13	3	1	18	28	28
B.9.1	D 20-200	31	B2 Dominerende Snølast, Vindlast fra Sør	31	0	0	0	0	5
B.10.1	D 20-200	14	B2 Dominerende Snølast, Vindlast fra Nord	14	0	0	0	0	9
B.11.1	D 20-200	18	B2 Dominerende Snølast, Vindlast fra Vest	18	0	0	0	0	15
B.12.1	D 20-200	4	B2 Dominerende Snølast, Vindlast fra Sør	4	0	0	0	0	3
B.13.1	D 20-200	15	B2 Dominerende Snølast, Vindlast fra Øst	15	1	1	0	0	15

Figur 30: Manual steel design i FEM-Design.



Figur 31: Detaljert analyse av en bjelke i FEM-Design.

3.2.2 Håndberegninger

Håndberegningene ble utført i MathCAD. Dette programmet utfører alle beregninger dersom en fører inn konstantene og gir den de verdiene som er behøvelig. En kan se MathCAD (figur 32) der vi har lagt inn et utvalg konstanter som blir brukt senere i beregningen (figur 33). Her vil alle tidligere bestemte verdier bli brukt i utregningen og kan lett bli byttet ut ved et senere tidspunkt hvis det er nødvendig med korrigering.

Vind og seismisk håndberegning ble gjort for hånd da dette kun skulle utføres en gang, se vedlegg 4.

En annen kontroll ble utført på EUROCODEexpress, der verdier fra FEM-Design ble benyttet til å dimensjonere fundamentene. Verdier til bjelker og søyler ble tatt fra håndberegningene på MathCAD. På EUROCODEexpress får vi ut resultater som viser om verdiene blir godkjent eller ikke i henhold til standardene.

PTC Mathcad Express Prime 8.0.0.0 - C:\Users\graat\OneDrive\Skrivebord\MathCAD Bachelor\Håndberegning av bjelke 36.1.mcdx

Håndberegning av bjelke B36.1

Egenlaster:

$Hulldukke := 2.55 \frac{kN}{m^2}$ HD-200

$Påført := 1.5 \frac{kN}{m^2}$ Lettvegger, påstøp, isolasjon

$Solcelle := 0.5 \frac{kN}{m^2}$ Solcellevekt og lodd

$G_{egen} := Hulldukke + Påført + Solcelle = 4.6 \frac{kN}{m^2}$

Nyttelaster:

$Snølast := 3.0 \frac{kN}{m^2}$ Snølast for Ålesund fra NS-EN 1991-1-3

$Nyttelast := 3.0 \frac{kN}{m^2}$

Figur 32: Mathcad forside.

Laster jevnt fordelt:

$Nytteareal := 5.35 \text{ m} \cdot 2.112 \text{ m} = 11.3 \text{ m}^2$

$G_1 := G_{egen} \cdot Nytteareal = (51.4 \cdot 10^3) \text{ N}$

$N_1 := S_k \cdot Nytteareal = (27.1 \cdot 10^3) \text{ N}$

$G := \frac{G_1}{Lengde} + G_{Bjelke} = 9.9 \frac{kN}{m}$

$N := \frac{N_1}{Lengde} = 5.1 \frac{kN}{m}$

$B_1 := 1.35 \cdot G + 1.05 \cdot N = 18.7 \frac{kN}{m}$

$B_2 := 1.2 \cdot G + 1.5 \cdot N = 19.5 \frac{kN}{m}$

$q := B_2 = 19.5 \frac{kN}{m}$

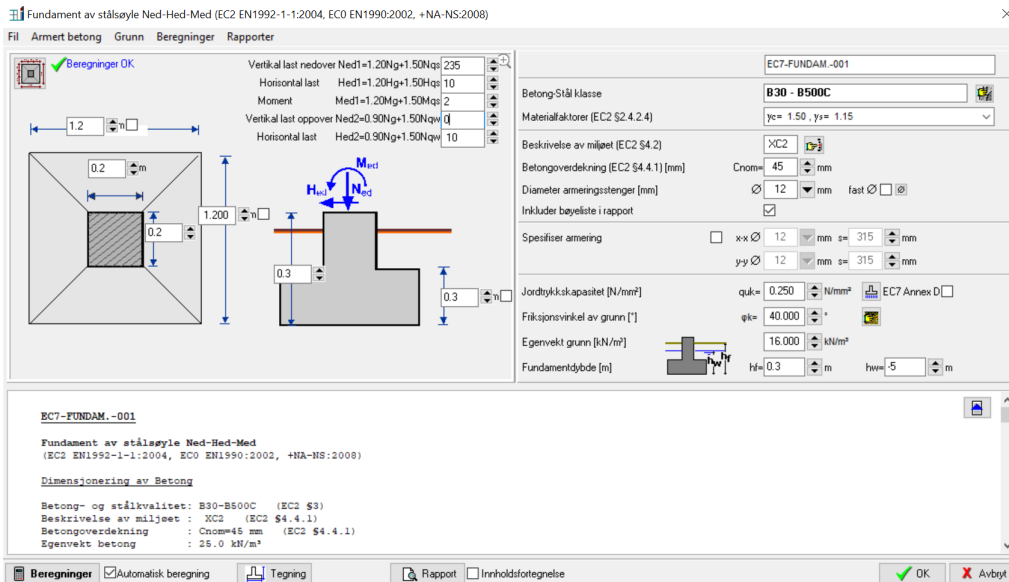
Finne maksimalt moment:

$M_{maks} := \frac{q \cdot Lengde^2}{8} = 69.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$

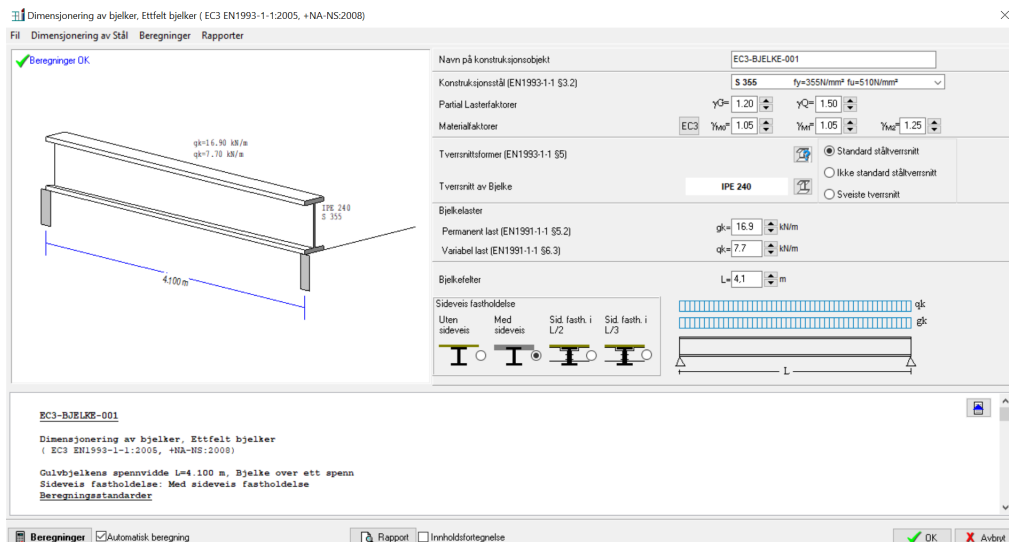
Figur 33: Lage formler i MathCAD.

I figur 34 har vi bestemt hvilke faktorer og krefter som er gjeldene for dette fundamentet. I tillegg er det fastsatte grunntrykket på 250 kN/m^2 lagt til. Vi valgte også armeringstype her.

EUROCODEexpress hjalp oss også med dimensjonering av bjelke (figur 35). Vi brukte våre håndberegninger av permanente og variable krefter for å få ut nedbøyning og moment. Som figur 35 viser så er det kun mulig å legge til jevnt fordelt last.



Figur 34: EUROCODEexpress for fundament.



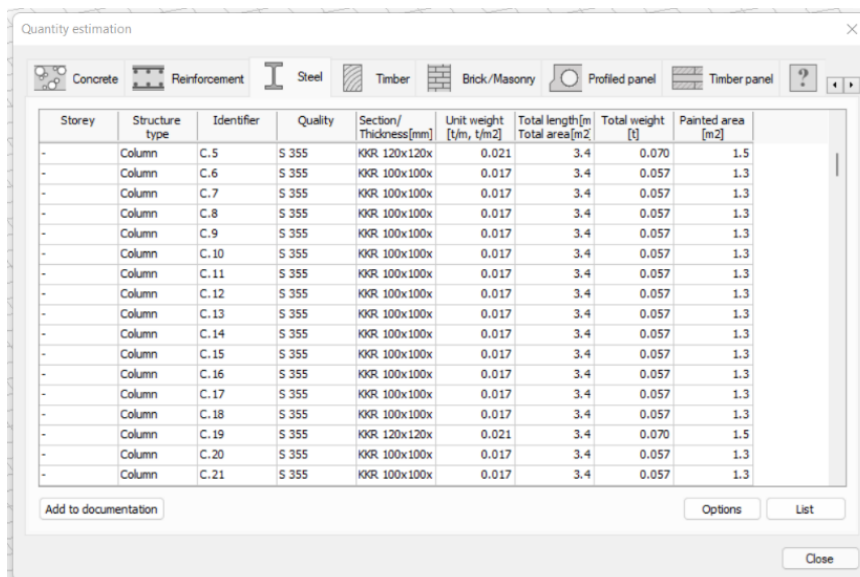
Figur 35: EUROCODEexpress for bjelke.

