

MASTEROPPGAVE

for

Jonas Pedersen

(Studentnummer: 179694)

Vår 2021

Prefabrikkert eller plassbygd?

Sammenligning av byggemetode for leilighetskomplekser av tre

Prefabricated or built on site?

Comparison of construction methods for apartment complexes of wood

Bakgrunn

Den norske befolkningen er under vekst, og det er en stadig økende etterspørsel etter nye boliger i Norge, spesielt i de store byene. Tilbudet av boliger i Norge er derimot preget av en nedgang i produksjon, en trend som har blitt forsterket under og etter utbruddet av Covid-19 pandemien. Det er særlig nedgang i igangsetting av nye boligprosjekter, med en sterkest påvirkning på leilighetsmarkedet. Dette kan tyde på lite samsvar mellom tilbud og etterspørsel på boligmarkedet i Norge i dag, som stiller høye krav til byggebransjen i form av økt produksjon og effektivitet.

Denne oppgaven går ut på å sammenligne leilighetskomplekser bygget med prefabrikkerte bygningselementer av tre med plassbygde leilighetskomplekser sett opp mot effektivitet, kvalitet, fleksibilitet, miljø, og planlegging.

Begrensning av oppgaven

Ingen spesielle.

Arbeidet skal omfatte (men ikke nødvendigvis avgrenses til):

1. Innledende arbeid/litteraturstudium vedrørende prefabrikasjon og plassbebygd konstruksjon med avgrensninger og definisjoner.
2. Generelt om trekonstruksjon i Norge, forskning innen prefabrikasjon og plassbygging i nordisk klima, fordeler/ulempes.
3. Case: Studenten skal gjøre en forenklet prosjektering av leilighetskompleks i tre. Studenten skal gjennomføre en kostnadsberegning og tidsestimater for oppføring av denne bygningen på plassen(plassbygd) med beregningsprogrammet Holte SmartKalk. Videre skal dette sammenlignes med kostnadsberegning og tidsestimater gjort av samarbeidspartner for samme bygning oppført med prefabrikkerte elementer. Bygningen består av 3 etasjer på ca. 100m² per etasje.
4. Erfaringer fra fagpersoner gjennom intervjuer om prefabrikkerte og plassbygde leiligheter.
5. Det skal utarbeides en vitenskapelig artikkel/paper basert på besvarelsen, maks 10 sider. (Artikkelen kan sees på som er kortversjon av hele besvarelsen.)

6. Standardpunkt i oppgaven som er et ønske fra UiT sentralt å få besvart i alle masteroppgaver ved UiT: Hva er oppgavens faglige og samfunnsmessige relevans? Har oppgaven relevans i forhold til FNs bærekraftsmål?

Samarbeidspartner

Oppgaven gjennomføres delvis i samarbeid med Massive Wood Construction/MWC Gruppen AS (deler av informasjon som brukes i case er gitt av MWC).

Generelt

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven (Ikke et absolutt krav om at dette skal gjøres, et eventuelt omfang av forstudierapport avtales med veileder). Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensinger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato:	11.01.2021
Innleveringsdato:	15.05.2021
Kontaktperson bedrift:	Telefon: 99427655 E-post: Jonas@mwc.no
Veileder UIT - IVT:	Tor Kildal Telefon: 76966278 E-post: tor.kildal@uit.no

UIT – Norges Arktiske Universitet
Institutt for bygg, energi og materialteknologi



Tor Kildal
Faglig ansvarlig/veileder



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

Prefabrikkert eller plassbygd?

Sammenligning av byggemetode for leilighetskomplekser av tre

(Prefabricated or built on site? Comparison of construction methods for apartment complexes of wood)

Jonas Pedersen

Masteroppgave i Integrrert Bygningsteknologi BYG-3900, mai 2021

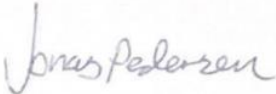
Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Norges Arktiske Universitet (UiT) våren 2021, og er en avsluttende oppgave i studiet Integrert Bygningsteknologi. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng.

Oppgaven tar for seg sammenligningen av to byggemetoder med fokus på trevirke; prefabrikasjon og plassbygd metode. De to byggemetodene sammenlignes utfra flere kvaliteter, slik som tid, kostnad, bærekraft, logistikk, helse og sikkerhet.

Det rettes en stor takk til min veileder ved UiT, Tor Kildal, for gode innspill og konstruktive tilbakemeldinger knyttet til masteroppgaven. Videre rettes en stor takk til MWC Gruppen AS for bistand og råd i forbindelse med casestudien. Takk til intervjudeltakerne for deres tid, innsikt og deling av egne erfaringer.

Narvik 15.mai 2021



Jonas Pedersen

Sammendrag

Den norske befolkningen er under vekst, samtidig som det har vært en nedgang i produksjon av nye boligprosjekter i Norge. Dette har ført til lite samsvar mellom tilbud og etterspørsel av boliger, og byggenæringen har dermed et behov for økt effektivitet og produksjon. Det fremkommer i litteraturen at bruk av prefabrikkerte bygningselementer kan gi fordeler spesielt knyttet til tids- og kostnadsbesparelser, og kan derfor potensielt bidra til å øke den generelle effektiviteten i bygg- og anleggsnæringen.

Hovedformålet med denne oppgaven har vært å gjennomføre en generell sammenligning mellom bruk av fabrikkproduserte bygningselementer av tre og den tradisjonelle plassbygde metoden. Hensikten har vært å få en overordnet oversikt over de positive og negative effektene som påvirker byggeprosjekter ved bruk av prefabrikasjon sett opp mot plassbygd metode. De to byggemetodene har blitt sammenlignet og undersøkt gjennom (a) en litteraturgjennomgang, (b) en casestudie og (c) intervjuer med fagpersoner.