3.2.3 CO₂-regnskap

En del av oppgaven var å presentere et CO₂ regnskap for den valgte løsningen av bæresystemet. CO₂-regnskapet skulle inneholde alle verdier for CO₂ avtrykket til bæresystemet, levert på byggeplass. Dette vil si verdiene til prosessene A1-A4 i livsløpvurderingen. For å få til dette skulle vi bruke EPDer for materialene innhentet fra de ulike leverandørene. Leverandørene gruppen valgte til CO₂-regnskapet ble avtalt med oppgavegiver. Valget av leverandør vil påvirke CO₂-regnskapet med tanke på ulike verdier fra produksjonen. Plassering av leverandøren vil også ha en innvirkning med tanke på avstand på levering.

Til hulldekker valgte gruppen Spenncon AS som leverandør. EPD til valgt løsning på hulldekker ble funnet i EPD-biblioteket til epd-norge (Spenncon AS, 2021). Til betongen som skulle brukes i fundamentene ble Unicon AS valgt som leverandør. For denne EPDen kontaktet vi Unicon på e-post. De fikk laget EPD for betongen fra deres lokale produksjonssted, og delte denne med gruppen (Unicon AS, 2022). Til konstruksjonsstålet ble DS Stålkonstruksjon AS valgt som leverandør. Her ble EPD til stålet hentet på nettsiden til DS Stålkonstruksjon AS (DS konstruksjon AS, 2021). Til kamstålet som skulle brukes i fundamentene ble Norsk Stål AS valgt som leverandør. Denne EPDen ble hentet fra nettsiden til Norsk Stål AS (Norsk Stål AS, 2021). Alle EPDene som er brukt i CO₂-regnskapet ligger i vedlegg 9.

Når alle verdiene fra EPDene var samlet inn, trengte vi mengden av materialene som var benyttet i det ferdige bæresystemet. Da vi allerede hadde den ferdige 3D-modellen til konstruksjonen i FEM-Design, kunne vi enkelt eksportere materialister med mengder. Eksporteringsmetoden er vist i figur 36. Til beregningen benyttet vi oss av Excel. Dataene fra FEM-Design ble direkte importert inn i Excel. Dette gjorde det enkelt å behandle dataene og utføre beregninger. Verdien fra EPDene ble også fylt inn i Excel.



Storey	Structure type	Identifier	Quality	Section/Thickness[mm]	Unit weight [t/m, t/m ²]	Total length[m] Total area[m ²]	Total weight [t]	Painted area [m ²]
-	Column	C.5	S 355	K9R 120x120x	0.021	3.4	0.070	1.5
-	Column	C.6	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.7	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.8	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.9	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.10	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.11	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.12	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.13	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.14	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.15	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.16	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.17	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.18	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.19	S 355	K9R 120x120x	0.021	3.4	0.070	1.5
-	Column	C.20	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3
-	Column	C.21	S 355	K9R 100x100x	0.017	3.4	0.057	1.3

Figur 36: Eksportering av materialliste i FEM-Design.

Den sammenlagte CO₂-ekvivalenten for prosessene A1-A4 blir beregnet med å multiplisere verdiene i EPDene med mengden på materialene fra FEM-Design. Verdiene for transport i prosess A4 varierte noe fra de forskjellige EPDene. På grunn av dette valgte vi å bruke CO₂-ekv verdien for lastebil over 32 tonn, EURO 6. Prosessen A4 måtte også multipliseres med distansen på transporten til byggeplass. Resultatene fra prosessene kunne da legges sammen og gi et samlet resultat på utslippet.

3.2.4 Kommunikasjon

All kommunikasjon mellom ekstern veilder i Consto Midt-Norge AS ble gjort via Teams kanal, der også all utregning og dataer ble delt mellom grupped medlemmene.

Skrijvingen er foretatt på Overleaf LaTeX. Dette programmet fungerte bra til formelinnskrivning og bildeplassering. Samtidig som det ikke var for komplisert å lære seg på kort tid. Overleaf LaTeX ga grupped medlemmene full oversikt over hva som hadde blitt gjort til enhver tid og skapte ikke problemer for hverandre da det ble skrevet på samme dokument til samme tid. Her ble det også laget et godt system for referanseføring. I tabell 12 er dataprogrammene og andre steder vi fikk informasjon presentert.

Tabell 12: Metoder for datafremstilling.

Program	Bruksområde
EUROCODEexpress	Beregningsdata
Revit Structure	3D modellering
FEM-Design	3D analyser
MathCAD	Håndberegning
Teams	Deling av data
Excel	Utregning

4 RESULTATER

4.1 Valg av bæresystem

Bæresystemet ble valgt ut ifra hva oppdragsgiver hadde bestemt. Bygget skulle ha en trappe- og heissjakt så det var naturlig å velge et kombinasjonssystem av veggskiver og dekkeskiver. På grunn av begrenset takhøyde ville gruppen ha små dimensjoner på hulldekkene. Dette gjorde at bygningen fikk flere søylepunkter. Bygget hadde blitt designet uten åpenbare bæreakser som gjorde at naturlig plassering av søylene ikke var mulig. Det gjorde at vi måtte tenke kreativt for å modellere opp et økonomisk og miljøvennlig bygg. I tillegg hadde oppdragsgiveren satt kravet til BREEAM-Good og ZEB-O som gjør at bygget skulle konstrueres etter passivhusstandarden.

Dette ga oss et utgangspunkt for å dimensjonere bæresystemet. I vertikalt plan ble HUP søyler valgt for å tilfredsstille kravet til isolasjon for passivhus. Trappe- og heissjaktene ble brukt til avstivning og bæring av bjelkene. Sjaktene ble ikke nok avstivning for å ta opp alle kreftene i horisontal retning, derfor ble det lagt til vindkryss etter beregninger i FEM-Design modellen. HD-200 ble benyttet som etasjeskiller. På grunn av ekstra vekt fra solceller og tilhørende balast valgte vi også HD-200 til tak. Fordi vi valgte hulldekker ble det naturlig å benytte stålbjelker. Alle resultatene vil nå bli presentert i kronologisk rekkefølge fram til sluttresultatet.

4.2 Bjelker

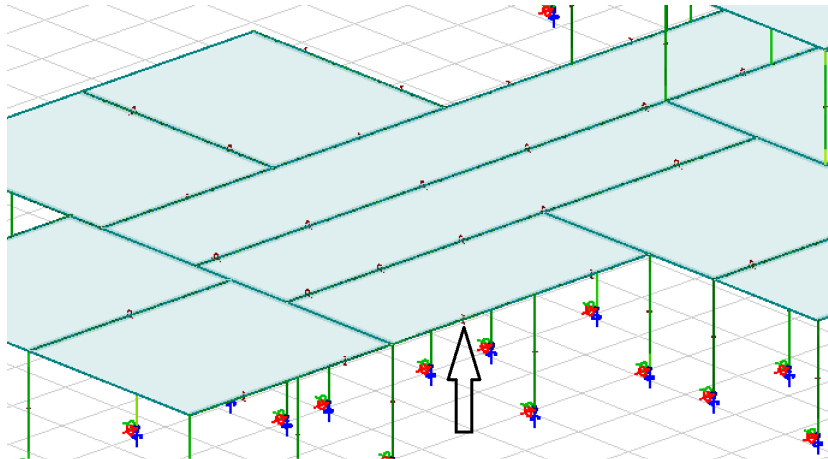
I FEM-Design ble det lagt inn IPE og delta bjelke. Grunnen til at delta bjelken ble benyttet var fordi THP ikke har en profil i FEM-Design. En tilnærming ble benyttet underveis i dimensjoneringen for å få et mest mulig likt resultat. Systemet for å beskrive bjelkene vil være Bxx.1, dette gjelder for FEM-Design og håndberegningene. Bjelkene har blitt regnet ut av analyseprogrammet i FEM-Design (vedlegg 5) og EUROCODEexpress (vedlegg 6), og en kontroll for hånd (vedlegg 7).

4.2.1 IPE

IPE bjelkene ble benyttet i bjelkesonene der det kun går dekke i en retning. Totalt i bygget finnes det 39 bjelker med et spenn fra 1,5 meter til 12,3 meter der alle er 240 mm høye, såkalt IPE 240. Dekkene er lagt på toppflensen på THP der de blir støpt sammen. Bjelken som ble mest utnyttet er **B36.1**, vist i figur 37 og resultater presentert i tabell 13. I figur 38 ser en at bjelkens nedbøyning er størst ved søylefestene og midt på.

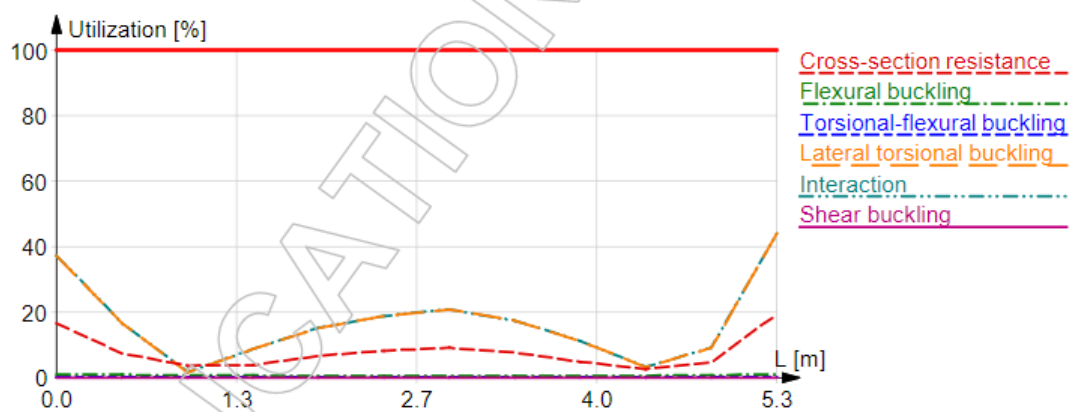
Tabell 13: Bjelke B36.1.

Metode	Moment	Utnyttelsesgrad
FEM-Design	24 kNm	44 %
EUROCODEexpress	69.9 kNm	56.4 %
Håndberegning	69.7 kNm	56.2 %



Figur 37: Bjelke B36.1 posisjon.

Summary

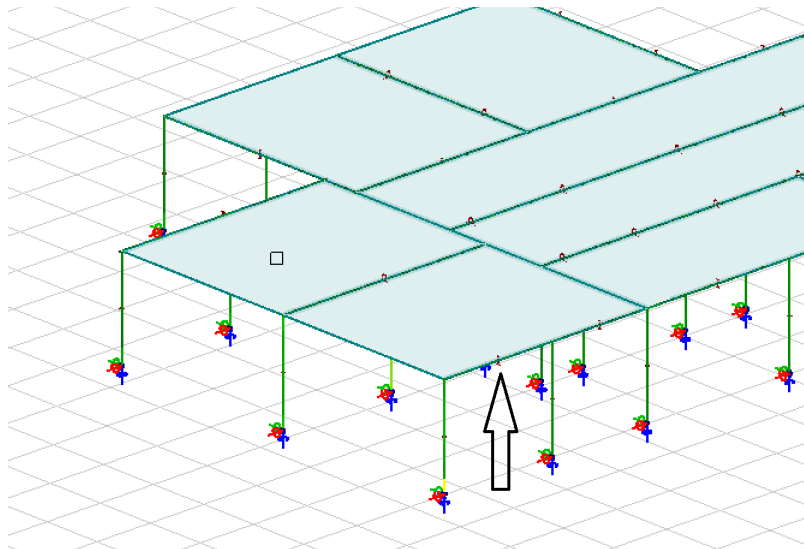


Figur 38: Utnyttelsesgrad bjelke B36.1.

Bjelke B38.1 ble regnet ut for å få en søyleberegning helt sør i bygget og i planet med mest påførte krefter. Denne er vist i figur 39 og tabell 14. Vi ser utifra figur 40 at bjelken tar mest nedbøyning midt på og ved søylefestet lengst sør. Bjelken er fremdeles godt innenfor kravene.

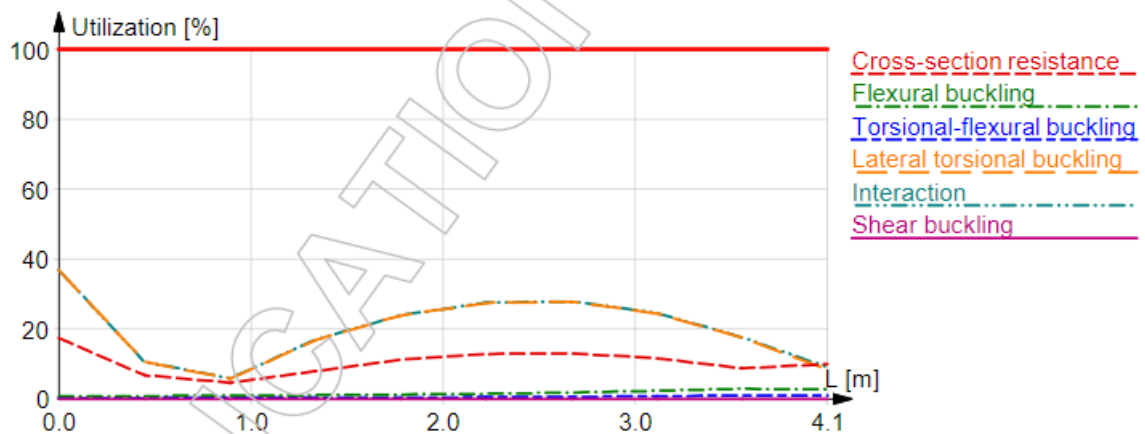
Tabell 14: Bjelke B38.1.

Metode	Moment	Utnyttelsesgrad
FEM-Design	21.5 kNm	37 %
EUROCODEexpress	61.8 kNm	49.9 %
Håndberegning	61.7 kNm	49.8 %



Figur 39: Bjelke B38.1 posisjon.

Summary



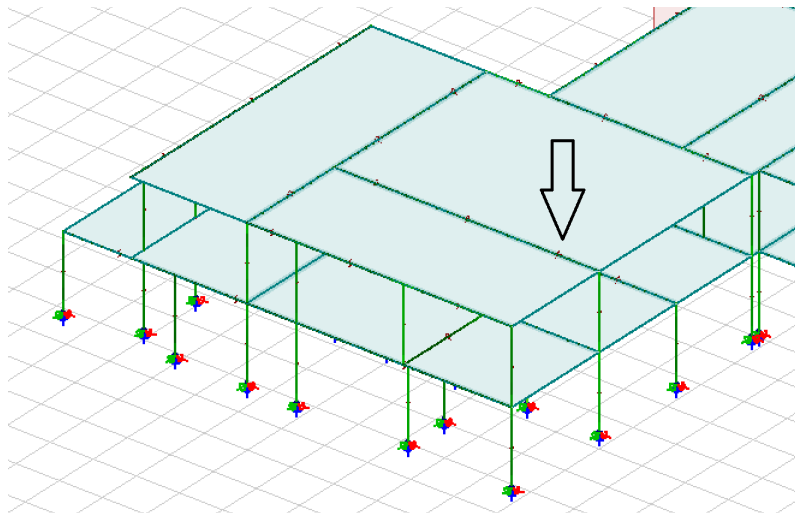
Figur 40: Utnyttelsesgrad bjelke B.38.1.

4.2.2 THP

Der dekkene skal forsette etter bjelkene benyttet vi THP bjelker. Vi gjorde dette siden disse bjelkene har to flenser og kan bære to dekker. Plasseringen av disse er i midten av det horisontale bæresystemet. Totalt er det 52 bjelker med en størrelse på 185 mm. THP bjelker finnes ikke i EUROCODEexpress, og er derfor utelatt. I figur 41 er plasseringen til **bjelke B58.1** vist og resultatene i tabell 15.

Tabell 15: Bjelke B58.1.

Metode	Moment	Utnyttelsesgrad
FEM-Design	60 kNm	24 %
Håndberegning	117.1 kNm	56.2 %



Figur 41: Bjelke B58.1 posisjon.

4.3 Søylar

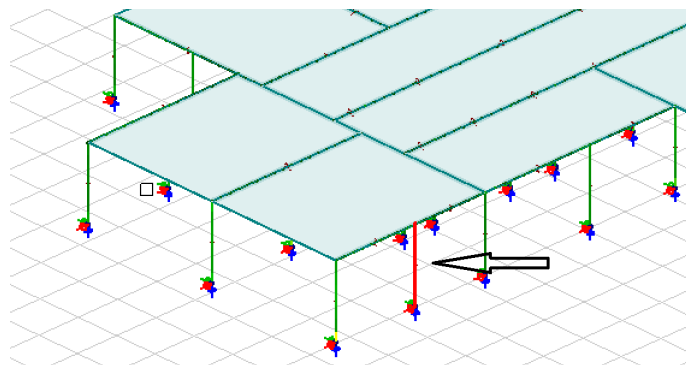
Vi valgte å ta med to ulike søylar i rapporten. En er festet til THP og en er festet til IPE. Vi benytter systemet Cxx.x for å navngi søylene. Søyleresultatene er tatt ut fra FEM-Design (vedlegg 5), EUROCODEexpress (vedlegg 6) og kontroll gjort for hånd (vedlegg 7).

4.3.1 HUP

Det finnes 139 HUP søylar i bygget. De som er festet til IPE har lengden 2950 mm og de som er festet til THP har lengden 3190 mm. Søylene har en dimensjon på 100x100x6.3, 100x100x8.0 og 120x120x6.3. I figur 42 er plasseringen til **søyle C66.1** vist og resultatene gitt i tabell 16.

Tabell 16: Søyلة C66.1.