Litteraturstudien har dannet et grunnlag for den videre undersøkelsen. Det er deretter blitt gjort en casestudie gjennom et oppdrag gitt av MWC Gruppen AS. MWC har lang erfaring med produksjon og bruk av prefabrikkerte bygningselementer av tre, og casestudien har primært undersøkt tids- og kostnadseffektiviteten av deres prefabrikkerte bygning metode sammenliknet med den tradisjonelle plassbygde metoden. Mer spesifikt har casestudien gått ut på å gjøre en forenklet prosjektering av et leilighetskompleks av tre, for så å kalkulere tid og kostnad for både prefabrikkert og plassbygd oppføring av leilighetskomplekset, og deretter sammenlikne de to kalkulasjonene for de ulike byggemetodene. Videre i oppgaven er det gjennomført intervjuer av fem fagpersoner med erfaring i bruk av prefabrikkerte elementer og tradisjonelle byggemetoder for å få innsikt i deres erfaringer.

Sett samlet tyder resultatene fra litteraturstudien, casestudien og intervjuene på at prefabrikkert metode kan gi en rekke fordeler sammenlignet med plassbygd metode. Potensialet som ligger i prefabrikasjon er knyttet til blant annet tid, kostnad, sikkerhet, bærekraft, kvalitet og planlegging, gitt at visse forutsetninger er oppnådd, slik som detaljert planlegging, god logistikk og lagring, og bruk av seriøse leverandører. Likevel kan prefabrikasjon medføre negative effekter dersom gitte forutsetninger (som for eksempel de overnevnte kriteriene) ikke blir innfridd.

Abstract

While the Norwegian population is increasing, the production of new housing projects in Norway is decreasing. This has caused low correspondence between housing supply and demand, and a consequent need for increased efficiency and production within the construction industry. The literature suggests that the use of prefabricated building elements can provide benefits especially related to time and cost savings, and can therefore potentially contribute to increasing the general efficiency in the construction industry.

The main purpose of this thesis has been to carry out a general comparison between the use of factory-produced wooden building elements and the traditional on-site method. The purpose has been to get an overall overview of the positive and negative effects that impact construction projects using prefabrication compared to the on-site method. The two construction methods have been compared through (a) a literature review, (b) a case study and (c) interviews with construction industry professionals.

The literature study has provided a foundation for the further research. A case study has then been carried out through an assignment given by MWC Gruppen AS. MWC has extensive experience with the production and use of wooden prefabricated building elements, and the case study has primarily examined the time and cost efficiency of their prefabricated building method compared to the traditional on-site method. More specifically, the case study has involved making a simplified design of a wooden apartment complex, and then calculating the time and cost for both prefabricated and on-site construction of the apartment complex, and then comparing the two calculations for the different construction methods. Additionally, interviews were conducted with five professionals with knowledge in the use of prefabricated elements and traditional construction methods to gain insight into their experiences.

Taken together, the results from the literature study, the case study and the interviews indicate that a prefabricated method can provide a number of advantages compared to on-site methods. The potential that lies in prefabrication is related to, among other things, time, cost, safety, sustainability, quality and planning, given that certain prerequisites have been achieved, such as detailed planning, good logistics and storage, and the use of professional suppliers. Nevertheless, prefabrication can have negative effects if given conditions (such as the above criteria) are not met.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn og samfunnsmessig relevans.....	1
1.2	Oppgavens formål og problemstillinger.....	3
1.3	Avgrensning av oppgaven.....	3
1.4	Oppgavens disposisjon.....	4
2	Metode.....	5
2.1	Valg av forskningsmetode.....	5
2.2	Metode A: Litteraturstudium.....	6
2.2.1	Utvalg av tidligere forskning.....	6
2.3	Metode B: Casestudie.....	6
2.3.1	Beskrivelse av case.....	7
2.3.2	Modellering og beskrivelse av leilighetskompleks i case.....	7
2.3.3	Grunnlag for tids- og kostnadskalkyle i case.....	10
2.3.3.1	Last- og styrkeberegning.....	11
2.3.3.2	Kvalitetssjekk av fukt og luftlekkasje.....	12
2.3.3.3	Takoppbygging.....	14
2.3.3.4	Vegger.....	15
2.3.3.5	Etasjeskiller.....	16
2.3.3.6	Gulv på grunn med støpt betong, ringmur og såleblokk.....	19
2.3.4	Prefabrikkert leilighetskompleks: Fremgangsmåte for kalkulasjon.....	20
2.3.5	Plassbygd leilighetskompleks: Fremgangsmåte for kalkulasjon.....	22
2.4	Metode C: Intervjuer med fagpersoner.....	23
2.4.1	Deltakere og rekruttering.....	24
2.5	Feilkilder i metode.....	24
2.5.1	Feilkilder ved litteraturstudium.....	25

2.5.2	Feilkilder ved case.....	25
2.5.3	Feilkilder ved intervju	26
3	Litteraturstudium.....	27
3.1	Generelt om prefabrikasjon	27
3.1.1	Generelle fordeler og ulemper ved prefabrikasjon.....	28
3.1.1.1	Effektivitet utfra tid og kostnad	29
3.1.1.2	Kvalitet.....	31
3.1.1.3	Lagring, logistikk og koordinering	34
3.1.1.4	Sikkerhet	34
3.1.1.5	FN's bærekraftsmål og klimapåvirkning	37
3.2	Implementering av prefabrikkerte elementer av tre	40
3.2.1	BIM for prefabrikkerte elementer	40
3.3	Trekonstruksjoner i Norge og tre som byggemateriale	42
3.3.1	Prefabrikkerte elementer av tre	43
3.4	Oppsummering av tidligere forskning på prefabrikasjon	46
4	Resultater.....	47
4.1	Resultater fra case.....	47
4.1.1	Resultater fra kvalitetssjekk av prefabrikkert bygning	48
4.1.1.1	Resultater fra trykktest av prefabrikkert bygning	48
4.1.1.2	Resultater fra fuktmåling av prefabrikkert bygning.....	48
4.1.2	Resultat fra styrkeberegning av modell i case.....	49
4.1.2.1	Bærende bindingsverksvegg	49
4.1.2.2	Takbjelker	51
4.1.2.3	Bjelkelag	52
4.1.3	Resultater fra tid- og kostnadskalkyle for plassbygd leilighetskompleks	52
4.1.4	Resultater fra tid- og kostnadskalkyle for prefabrikkert leilighetskompleks	54
4.1.5	Oppsummering av resultater fra case	55