Metode	Normalkraft	Utnyttelsesgrad
FEM-Design	106.9 kN	35 %
EUROCODEexpress	120.7 kN	30.8 %
Håndberegning	120.7 kN	30 %

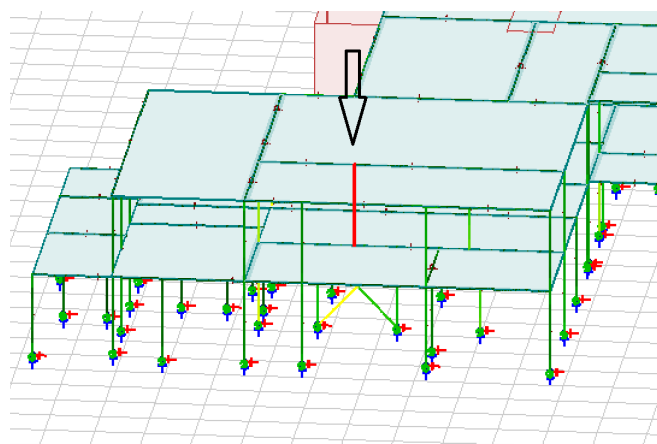


Figur 42: Søyلة C66.1 posisjon.

Søyلة C84.1 står i andre etasje nord i bygget. Denne tar opp kreftene og overfører disse som punkt til bjelken under. Posisjon og resultater er vist under i figur 43 og tabell 17.

Tabell 17: Søyلة C84.1.

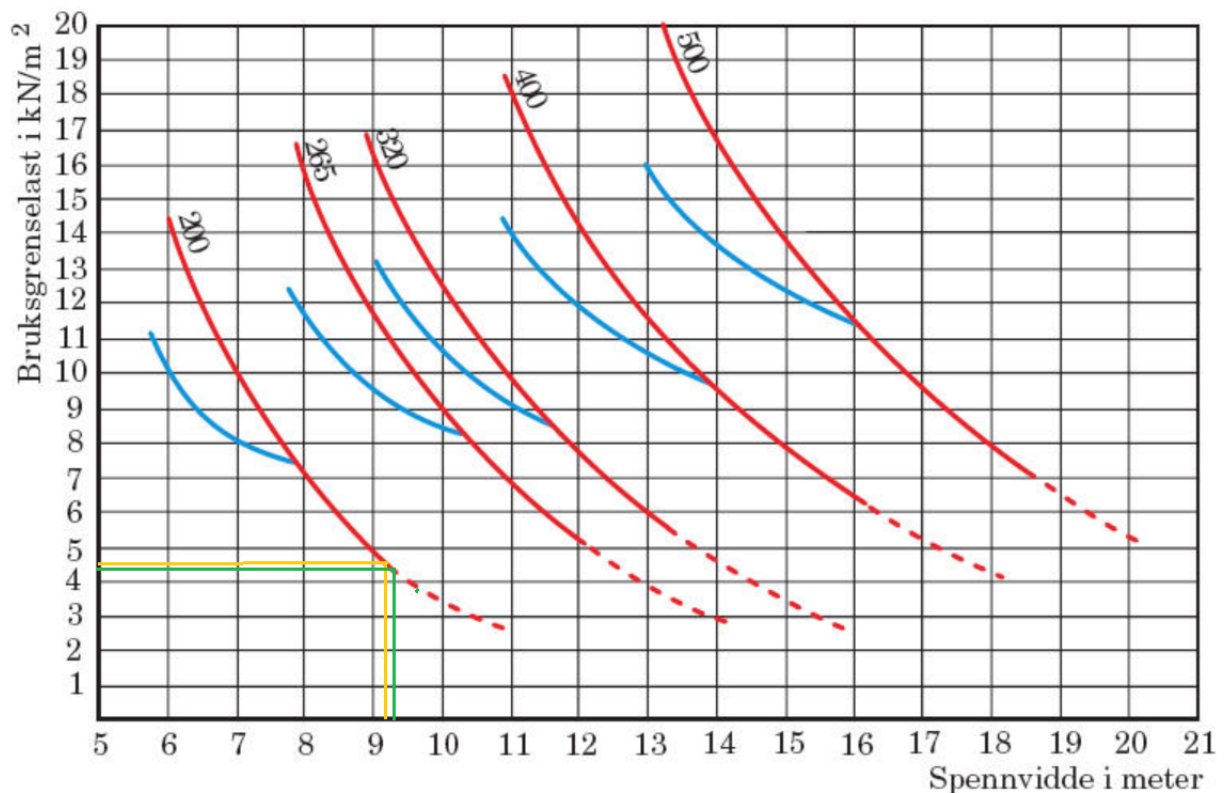
Metode	Normalkraft	Utnyttelsesgrad
FEM-Design	232.2 kN	76 %
EUROCODEexpress	275.4 kN	79 %
Håndberegning	269.9 kN	79 %



Figur 43: Søyلة C84.1 posisjon.

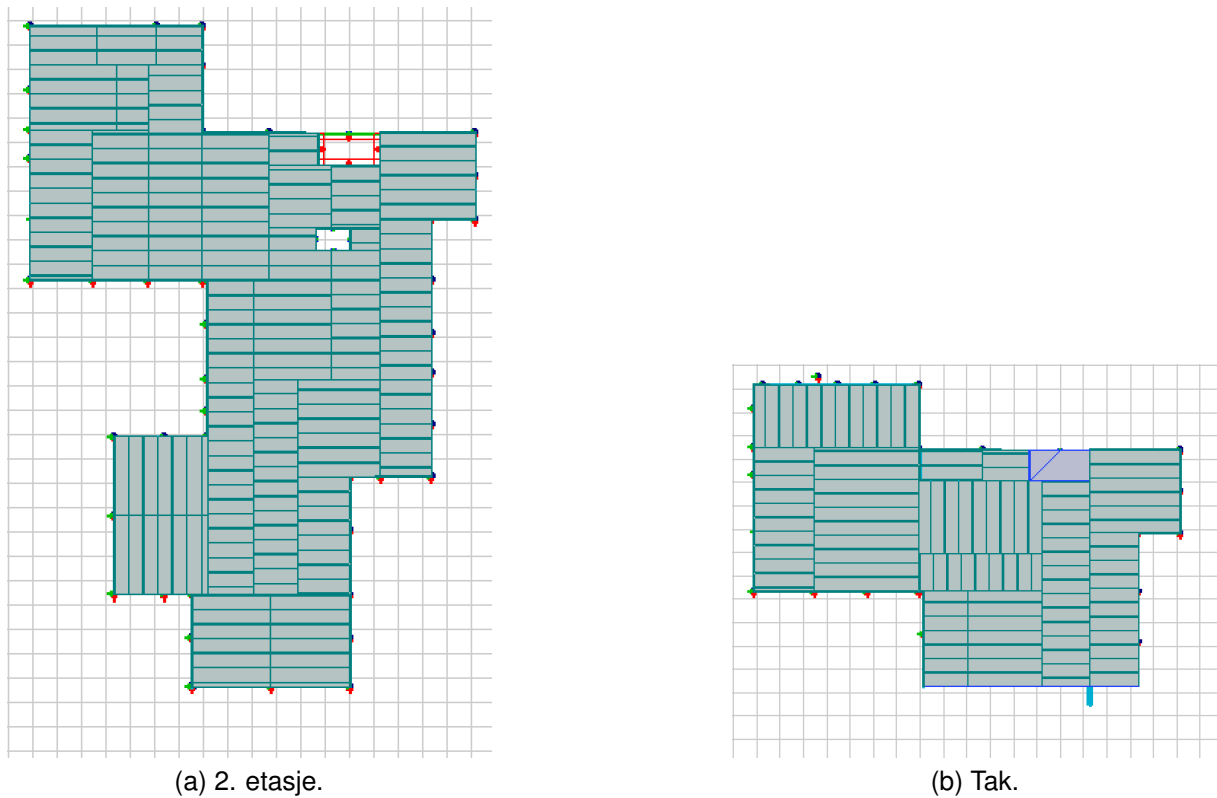
4.4 Hulldekke

Bygget ble dimensjonert med preaksepterte hulldekker fra Spenncon. Spenncon har ferdig utregnede diagrammer for de ulike hulldekkene sine, vi benyttet diagrammet for HD-200 som vist i figur 44. Lastene gitt i kapittel 3.1 gir $4,4 \text{ kN/m}^2$ i områder med snølast og $4,5 \text{ kN/m}^2$ der det er nyttelast. Dette gjør at maksimal spennvidde i nyttelastområder ble satt til 9,1 meter og snølastområder til 9,2 meter som illustrert i figur 44. Alle spennviddene i bygget er innenfor disse kravene. Det største spennet på snølastområdene er 8,95 meter og 7,8 meter i nyttelastområdene. Det er ikke blitt gjort noen videre kontrollregning av hulldekke.



Figur 44: Diagram over hulldekkekapasitet (Spenncon, 2022).

I FEM-Design er det lagt til en *profiled plate* med 200 mm dimensjon. Vektene til denne er omtrentlig lik Spenncon sin, slik at påført vekt til bjelker blir riktig. Det vi ikke vet er de andre dimensjonerende faktorene, for eksempel type armering og kapasiteter. Dette gjorde at vi ikke stolte på nedbøyningen som FEM-Design ga, og bare brukte diagrammene til Spenncon. Valgt retning på hulldekkene er vist i figur 45a og 45b.