4.2	Resultater fra intervjuer	56
4.2.1	Intervjuobjekt 1: Byggelederen	56
4.2.2	Intervjuobjekt 2: Prosjektlederen	57
4.2.3	Intervjuobjekt 3: Arkitekten	58
4.2.4	Intervjuobjekt 4: Fabrikksjefen	60
4.2.5	Intervjuobjekt 5: Rådgiveren.....	61
4.2.6	Oppsummering av resultater fra intervjuer	61
5	Diskusjon.....	63
5.1	Hvordan påvirkes tid og kostnad ved bruk av prefabrikkerte treelementer?.....	63
5.2	Hvordan påvirkes lagring og logistikk ved bruk av prefabrikkerte treelementer?	64
5.3	Hvordan påvirkes kvalitet ved bruk av prefabrikkerte treelementer?	65
5.4	Hvordan påvirkes planlegging og fleksibilitet ved bruk av prefabrikkerte treelementer?	66
5.5	Hvordan påvirkes helse, miljø og sikkerhet ved bruk av prefabrikkerte treelementer? 67	
5.6	Anbefalte tiltak	68
5.6.1	Forslag til tiltak tilpasset MWC	68
5.6.2	Generelle forslag til tiltak for forbedret bruk av prefabrikasjon	68
5.6.2.1	Tid og kostnadseffektivisering.....	68
5.6.2.2	Logistikk	69
5.6.2.3	Kvalitet.....	69
5.6.2.4	Planlegging og fleksibilitet	69
5.6.2.5	Miljø.....	69
5.6.2.6	Sikkerhet	70
5.7	Svakheter ved oppgaven	70
5.8	Anbefaling til fremtidig forskning.....	70
5.9	Konklusjon.....	71
	Referanseliste	74

Vedlegg	80
Vedlegg A: Sammendrag av dimensjonering av bærekonstruksjon i case	80
Vedlegg B: Informasjonsbrev og samtykkeskjema.....	97
Vedlegg C: Intervjuguide	99
Vedlegg D: Resultater fra trykktest for Bygg 3	101
Vedlegg E: Kalkyle Holte SmartKalk.....	103
Vedlegg F: Energiberegning av leilighetskompleks brukt i case.....	108

Tabelltekstliste

Tabell 2-1. Oversikt over de fem intervjudeltakerne etter stillingstittel, utdanning og antall års relevant arbeidserfaring.....	24
Tabell 3-1. Oversikt over driftsresultat for 5 norske sertifiserte aktører etter SINTEF 2021 for prefabrickerte bygningselementer av tre.....	31
Tabell 4-1. Oversikt over likheter og ulikheter mellom kalkylene for plassbygd og prefabrickert metode.	47
Tabell 4-2. Resultater fra trykktest.....	48
Tabell 4-3. Resultater fra fuktmåling.	48
Tabell 4-4. Sammendrag av resultater fra plassbygd kalkyle.	54
Tabell 4-5. Sammendrag av resultater fra MWC kalkyle.	55

Figurtekstliste

Figur 2-1. Illustrasjon av leilighetskompleks i tre brukt i case, samt bygningens bæresystem (høyre). Tegning laget i Revit.	8
Figur 2-2. Snittegning (venstre) og plantegning (høyre) av leilighetskomplekset brukt i case. Tegning laget i Revit.	9
Figur 2-3. Oversikt over fasade sør (øverst til venstre), nord (øverst til høyre), vest (nederst til venstre) og øst (nederst til høyre) til leilighetskomplekset brukt i case. Tegning laget i Revit.	10

Figur 2-4 Illustrasjon av modell i Focus Konstruksjon.....	12
Figur 2-5. Bilde av fritidsboligene i rekke på Norefjell. Privat foto.....	13
Figur 2-6. Bilde av fuktmåling av bunnsvill (venstre) og fuktmåling av stender (høyre). Privat foto.	13
Figur 2-7. Illustrasjon av takets oppbygning. Tegning laget i AutoCAD.....	14
Figur 2-8. Illustrasjon av bindingsverksvegg med vindu. Tegning laget i AutoCAD.....	15
Figur 2-9. Illustrasjon av skillevegg. Tegning laget i AutoCAD.....	16
Figur 2-10. Illustrasjon av hulldekker av betong og spennretning. Snittegning (øverst) og plantegning (nederst). Tegning laget i AutoCAD.....	17
Figur 2-11. Illustrasjon av bjelkelag i tre. Tegning laget i AutoCAD.....	18
Figur 2-12. Illustrasjon av etasjeskillene. Tegning laget i Revit.....	19
Figur 2-13. Illustrasjon av bindingsverksvegg, ringmur og såleblokk. Tegning laget i AutoCAD.....	20
Figur 2-14. Fire byggetrinn i oppføring av den prefabrikkerte bygningen i case. Tegning laget i Revit.....	21
Figur 2-15. Fire byggetrinn i oppføring av den prefabrikkerte bygningen i case. Tegning laget i Revit.....	21
Figur 2-16. Bilde av et veggelement fra MWC. Privat foto.....	22
Figur 2-17. Illustrasjon av kalkulasjonsmodell i Holte SmartKalk.....	23
Figur 2-18. Bærende bjelker og søyler som ikke er medregnet i kalkyle i case. Tegning laget i AutoCAD.....	26
Figur 3-1. Illustrasjon av et elementbygg. Figur laget i Revit.....	27
Figur 3-2. Fremdriftsplan for tradisjonell plassbygd metode. Verdier i graf er hentet fra Gibb (1999).....	30
Figur 3-3. Fremdriftsplan for prefabrikkert metode. Verdier i graf er hentet fra Gibb (1999).....	30
Figur 3-4. Tegning av gjennomblåsning og anblåsning. Tegnet etter figur i Byggforskserien 573.121. Tegning laget i AutoCAD.....	33
Figur 3-5. Bilde av kranbil med prefabrikkerte elementer av tre. Privat foto.....	34
Figur 3-6. Oversikt over arbeidsulykker i 2019 knyttet til prefabrikkerte elementer sortert etter prosess. Tall hentet fra Mostue et al (2020).....	36
Figur 3-7. Oversikt over arbeidsulykker i 2019 knyttet til prefabrikkerte elementer sortert etter hendelse. Tall hentet fra Mostue et al (2020).....	36
Figur 3-8. FN's bærekraftsmål (FN, 2021).....	37

Figur 3-9. Avfallsmengder for Norge i 2019 etter kilde. Oppgitt i 1000 tonn. Tall hentet fra Statistisk Sentralbyrå (2021).	38
Figur 3-10. Avfallsmengder for Norge i 2019 fra bygge- og anleggsindustrien sortert etter materiale. Oppgitt i 1000 tonn. Tall hentet fra Statistisk Sentralbyrå.....	39
Figur 3-11. Oversikt over de fem ulike detaljnivåene etter LOD. Hentet fra Tekla: https://www.tekla.com/image/lod100-400-1800pxjpg	41
Figur 3-12. Takelement av tre. Bilde hentet fra https://www.optimera.no/nyheter/nyhetsarkiv/fremtidens-byggemetode/	44
Figur 3-13. Veggelement av tre. Bilde hentet fra https://www.optimera.no/nyheter/nyhetsarkiv/fremtidens-byggemetode/	44
Figur 3-14. Gulvelement/etasjeskille av tre. Bilde hentet fra https://www.produktfakta.no/lattelement-ab/lattelement-bjelkelag/produkt.html	44
Figur 3-15. Utviklingen av prefabrikkerte bygninger av tre i Norge fra 2002-2015. Graf hentet fra Tomassen, Leszcynski & Elnan (2014).	45
Figur 4-1.. Illustrasjon av bærende midtvegg.	49
Figur 4-2. Illustrasjon av bærende yttervegg med opplegg til hulldekke.....	50
Figur 4-3. Illustrasjon av I-bjelke i tak.....	51
Figur 4-4. Illustrasjon av bjelkelag.	52
Figur 4-5. Eksempel på beregning av sperretak.....	53

1 Innledning

Den norske befolkningen er under vekst, og det er en stadig økende etterspørsel etter nye boliger i Norge. Tilbudet av boliger er derimot preget av en nedgang i produksjon – særlig i igangsetting av nye boligprosjekter, med en sterk påvirkning på leilighetsmarkedet. Dette kan tyde på lite samsvar mellom tilbud og etterspørsel på boligmarkedet i Norge i dag, noe som stiller høye krav til byggebransjen i form av økt produksjon og effektivitet. Den vanligste byggemetoden brukt i Norge har lenge vært plassbygd metode, som innebærer at bygninger bygges i sin helhet på byggeplass. En utfordrer i nyere tid er prefabrikkert metode som går ut på å produsere deler av bygninger på fabrikk for så å montere dem på byggeplass. Sammenlignet med den tradisjonelle plassbygde metoden, gir bruk av prefabrikasjon et potensiale for økt produktivitet og effektivisering innen bygg- og eiendomsnæringen.

Denne oppgaven går dermed ut på å sammenligne leilighetskomplekser oppført med prefabrikkerte bygningselementer med plassbygde leilighetskomplekser, med et særlig fokus på tremateriale. Sammenligningen er basert på en rekke mål, inkludert effektivitet og kostnad, kvalitet, fleksibilitet, og sikkerhet og miljø. Sammenligningen av de to byggemetodene skal undersøkes gjennom (a) en litteraturgjennomgang, (b) en casestudie og (c) intervjuer med fagpersoner.

1.1 Bakgrunn og samfunnsmessig relevans

Etterspørselen etter boliger i Norge har, som nevnt over, opplevd en sterk økning de siste tiårene, spesielt i de store byene (Boligprodusentenes Forening, 2021). I takt med denne økende etterspørselen av byggeprosjekter har den norske byggebransjen behov for å redusere byggetid og kostnader, samt øke produktivitet, industrialisering og automatisering av byggeprosessen (Leire et al., 2019; Moum et al., 2017). Per dags dato er ikke den norske byggebransjen i stand til å møte denne økte etterspørselen av boliger, og den ligger etter andre bransjer når det gjelder effektivitet og industrialisering (Moum et al., 2017).

Industrialisering og effektivisering av byggeprosesser er et meget omfattende tema med mange ulike problemstillinger, som er særdeles aktuelle i moderne byggeprosjekter. Boligmarkedet for nye boliger i 2020 har vært, og fortsetter å være, påvirket av uvissheten skapt av den pågående Covid-19 pandemien (Oslo Economics, 2020). Statistikk fra Boligprodusentenes Forening (2021) viser en nedgang på 5 % i igangsetting av nye boliger

fra 2019 til 2020. Dette betyr at igangsettingen av nye boliger i Norge er det laveste nivået siden 2010 og boligaktivitetene i 2020 sammenlignes med aktivitetsnivået under finanskrisen i 2010 (Boligprodusentenes Forening, 2021). Det oppfordres til økt bebyggelse av boliger, særlig i storbyer, gjennom tiltak som å redusere behandlingstid av regulering av boligbygging, og økt effektivitet i byggesaksprosessen. Dette medfører økte krav til utvikling av arbeidsmetoder som kan gi økt effektivitet i selve byggeprosessen. Effektivisering av byggeprosessen kan medføre relativt store kostnadsutt i bygg- og eiendomsnæringen (Eiken et al., 2014). Økt bruk av prefabrikkerte bygningselementer er et konkret eksempel på tiltak som kan bidra til økt industrialisering.

Prefabrikasjon er en moderne konstruksjonsmetode som kan sees opp imot tradisjonell plassbygd konstruksjon. Plassbygd byggemetode innebærer at materialer transporteres til byggeplassen, for så å kappes og monteres til ulike konstruksjonsdeler på plassen (Edvardsen et al., 2010). Prefabrikkerte elementer er som oftest enten produsert på fabrikk eller lages av overflødig bygningselementer som vegger eller etasjeskiller (Almås et al., 2014; Frøstrup, 1990). Etter produksjon fraktes de til byggeplassen som ferdig produserte bygningselementer (Edvardsen et al., 2010). Deretter monteres de prefabrikkerte elementene og reises opp som ferdige konstruksjoner (Almås et al., 2014). Grunnet behov for automatisering av byggeprosessen som nevnt over, kan det være verdt å utforske potensialet til økt effektivisering ved bruk av prefabrikkerte elementer. Noen av de viktigste fordelene ved prefabrikasjon som konstruksjonsmetode kan være at den gir stor forutsigbarhet, redusert arbeidsmengde på byggeplassen og kortere byggetid, som igjen kan føre til et rimeligere bygg (Almås et al., 2014).