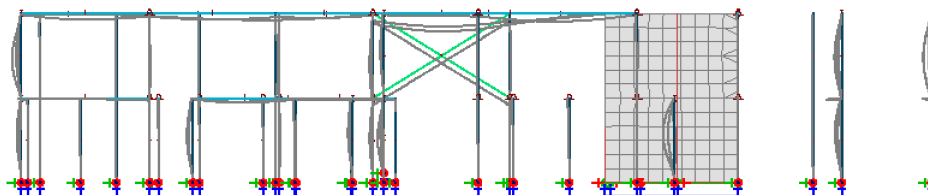


Figur 45: Dekkeretninger sett ovenfra.

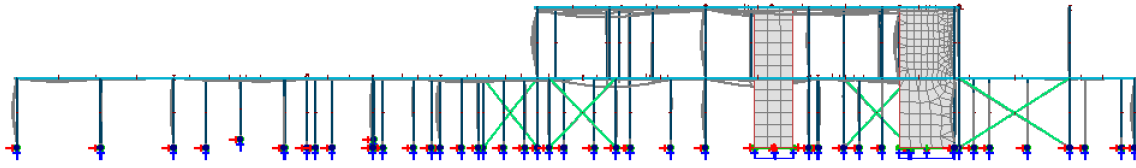
4.5 Avstivning

Avstivningen i bygget er løst ved hjelp av sjakter og vindkryss. Dette er vist på figur 46, der bygget er sett sør fra og figur 47 sett fra øst. De grønne strekene illustrerer vindkryssene VKR 80x80x3,6 mm, og de grå linjene under viser hvor mye nedbøyning de tar opp. Sjaktene er illustrert som rektangler inndelt med rutenett.

Vi har valgt å ikke foreta beregning av vindkryssene og sjaktene utenfor FEM-Design. Alle resultater av avstivningen ligger i vedlegg 5. Vi ser at valgte profiler er mer enn tilstrekkelig for å ta opp kreftene som forflytter bygget.



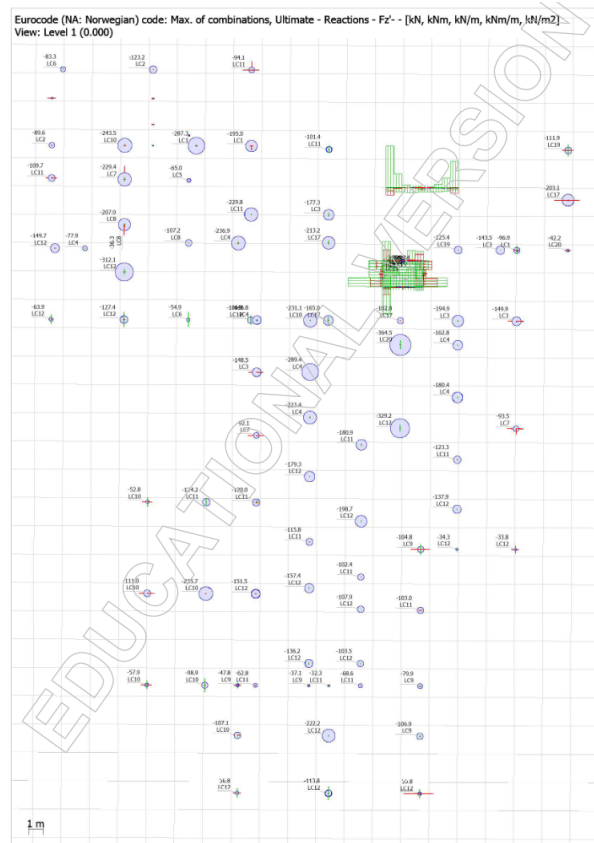
Figur 46: Avstivning fra sør.



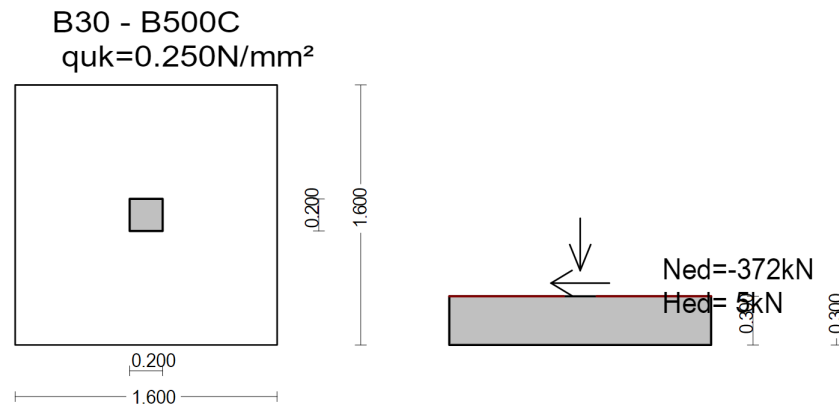
Figur 47: Avstivning fra øst.

4.6 Fundament

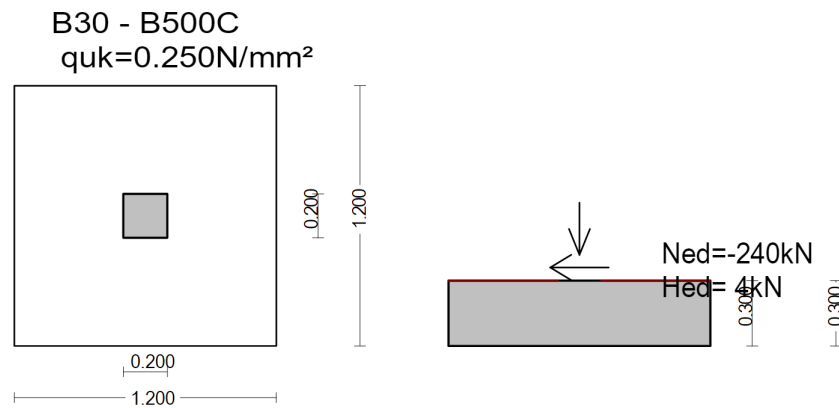
Vi brukte FEM-Design for å finne normalkreftene ned i grunnen (figur 48). Det ble gjennomført kontrollregning på EUROCODEexpress og håndberegning på et utvalg. Kontrollregningene kan ses i vedlegg 6 og 7. Avgjørelsen på hvor mange ulike fundamenter som skulle brukes ble tatt med tanke på praktiske årsaker. Vi valgte å sette grensen på 240 kN. Alle fundamentene med normalkrafter over 240 kN ble på 1,6 x 1,6 meter, mens de under vil være på 1,2 x 1,2 meter. Alle fundamentene får en tykkelse på 0,3 meter på en fundamentsdybde 0,3 meter. Det største og minste fundamentet er regnet ut på EUROCODEexpress, de er vist i figur 49 og 50.



Figur 48: Normalkrefter fra FEM-Design.

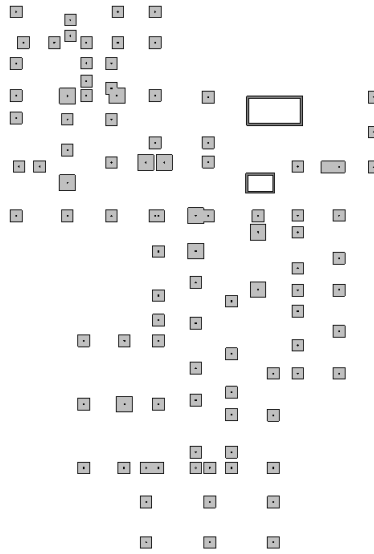


Figur 49: Størrelser til største fundament.



Figur 50: Størrelser til minste fundament.

Etter at fundamentstørrelsene hadde blitt bestemt etter figur 48, lagde vi en fundamentplan i Revit for å lettere illustrere plasseringene til alle fundamentene (figur 51). Det ble valgt å utelate fundamenter til heis og trappesjakt på grunn av manglende informasjon på installasjonene i heisen og trappestørrelser. Det er 88 fundamenter i størrelsen 1,2 meter x 1,2 meter, og 10 fundamenter i størrelsen 1,6 meter x 1,6 meter.

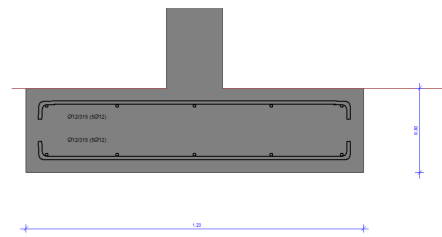
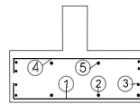


Figur 51: Fundamentplassering.

Armeringen i fundamentene har blitt regnet ut på EUROCODEexpress, se vedlegg 6. I figur 52a, 52b, 52c og 52d vises armeringsplasseringen og bøyelister. Her legges det til grunn at lav karbonbetong benyttes, men det forringer ikke kvaliteten på betongen.