Problemstillingene i denne oppgaven vil i hovedsak omhandle bruk av prefabrikkerte bygningselementer av tre (ikke massivtre) i leilighetskomplekser, sett opp mot tradisjonelle plassbygde leilighetskomplekser av tre. De to byggemetodene skal sammenlignes ut fra flere faktorer, slik som tid, pris, kvalitet, sikkerhet og miljø. Dette temaet er særlig aktuelt i Norge da vi har god tilgang til tre som råvare og tre er et av de mest populære byggematerialene vi har (Edvardsen et al., 2010). Majoriteten av leilighetskomplekser av tre i Norge bygges i dag gjennom den tradisjonelle plassbygde metoden. Økt bruk av prefabrikasjon i bygging av leiligheter vil kunne medføre en økt produktivitet og raskere oppføring. Ifølge Azman, Ahamad og Hussin (2012) er de største årsakene til hvorfor prefabrikasjon ikke er mer utbredt

hovedsakelig effektiv teknologi, automatisering av prosesser, detaljert planlegging av byggeprosessen og effektiv prosjektledelse.

1.2 Oppgavens formål og problemstillinger

Formålet med denne oppgaven er å sammenligne bruk av prefabrikkerte bygningselementer av tre i leilighetskomplekser med plassbygde sett opp mot effektivitet, pris, kvalitet, fleksibilitet, miljø, og planlegging. Herunder skal oppgaven også bistå MWC Gruppen AS med en problemstilling knyttet til deres lønnsomhet og bruk av prefabrikkert byggemetode. Mer spesifikt søker oppgaven å adressere følgende problemstillinger:

1. *Hvordan påvirkes tid og kostnad ved bruk av prefabrikkerte treelementer?*
2. *Hvordan påvirkes lagring og logistikk ved bruk av prefabrikkerte treelementer?*
3. *Hvordan påvirkes kvalitet ved bruk av prefabrikkerte treelementer?*
4. *Hvordan påvirkes planlegging og fleksibilitet ved bruk av prefabrikkerte treelementer?*
5. *Hvordan påvirkes helse, miljø og sikkerhet ved bruk av prefabrikkerte treelementer?*

Disse problemstillingene vil kunne gi veiledende kunnskap om eventuelle tiltak som kan implementeres hos MWC og i byggebransjen for øvrig, for å effektivisere byggeprosessen og hvorvidt plassbygde eller prefabrikkerte elementer av tre lønner seg sammenlignet med plassbygd metode. Problemstillingene skal undersøkes gjennom (a) en litteraturgjennomgang, (b) en kalkyleberegning av tid og kostnad gjennom en casestudie for MWC, og (c) intervjuer med fagpersoner som har erfaring med prefabrikkerte løsninger.

1.3 Avgrensning av oppgaven

Masteroppgaven er skrevet ved UiT Norges Arktiske Universitet og har et omfang av 30 studiepoeng, tilsvarende 18 ukers sammenhengende arbeid. Grunnet denne begrensede tidsperioden er det nødvendig med begrensninger knyttet til masteroppgavens omfang og detaljnivå. Avsnittet under redegjør for begrensningene som er gjort.

Prefabrikkerte elementer produseres på mange ulike måter og med forskjellige materialer og utforming. Det er valgt et hovedfokus på prefabrikkerte bygningselementer av tre (ikke massivtre) i casestudien i tråd med MWC sin produksjon av prefabrikkerte treelementer, og i oppgaven generelt. Spesifikke begrensninger ved metoden som er valgt er nevnt under

feilkilder i metoden i punkt 2.5 og begrensninger ved funnene i oppgaven presenteres i avsnitt 5.7 sammen med anbefalinger til fremtidig forskning. Grunnet det overnevnte arbeidsomfanget på 30 studiepoeng, vil oppgaven begrenses til å få en overordnet oversikt over positive og negative effekter ved bruk av prefabrikkerte bygningselementer av tre.

1.4 Oppgavens disposisjon

I det påfølgende kapittel 2 vil oppgaven presentere og forklare valg av forskningsmetoder, etterfulgt av fremgangsmåte for de tre metodene: (a) litteraturstudium, (b) kalkyleberegning i case og (c) intervjuer med fagpersoner. Resultatene fra litteraturstudien presenteres i kapittel 3 som redegjør for tidligere forskning om bruk av prefabrikasjon av tre i byggeprosjekter, som etterfølges av en kort oppsummering. Resultatene fra casestudien og intervjuene presenteres i kapittel 4. Til slutt i diskusjonen i kapittel 5 vil resultatene tolkes og drøftes opp mot problemstillingene nevnt innledningsvis, etterfulgt av forslag til eventuelle tiltak og oppgavens konklusjon.

2 Metode

I det følgende beskrives fremgangsmåten for metoden som er valgt for å undersøke problemstillingene nevnt innledningsvis i kapittel 1. Metoden er tredelt og kombinerer (a) et litteraturstudium, (b) en casestudie og (c) semi-strukturerte intervjuer.

2.1 Valg av forskningsmetode

I denne oppgaven er det valgt å gjennomføre et litteraturstudium for å få en oversikt over den eksisterende litteraturen og for å få innblikk i relevant kunnskap som kreves som et bakteppe for å gjennomføre de påfølgende metodene; casestudie og intervjuer. Et litteraturstudium innebærer å identifisere, samle, analysere og sammenfatte tidligere forskning. Det finnes ulike typer litteraturstudium. Snyder (2019) skiller mellom tre hovedtyper; systematiske, semi-systematiske og integrative eller narrative litteraturstudium. I denne oppgaven er det valgt å gjennomføre et semi-systematisk litteraturstudium fordi det overordnede målet med metoden er å få et generelt overblikk av et avgrenset forskningsområde (Snyder, 2019).

Videre er det valgt å gjennomføre en casestudie i samarbeid med MWC Gruppen AS, som er et firma som produserer prefabrikkerte bygningselementer av tre samt oppføring av byggene. Casestudien tar utgangspunkt i et leilighetskompleks av tre og er valgt for å adressere MWC sine spørsmål rundt lønnsomhet av deres bygninger samt fremtidige bygninger oppført med prefabrikkerte elementer – mer spesifikt knyttet til tid- og kostnadseffektivitet sett opp mot tradisjonelle plassbygde løsninger. En casestudie kan beskrives som en undersøkelse av et enkelttilfelle, som i dette tilfelle er en bygning (et leilighetskompleks av tre). Casestudier er en god måte å få dyptgående kunnskap om og forståelse for enheten som studeres (Martinson & O'Brien, 2015). Casestudien i denne oppgaven utgjør en kvalitativ metode ettersom metoden kun tar for seg ett enkelttilfelle som ikke kan generaliseres til andre tilfeller eller kan si noe om årsakssammenhenger. Denne kvalitative metoden gir likevel kvantitative data, altså data som gjerne er uttrykt som tall eller mengdebegreper.

Til slutt er det valgt å gjennomføre enkeltintervjuer med fagpersoner innen bygg- og anleggsbransjen med erfaring innen bruk av prefabrikkerte bygningselementer (av tre). Intervjuer er en kvalitativ forskningsmetode og gir data uttrykt som tekst. Intervju som forskningsmetode kan brukes for å gi innsikt i respondentenes (eller deltakernes) tanker, erfaringer og meninger (Adams, 2015). Denne oppgaven bruker intervjuer for å få innblikk i respondentenes erfaringer og opplevelser med bruk av prefabrikkerte bygningselementer.

Viktige begrensninger ved intervjuer er de samme som ved casestudier, nemlig at dataene utelukkende kan si noe om enkelttilfeller og enkeltpersoner og kan ikke brukes for å si noe overordnet om populasjoner eller fenomener (Martinson & O'Brien, 2015; Adams, 2015).

2.2 Metode A: Litteraturstudium

For å få en generell oversikt over forskningsfeltet rundt fordeler og ulemper ved prefabrikasjon sammenlignet med plassbygd metode, samt studier om trekonstruksjoner i Norge er det gjennomført et semi-strukturert litteraturstudium. Dette er en mindre systematisk metode enn systematiske litteraturstudier, men en mer systematisk metode enn integrative eller narrative litteraturstudier (Snyder, 2019), og kan gjerne forstås som en slags kombinasjon av de to (Greenhalgh et al., 2018). Ifølge Grant & Booth (2009) kan en semi-strukturert litteraturgjennomgang også kalles for en omfangsstudie («scoping review») og forsøker å være så transparent og repliserbar som mulig, men har likevel viktige metodiske begrensninger (se delkapittel 2.5.1 for detaljer).

2.2.1 Utvalg av tidligere forskning

For å identifisere relevant forskning ble det gjort avgrensede nettsøk og søk i utvalgte databaser. Det ble brukt en kombinasjon av søkeord på norsk og engelsk som «prefabrikasjon», «plassbygd», «trekonstruksjon» og lignende i databasen Google Scholar og Web of Science. Det ble også foretatt søk etter rapporter på norsk, blant annet via SINTEF. Studier og rapporter ble utvalgt basert på relevans for oppgavens tematikk gjennom å lese tittel og sammendrag. Det ble også lagt vekt på å velge ut flest mulig nyere artikler basert på publiseringsårstall. Enkelte eldre studier er også inkludert grunnet flere gjensiteringer i nyere forskning, noe som tyder på at disse studiene fortsatt har relevans.

2.3 Metode B: Casestudie

For å sammenligne de to byggemetodene (plassbygd og prefabrikasjon) utfra tid og kostnad, er det gjennomført to kalkyleberegninger i en casestudie av et leilighetskompleks av tre, der den ene kalkylen representerer prefabrikkert oppføring av leilighetskomplekset og den andre kalkylen representerer plassbygd oppføring. Dermed skal casestudien primært ta for seg problemstilling 1 om tid og kostnad, og sekundært problemstilling 3 om kvalitet. I de påfølgende avsnittene gis en beskrivelse av casen, samt en fremgangsmåte for modelleringen av leilighetskomplekset som er brukt i casen. Videre presenteres grunnlaget for prising som

presenterer fremgangsmåten for en kvalitetssjekk av MWC sine prefabrikkerte bygninger, samt viser oppbygging av tak, vegger, etasjeskiller, grunn, og en styrkeberegning som bestemmer dimensjonene på materialene som skal kalkuleres. Deretter beskrives fremgangsmåten for henholdsvis tids- og kostnadskalkulasjon av leilighetskomplekset oppført med prefabrikkerte elementer og det plassbygde leilighetskomplekset.

2.3.1 Beskrivelse av case

Casen er et oppdrag fra MWC Gruppen AS som ønsker en sammenligning av deres byggemetode (prefabrikkerte elementer) med tradisjonell plassbygd metode ved oppføring av et leilighetskompleks av tre. Formålet med casen er dermed å sammenligne tids- og kostnadsestimat for to like leilighetskomplekser av tre, hvor den ene er plassbygd og den andre er oppført med prefabrikkerte bygningselementer. Eventuelle tiltak for å øke kostnadseffektiviteten til MWC sin produksjon er også ønskelig. MWC har spesifisert et ønske om utforming, størrelse og materialtype på leilighetskomplekset. Videre ønsker de også en forenklet prosjektering av bygningskroppen for å få et mer realistisk resultat.