Num	Pos. nr.	Armering [mm]	Ant.	Ø	g/m [kg/m]	Lengde [m]	Vekt [kg]
1	①	60	5	12	0,888	1,230	5,46
2	②	60	5	12	0,888	1,230	5,46
3	③		2	8	0,395	1,110	0,88
4	④		2	8	0,395	1,110	0,88
5	⑤	60	5	12	0,888	1,230	5,46
6	⑥	60	5	12	0,888	1,230	5,46
7	⑦		2	8	0,395	1,110	0,88
8	⑧		2	8	0,395	1,110	0,88
Total vekt [kg]							25,36

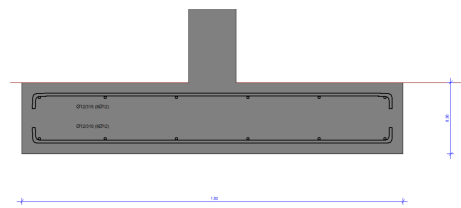
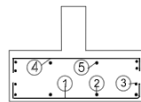
(a) Bøyeliste 1,2 meter x 1,2 meter.



(b) 1,2 meter x 1,2 meter plassering.

Num	Pos. nr.	Armering [mm]	Ant.	Ø	g/m [kg/m]	Lengde [m]	Vekt [kg]
1	①	60	6	12	0,888	1,630	8,68
2	②	60	6	12	0,888	1,630	8,68
3	③		2	8	0,395	1,510	1,19
4	④		2	8	0,395	1,510	1,19
5	⑤	60	6	12	0,888	1,630	8,68
6	⑥	60	6	12	0,888	1,630	8,68
7	⑦		2	8	0,395	1,510	1,19
8	⑧		2	8	0,395	1,510	1,19
Total vekt [kg]							39,48

(c) Bøyeliste 1,6 meter x 1,6 meter.



(d) 1,6 meter x 1,6 meter plassering.

Figur 52: Armering og plassering.

4.7 Vindkrefter

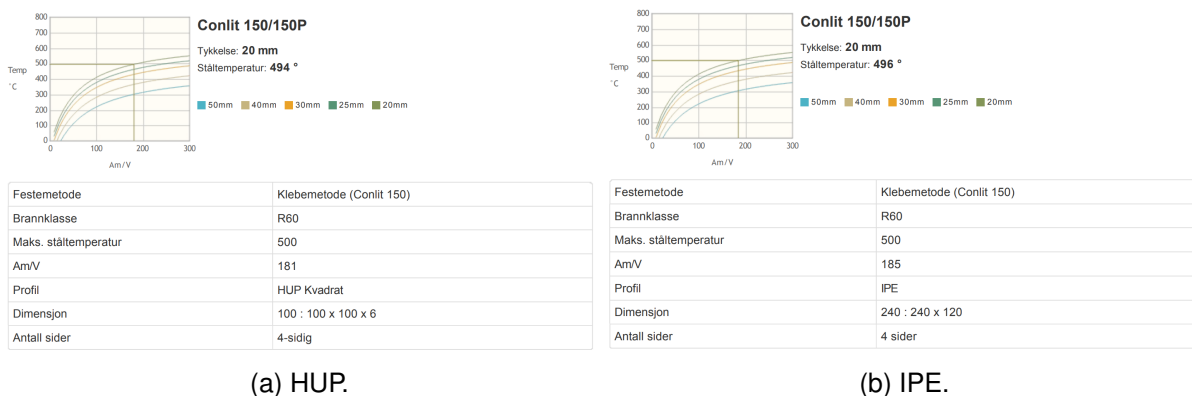
Vindlastene ble automatisk generert i FEM-Design. Kraftene ble kontrollert ved hjelp av håndberegninger (vedlegg 4) og EUROCODEexpress (vedlegg 6). I tabell 18 er alle lastene sammenlignet med hverandre. Vi har valgt å ikke regne med vindlaster på håndberegningene og EUROCODEexpress under dimensjoneringen av bjelker og søyler.

Tabell 18: Sammenlikning av vindlaster.

Metode	Vindlast
FEM-Design	1.7 kN/m^2
EUROCODEexpress	1.4 kN/m^2
Håndberegning	1.3 kN/m^2

4.8 Brann

I figur 53a og 53b er kravene til brannisolasjon i bygget fremstilt. Det er krav til 20mm isolasjon både til bjelke og søyle for å oppnå klasse R60 i bæresystemet.



Figur 53: Krav til isolasjon rundt stål i bæresystemet (Rockwool, 2022)

4.9 CO₂-regnskap

I tabell 19 er alle verdiene for CO₂-ekvivalenter hentet ut fra EPDene til leverandørene. Alle verdiene unntatt betong er oppgitt i kg CO₂-ekv. per tonn material. Betong er gitt i kg CO₂-ekv. per kubikk material. I prosess A4 er verdien kg CO₂-ekv. per tonn materiale transportert 1 km. Verdien 0,0828 er hentet fra LCA databasen Ecoinvent versjon 3.1. Verdien tilsvarer 1 tonn materiale transportert 1 km med lastebil med vekt over 32 tonn i klasse EURO 6. Verdien bruker en gjennomsnittlig fyllingsgrad. EPDene til stål materialene gir en samlet verdi på prosessene A1-A3.

Tabell 19: CO₂-ekv. i kg per tonn material.

	A1	A2	A3	A4 ¹ (1km)	
Hulldekker	91,40	2,01	2,25	0,0828	tonn
Betong ²	177,00	11,70	2,01	0,0828	m ³
Stål	1330,00			0,0828	tonn
Kamstål	393,00			0,0828	tonn

¹Lastebil over 32 tonn, EURO 6

Ved hjelp av karttjenesten til Google kunne gruppen enkelt hente ut avstandene i kilometer til byggeplassen fra produksjonsstedet. Avstandene er vist i tabell 20.

Tabell 20: Avstander til byggeplass.

Hva	Sted	Kilometer
Hulldekker	Gåsneset, Hjørungavåg	30
Betong	Stette, Ålesund	25
Stål	Hobro, Danmark	1040
Kamstål	Spjelkavikvegen, Ålesund	5

Verdiene fra materialisten som ble eksportert fra FEM-Design og beregnet i Excel, vises i tabell 21. Stål og hulldekker er oppgitt i tonn og betongen til fundamentene er oppgitt i kubikkmeter.

Tabell 21: Materialmengder.

Hva	Mengde	Enhet
Søyler	8,129	tonn
Bjelker	26,864	tonn
Kamstål	2,700	tonn
Vindkryss	0,452	tonn
Hulldekker	444,991	tonn
Betong fundament	45,700	m ³

Resultatet på mengde CO₂ sluppet ut målt i kg CO₂-ekv. er presentert i tabell 22. I tabellen får vi en oversikt over utslippet fra alle de ulike prosessene. Det endelige CO₂ avtrykket av bæresystemet levert på byggeplass ender på 103,9 tonn CO₂-ekvivalenter.

Tabell 22: CO₂-ekv. i kg.

	A1	A2	A3	A4
Hulldekker	40672,16	894,43	1001,23	1105,36
Betong	8088,19	534,64	91,85	227,02
Stål	47141,40			3052,21
Kamstål	1048,08			1,10
Sum	99471,99			4385,69
Sum	103857,68			

5 DRØFTING

5.1 Dimensjonering

All dimensjonering ble gjort ut i fra IFC modellen til Arkitektkontoret Streken AS. Denne modellen gjorde at vi fikk planlagt plasseringen til søyler og bjelker på en logisk måte. Med hjelp fra arkitektmodellen unngikk vi å plassere søyler på uønskede steder. Dette var for eksempel døråpninger, midt i åpne rom og vindusplasseringer. Arkitektmodellen var fastsatt og Consto Midt-Norge AS ønsket at vi jobbet rundt alle hindringer. Dette var med å gjøre jobben mer utfordrende.

Planen gikk ut på å forme et kombinasjonssystem i Revit med eksakte plasseringer. Dette innebar å finne optimal plassering av søylene som tilfredstilte brannkravene. Denne modellen ble brukt i FEM-Design der en stor del av analysene ble foretatt. FEM-Design fikk ut et resultat, som vi kryssjekket med EUROCODEexpress og håndberegninger i MathCAD. Hjelp og bistand til utregninger ble gitt av Bartosz Siedziako.

5.1.1 Dimensjonering av bjelker, søyler og vindkryss

Dimensjonering av søyler og bjelker ble gjort på FEM-Design, EUROCODEexpress og for hånd. Alle våre resultater som er gjort gjeldende for bygget er tatt ut fra FEM-Design. Vi valgte ut to søyler med stor differanse i utnyttelsesgraden for å se om håndberegningene stemte. For bjelkene valgte vi to IPE bjelker og en THP bjelke. IPE bjelkene ble valgt med tanke på differansen i spennvidden. THP bjelken var ulik fra FEM-Design sin delta bjelke. Derfor valgte vi en bjelke der vi var sikre på at resultatet på håndberegningene ble helt riktig. I alle fem tilfellene ble det forskjeller fra FEM-Design til EUROCODEexpress og håndberegningene. FEM-Design regnet ut krefter og utnyttelse fra vinden som vi utelot fra håndberegningene. Dette kan skape større trykkraft i søylene og større horisontalkraft i bjelkene. Vi har forståelse av kreftene og vil videre reflektere over differansene.

Bjelker

I tabell 13 ser vi at utnyttelsesgraden på bjelke B36.1 har et avvik på 12%, men har større forskjell i det dimensjonerende momentet. FEM-Design regner med mindre kapasitet og moment enn det vi gjør i håndberegningene og EUROCODEexpress. Dette gjør at utnyttelsesgraden blir tilnærmet lik.