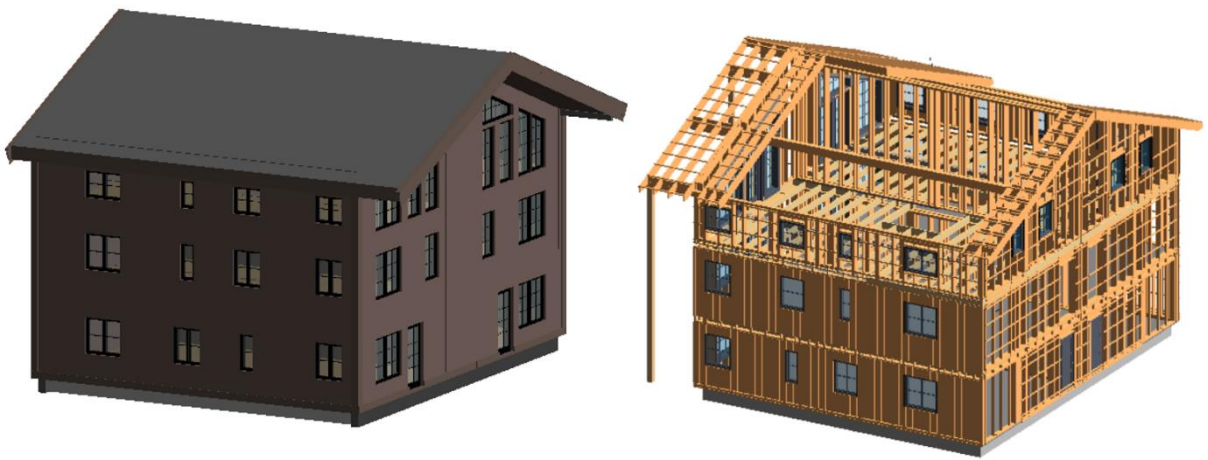
Basert på MWC sine spesifiseringer er det derfor blitt gjort en forenklet prosjektering av leilighetskomplekset, for så å kalkulere pris og tid for tradisjonell plassbygd oppføring av denne bygningen. Denne forenklete prosjekteringen har blitt levert til MWC som så har laget en egen erfaringsbasert kalkyle for sin byggemetode (prefabrikasjon) basert på samme modell for en sammenligning av pris og tid.

MWC har over 10 års erfaring med bygging av leilighetskomplekser med prefabrikkerte elementer (hovedsakelig av tre). Elementene blir produsert på egen fabrikk eid av MWC. På fabrikken produseres veggelementer, gulvelementer og takelementer av tre. Mer spesifikt vil den erfaringsbaserte kalkylen for kostnader og tidsbruk knyttet til bygning oppført med prefabrikkerte elementer fra MWC sammenlignes med tilsvarende bygg kalkulert i kalkyleprogrammet Holte SmartKalk som representerer plassbygd leilighetskompleks. Dataene som ligger inne i dette beregningsprogrammet baserer seg også på mange år med oppsamlet erfaringsbasert data.

2.3.2 Modellering og beskrivelse av leilighetskompleks i case

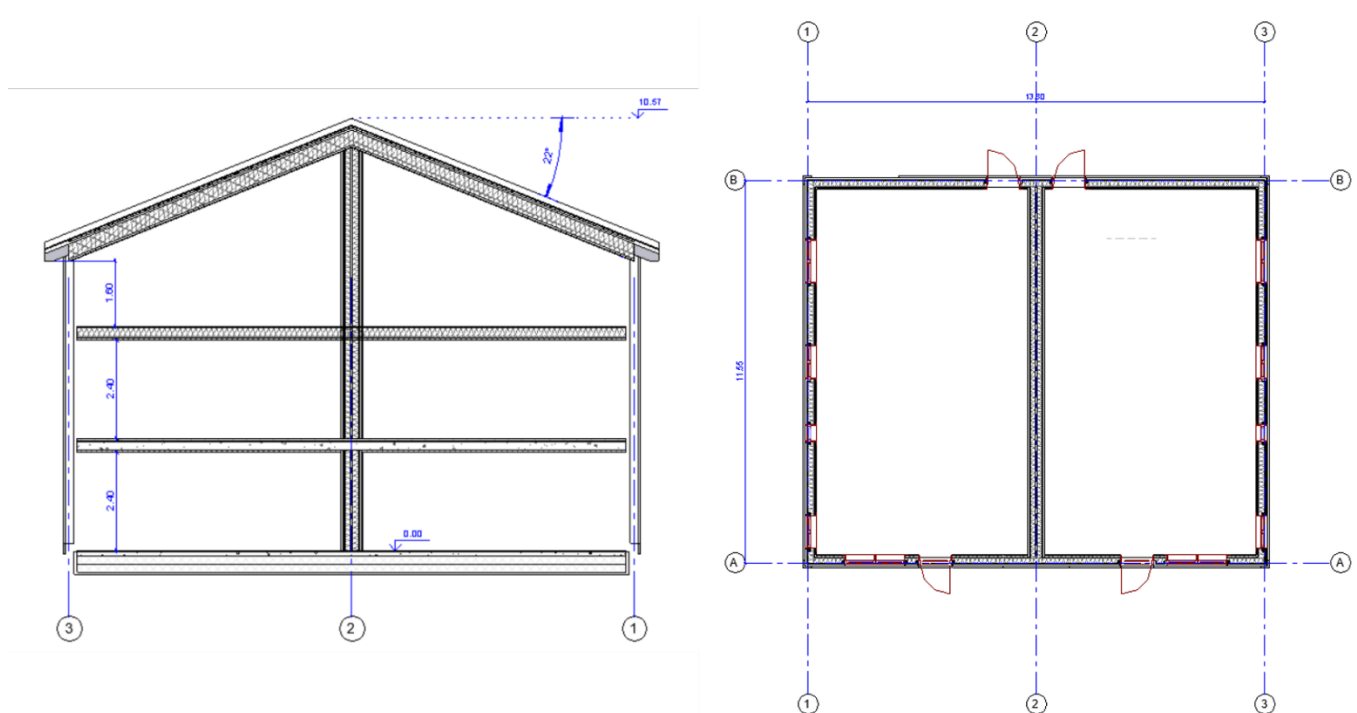
I litteraturstudien i kapittel 3 i delkapittel 3.2.1 beskrives det at bruk av Bygningsinformasjonsmodellering/BIM er et nyttig verktøy i prefabrikasjon. En enkel konstruksjon har derfor blitt modellert opp i BIM-programmet Revit i størrelsesorden etter

ønske fra MWC (se figur 2-1). Modellen skal benyttes i beregningen av pris og tid for både plassbygd leilighetskompleks og leilighet oppført med prefabrikkerte bygningselementer. Modellen skal også gi en god illustrasjon som gjør det enklere å dimensjonere materialene til bygningskroppen. Valget av utformingen er gitt i samarbeid med MWC, da det vil bli enklere for MWC å estimere pris opp mot en modell som ikke er helt ulik deres egne bygg. Utformingen er noe forenklet da 3D-modellering er en tidkrevende prosess, og dette kun skal være grunnlaget for en enklere sammenligning av byggemetodene når det gjelder tid og kostnad.