Bjelke B38.1 i tabell 14 er utnyttet 37% i FEM-Design, og 50% i EUROCODEexpress og håndberegningene. Vi ser at begge bjelkene har en feil på 12-13%, dette kan skyldes feil i belastet areal på håndberegningene. Samtidig har vi utelatt vind som kan skape sug i overflatene og dermed mindre krefter i bjelkene.

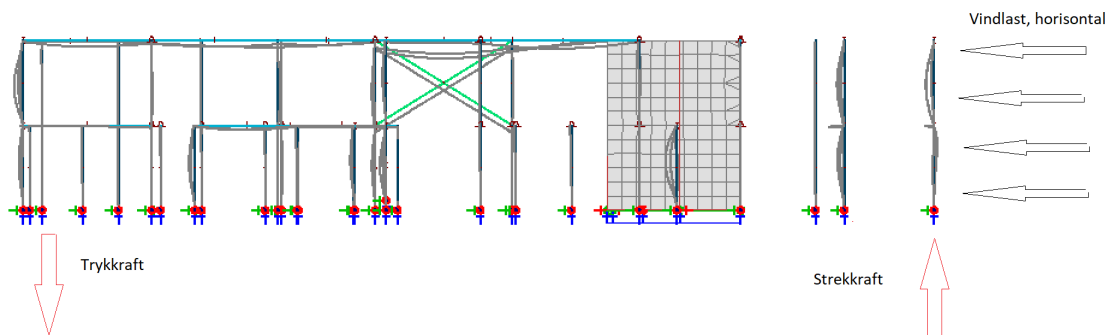
Bjelke B58.1 fra tabell 15 har veldig stor variasjon i utnyttelsesgraden. FEM-Design får en

utnyttelsesgrad på 24%, men håndberegningene får en mye større utnyttelsesgrad på 56.2%. Denne store variasjonen kommer fra at delta bjelker er benyttet i FEM-Design, og THP bjelker i håndberegningene. Etter mange mislykkede forsøk på å importere eller konstruere THP bjelke i FEM-Design, tok vi til takke med å bruke delta bjelken som allerede lå inne i programmet. Delta bjelken har større kapasitet enn THP bjelken, og derfor får FEM-Design en vesentlig mindre utnyttelse i forhold til håndberegningene.

Søyler

Søyle C84.1 i tabell 17 er kreftene nokså like. Vi fikk ut en normalkraft på 232,2 kN i FEM-Design, 275,4 kN i EUROCODEexpress og 269,9 kN i håndberegningene. Dette utgjør en differanse på 16%. Dette gjenspeiler seg i utnyttelsesgraden på 76% i FEM-Design, til 79% i EUROCODEexpress og håndberegningene. Feilmarginene her kan skyldes unøyaktig belastningsareal for lastene. FEM-Design vil treffe eksakt på lengdene, men for hånd har vi gjort tilnærminger. Søylen er posisjonert mellom sjakter og vindkryss, dette gjør at horisontalkrefter forblir et minimum.

Den andre søylen C.66.1 var lite utnyttet (tabell 16). Denne har normalkrefter på 106,9 kN i FEM-Design og 120,7 kN i EUROCODEexpress og håndberegningene. Dette gir en differanse på 11%. Utnyttelsen er 35% på FEM-Design, 30,8% i EUROCODEexpress og 30% i håndberegningene. Disse 5%ene kan skyldes vindkreftene som er illustrert i figur 54, der vi ser at vinden kan skape trykkrefter i søylen.



Figur 54: Krefter forårsaket av vind

I kapittel 4.3.1 skrev vi at de faktiske lengdene på søylene er 2950 mm og 3190 mm. Analyseprogrammet vil ikke kjøre dersom knutepunktene i bæresystemet ikke er koblet sammen, derfor måtte alle søylene i FEM-Design være 3390 mm for å få riktig etasjehøyde. Dette gjør at søylene vil få en annen kneklengde og utnyttelsesgrad som skaper en feilmargin.

Vindkryss

Vindkryss ble regnet ut ved hjelp av FEM-Design. På grunn av et utfordrende tidskjema ble det ikke regnet på vindkryss for hånd, og derfor kun tatt utgangspunkt i FEM-Design.

5.1.2 Dimensjonering av dekker og fundament

I starten av prosjektet hadde Consto et ønske om at vi brukte liten dimensjon på hulldekkene. Dette gjorde at vi benyttet preaksepterte løsninger på Spenncon sitt minste hulldekke, HD-200. Vi brukte dette hulldekket på alle etasjer, inkludert taket. Grunnen til at vi brukte hulldekker på taket istedenfor andre løsninger som Lett-Takselement og kudekker, var på grunn av ZEB-O. Det var planlagt av Consto å ha solceller på taket for å oppnå høy energiproduksjon. Fundamentene ble dimensjonert som vanlige fundamenter via EUROCODEexpress, her ble det benyttet lavkarbon betong for å redusere CO₂ utslippet.

Dekker

Hulldekker er en kompleks konstruksjon. Vi har derfor valgt å ta utgangspunkt i Spenncon sin tabell 44 under beregningen. Vi bruker HD-200 dekker som ifølge tabellen er innenfor alle spennviddene. Et forslag til videre arbeid er å kontakte Spenncon om utvidet informasjon, for å sikre at dimensjoneringen av dekkene er tilstrekkelig.

Fundamenter

For dimensjonering av fundamentene brukte vi reaksjonskreftene vi fikk ut fra FEM-Design analysen. Fundamentene ble delt inn i to ulike størrelser for å gjøre arbeidsprosessen på byggeplassen enklere. Inndelingen av fundamentene gikk etter reaksjonskrefter der vi satte grensen på 250 kN. I bæresystemet var den største reaksjonskraften 364 kN, denne brukte vi i EUROCODEexpress og fikk frem at de største fundamentene skulle være 1,6 m x 1,6 m. De minste fundamentene under 250 kN ga en størrelse på 1,2 m x 1,2 m på EUROCODEexpress. Programmet regnet også ut armeringsmengde, plassering og bøyelister. På grunn av et utfordrende tidskjema ble det ikke regnet på fundamenter for hånd. Alle utregningene er tilgjengelig i vedlegg 6.

5.2 CO₂-regnskap

Som oppgitt i oppgavenbeskrivelsen skulle gruppen presentere et CO₂-regnskap for den valgte løsningen. Regnskapet skulle tilsvare CO₂-utslippet til levert byggeplass. Dette vil si stegene A1 - A4 i livssyklusanalysen. En mulighet er å inkludere steget A5 i regnskapet, men dette ville krevd mer innhenting av data som vi ikke hadde tilgjengelig.

Til CO₂-regnskapet ble materiallister fra FEM-Design eksportert. I FEM-Design modellen ble det brukt delta bjelker istedet for THP bjelker som ble benyttet i håndberegningene. Dette vil utgjøre en større feilmargin i CO₂-regnskapet. 3D-modellen gjennomgikk endringer etter dataen ble eksportert, men endringene er små og utgjør ingen stor forskjell i helheten av regnskapet. Dette er for eksempel endring av dimensjonen på søyler.

Verdiene til A1 - A3 ble hentet ut i fra EPDene til bedriftene. EPDene er basert på gjennomsnittsverdier fra utslippet fra de ulike produktene. Dokumentetene er standardisert og verifisert

av en tredjepart. Derfor mener gruppen at verdiene hentet fra leverandørene er pålitelige, og gir et godt estimat på utslippet.

Steget A4 ble regnet ut ved å finne avstanden mellom produksjonslokalene og byggeplass. Her kan det være flere usikkerheter, for eksempel valg av lengre ruter og bruken av mellomlagre. For dette steget benyttet vi verdien for lastebil over 32 tonn, EURO 6. Verdien er basert på en gjennomsnittlig fyllingsgrad for lastebil. Dette var for å få en felles faktor for transport som var enkel å forholde seg til. Det vil være en differanse i utslipp etter hvilket transportmiddel leverandørene ønsker å benytte seg av.

Et CO₂-regnskap er aldri eksakt på grunn av uforutsette faktorer som kan dukke opp. Det samlede resultatet vil uansett representere et tilnærmet korrekt utslipp for konstruksjonen.

5.3 Bærekraft

For at bygget skal kunne tilfredsstillere kravene til ZEB-O og BREEAM-Good er det flere punkter vi har tatt hensyn til under oppgaven. For ZEB-kravet har plassering av søylene vært i fokus, der vi har plassert søylene så langt inn i veggen som mulig. Dette vil redusere kuldebro og påfølgende energitap. Det vi har tatt for oss i oppgaven er kun en faktor av flere tiltak som blir tatt for å oppnå ZEB-O kravet. For BREEAM-kravet er det flere kriterier å ivareta. Likt med ZEB-O kravet er det vi har tatt for oss en faktor av flere for å oppnå BREEAM-Good sertifisering. For BREEAM har vi fokusert på å redusere mengden stål og betong som er benyttet. Dette er gjort ved å optimalisere konstruksjonen. Vi har også tatt i bruk lavkarbon betong som har et mindre utslipp enn vanlig betong. Til BREEAM-kravet er dokumentasjon viktig, dette har vi oppnådd med å innhente EPDer fra leverandørene.

5.4 Erfaringer

Under dimensjoneringen av bygget har vi valgt å bruke tre ulike stålsøyler. Det hadde vært mulig å velge flere ulike dimensjoner for å bedre optimalisere bygget. Vi valgte å holde forskjellen av dimensjoner til et minimum for å ikke komplisere prosessen på byggeplassen. For bjelker gjelder det samme. En annen årsak til et lite utvalg av konstruksjonsdeler skyldes manglende kunnskap om FEM-Design. Gruppen er mer sikre på håndberegningene siden de er utført med gitte standarder i NS.

Denne oppgaven har hatt et bredt spekter av temaer som skulle løses. Dette har gjort at gruppen har måtte delegerer tid til de viktigste punktene fra starten av. Totalt sett har oppgaven fra Consto gitt oss mer kunnskap enn vi satt med tidligere. Både med tanke på dimensjoneringen og bruken av dataprogrammer. Beregningen av CO₂-regnskapet har vist oss hvor mye utslipp som blir forårsaket av bæresystemet. Dette har gjort oss oppmerksomme på å bruke minst mulig materialer under byggingen.

6 KONKLUSJON

I bacheloroppgaven har vi løst problemstillingene vi har satt oss. Dette var å dimensjonere et bæresystem og beregne et CO₂-regnskap for Brisingsstubben bo & aktivitetsenter. Vi har fulgt alle gitte forhold fra oppdragsgiver i oppgaven. Oppgaven har blitt løst ved hjelp av erfaring og kunnskap fra NTNU, men også med god hjelp fra oppdragsgiver og veileder.

Kombinasjonssystemet vi endte opp med har en blanding av ramme og skiver satt sammen til en fornuftig løsning. Løsningen vår skal framstille et bygg som er bærekraftig, ikke bare under byggingen men også i senere drift. For å oppnå dette benyttet vi kun stål og betong. Bjelker, søyler og vindkryss i stål, og veggskiver, hulldekker og fundament i betong. Alt dette har blitt gjennomført i henhold til gjeldene lovverk og standarder. I tillegg har vi tilfredsstilt BREEAM- og ZEB-kravene til de aspektene vi har sett på.

Vi brukte FEM-Design aktivt gjennom hele perioden. Dette har bidratt til å oppnå kravene for nedbøyning, skjær, vipping, utnyttelse og knekking etter standardene i Eurokode. For å være helt sikre på at resultatene stemte, kontrollsjekket vi et utvalg fra bæresystemet i EUROCODE-express og for hånd.

Revit modell, FEM-Design modell og ulike tegninger som har blitt presentert underveis i oppgaven legger et godt grunnlag for en god løsning på hvordan konstruksjonen kan bli bygget. Vi føler at bruken av dataprogrammene har hjulpet oss godt på vei, og vil være til stor hjelp for å bygge fremtidsrettet bygninger senere. Dataprogrammene har gitt oss muligheten til å optimalisere bygget for en stor miljøgevinst ved at vi har kunnet fjerne unødige søyler eller bjelker.

Vi føler at vi har svart godt på oppgaven om å dimensjonere et bæresystem og presentere CO₂-regnskap for Brisingsstubben bo & aktivitetsenter for Consto Midt-Norge AS. Oppgaven har gitt oss et stort læringsutbytte om hvordan et bygg kan konstrueres og dimensjoneres når en får gitte rammer å følge.

7 REFERANSER

- [1] A. K. Kvellheim og K. Bramslev, 2020. *Betong*. Sintef, (Hentet 02.05.2022). URL <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/>.
- [2] Arnfinn Emdahl. *Introduksjon til GEOTEKNIKK*. NTNU, Trondheim, 2014.
- [3] B. Pedersen, 2022. *Karbondioksid*. Store Norske Leksikon, (Hentet 02.05.2022). URL <https://snl.no/karbondioksid>.
- [4] Betongelementboka, 2020. *D4 BRANNTTEKNISK DIMENSJONERING AV ELEMENTER*. Betongelementboka, (Hentet 12.05.2022). URL https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookD.asp?isSearch=0&liID=41&DocumentId=BindD/Del_1/D4/4_1.pdf&BookId=D.
- [5] Byggalliansen, 2022. *BREEAM*. Byggalliansen, (Hentet 07.03.2022). URL <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/nysgjerrig-pa-breeam-nor/>.
- [6] Direktoratet for byggkvalitet, 2017. *Byggteknisk forskrift med veiledning*. DIBK, (Hentet 20.02.2022). URL <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>.
- [7] Direktoratet for byggkvalitet, 2018. § 11-3. *Risikoklasser*. DIBK, (Hentet 03.05.2022). URL <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-2/>.
- [8] Direktoratet for byggkvalitet, 2018. § 11-2. *Brannklasse*. DIBK, (Hentet 10.05.2022). URL <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-3/>.
- [9] DS konstruktion AS. *EPD Painted Structural Steel*. DS konstruktion AS, Hobro, 2021.
- [10] EPD Norge, 2021. *EPD*. The Norwegian EPD Foundation, (Hentet 03.05.2022). URL <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>.
- [11] J. K. Solberg, 2022. *Stål*. Store Norske Leksikon, (Hentet 02.05.2022). URL <https://snl.no/stal>.
- [12] Kommunal og distriktsdepartementet, 2021. *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*. Lovdata, (Hentet 20.02.2022). URL <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>.
- [13] Miljødirektoratet, 2019. *GWP*. Miljødirektoratet, (Hentet 02.05.2022). URL <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabell-for-omregning-av-co2-ekvivalenter/>.
- [14] Norsk Stål AS. *EPD Kamstål til bruk i betong*. Norsk Stål AS, Hvalstad, 2021.
- [15] Norsk stålforbund og Betongelementforeningen, 2019. *Hulldekker på bæresystem av stål*. Betongelement, (Hentet 28.02.2022). URL https://www.betongelement.no/siteassets/dokumenter/bef.veileder.hulldekker_13.pdf.

- [16] NORSUS, 2022. *LCA*. NORSUS, (Hentet 03.05.2022). URL <https://norsus.no/om-livsløpsvurdering/>.
- [17] P. Kr. Larsen. *Konstruksjonsteknikk – laster og bæresystemer. 2 utgave*. Fagbokforlaget, Trondheim, 2008.
- [18] P. Kr. Larsen. *Dimensjonering av stålkonstruksjoner*. Fagbokforlaget, Trondheim, 2020.
- [19] R. W. Meyer, 2021. *Nyttelast*. Store Norske Leksikon, (Hentet 30.03.2022). URL https://snl.no/nyttelast_-_byggteknikk.
- [20] Rockwool, 2022. *Brannisolasjon*. Rockwool, (Hentet 08.04.2022). URL <https://www.rockwool.com/no/downloads-og-tools/beregningsprogram/conlit-brannsikring/>.
- [21] Sintef Byggforsk, 2013. *Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler*. Byggforsk, (Hentet 02.02.2022). URL https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler.
- [22] Sintef Byggforsk, 2013. *Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler*. Byggforsk, (Hentet 19.04.2022). URL https://byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler.
- [23] Sintef Byggforsk, 2018. *Stålbjelker for små spenn. Dimensjoneringstabeller*. Byggforsk, (Hentet 19.03.2022). URL https://www.byggforsk.no/dokument/305/staalbjelker_for_smaa_spenn_dimensjoneringstabeller.
- [24] Sintef Byggforsk, 2018. *Søyler av stål. Dimensjoneringstabeller*. Byggforsk, (Hentet 19.03.2022). URL https://www.byggforsk.no/dokument/307/soeyler_av_staal_dimensjoneringstabeller.
- [25] Spenncon, 2022. *Hulldekker*. Spenncon, (Hentet 20.03.2022). URL <https://spenncon.no/sfiles/8/21/2/file/hd-diagram.jpg>.
- [26] Spenncon AS. *EPD Hulldekke*. Spenncon AS, Hønefoss, 2021.
- [27] Standard Norge, 2021. *Norsk Standard*. Standard Norge, (Hentet 28.02.2022). URL <https://www.standard.no/standardisering/norsk-standard/>.
- [28] T. Rørvik og V. Årskog. *Konstruksjonssikkerhet og belastning: Kompendium i lastberegning*. NTNU, Ålesund, 2010.
- [29] Tekna, 2021. *Hva er kravene til passivhus?* Tekna, (Hentet 02.05.2022). URL <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/krav-til-passivhus/>.
- [30] Unicon AS. *EPD B30 M60 Lavkarbon klasse A Stette*. Unicon AS, Oslo, 2022.
- [31] ZEB, 2022. *ZEB-definisjonen*. The Research Centre on Zero Emmission Building, (Hentet 09.04.2022). URL <https://www.zeb.no/index.php/no/om-zeb/zeb-definisjoner>.

8 VEDLEGG

1. Avtaler
2. Fremdriftsplan
3. Lastkombinasjoner
4. Håndberegninger av krefter
5. FEM-Design
6. EUROCODEexpress
7. Håndberegninger av søyler, bjelker
8. CO₂-regnskap
9. EPD
10. Revit tegninger
11. Logg og møtereferat