Figur 2-1. Illustrasjon av leilighetskompleks i tre brukt i case, samt bygningens bæresystem (høyre). Tegning laget i Revit.

Bygningen består av tre etasjer på ca. 160m² per etasje. Byggets lengde og bredde er på ca. 12m x 14m og med en totalhøyde på ca. 10,5m (se figur 2-2). Denne modellen representerer en forenklet oppbygging av en trekonstruksjon bestående av fire boenheter i samme bygningskropp; to boenheter i første etasje, og to boenheter i andre etasje inkludert en ekstra tredje etasje.



Figur 2-2. Snittegning (venstre) og plantegning (høyre) av leilighetskomplekset brukt i case. Tegning laget i Revit.

Det er hovedsakelig bæresystemet til leilighetskomplekset (inkludert utvendig kledning, dører og vinduer) som skal modelleres og kalkuleres, da det er dette som produseres på fabrikken til MWC. Undersøkelsen i denne casen skal derfor primært ta for seg forskjellen på prefabrikkert og plassbygd leilighetskompleks i tre med fokus på bæresystemet. MWC bygger heller ikke med prefabrikkerte innervegger da de bygger disse på plassen. Det er derfor ikke tegnet innvendige vegger i modellen, med unntak av midtveggen som er bærende. Videre er heller ikke våtrom, trapper, innvendig overflatebehandling, elektronikk og ventilasjon inkludert i modellen da dette også blir utført på plassen, og er heller ikke forskjellig fra plassbygde leilighetskomplekser. Bygningen har en enkel fasade med utvendig stående trekledning. Figur 2-3 viser bygningens fasade fra nord, sør, øst og vest.



Figur 2-3. Oversikt over fasade sør (øverst til venstre), nord (øverst til høyre), vest (nederst til venstre) og øst (nederst til høyre) til leilighetskomplekset brukt i case. Tegning laget i Revit.

2.3.3 Grunnlag for tids- og kostnadskalkyle i case

Det er blitt valgt velkjente og tradisjonelle bygningsmetoder og løsninger for komponentene i leilighetskomplekset. Alle tegningene er selvlagde i tegneprogrammene Revit og AutoCAD, og dimensjoner på materialene er bestemt utfra enkle beregninger gjort i beregningsprogrammet Focus Konstruksjon. Videre er det gjort en energiberegning av leilighetskomplekset i programmet TEK-sjekk Energi som baserer seg på energikrav i henhold til TEK17 og Norsk standard NS 3031.

Bygningen er dimensjonert og prosjektert i henhold til Norsk Standard og teknisk forskrift (TEK17). Det bygningsfysiske (varme, fukt og lyd) skal tilfredsstille krav i henhold til TEK17. Se vedlegg F for energiberegning. Bygningen skal dimensjoneres for brannklasse 2 (BKL 2) og risikoklasse 4 (RKL 4), og bærende hovedsystem skal ha en brannmotstand tilsvarende R 60 [B 60].

Lydforholdene mellom boenhetene skal tilfredsstillende VTEK/TEK17 §13-6 «Lyd og vibrasjoner» og Norsk Standard NS 8175:2019 «Lydforhold i bygninger». Grenseverdien for lyd legges i lydklasse C som tilfredsstiller minstekravet i TEK17. Laveste grenseverdi for veid feltmålt luftlyd mellom boenhetene i leilighetskomplekset ($R'w$) er 55dB, og laveste grenseverdi for veid feltmålt trinnlydnivå ($R'w$) er 53dB.

I det følgende redegjøres det for last- og styrkeberegning, kvalitetssjekk av MWC sine prefabrikkerte bygg, og beskrivelser av valgte løsninger for leilighetskomplekset.

2.3.3.1 Last- og styrkeberegning

For å kunne estimere prisene for både plassbygd bygning og bygg oppført med prefabrikkerte elementer er dimensjonene på materialene svært viktige for å komme frem til en mest mulig realistisk sluttsum. En lastberegning er også nødvendig for å kontrollere at bygningen kan oppføres med ønskede løsninger.

Forutsetninger for laster

Det er benyttet følgende standarder som grunnlag for beregning av laster:

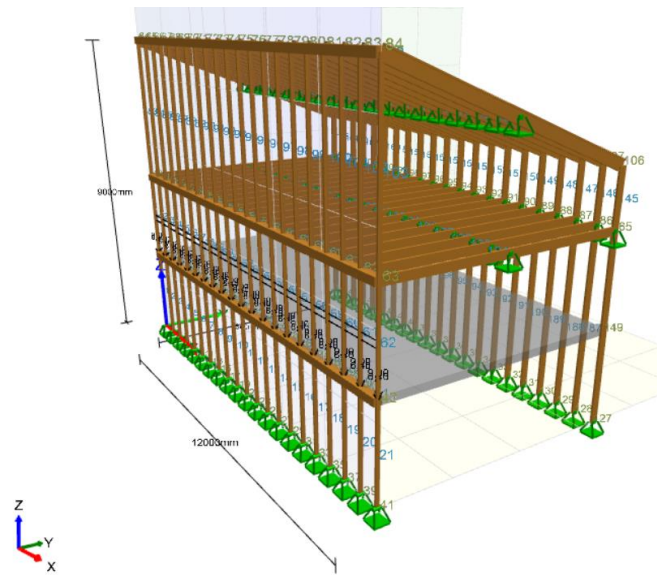
- NS-EN 1991-1-3: “Laster på konstruksjoner – snølaster”
- NS-EN 1990:2002: “Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner”
- NS-EN 1991: “Laster på konstruksjoner”

Dimensjonerende nyttelaster for bolig bestemmes i henhold til Standard Norge 2019 med en jevnt fordelt nyttelast på 2 kN/m^2 . Videre er det valgt å benytte snølast på mark på $3,5 \text{ kN/m}^2$ i henhold til Standard Norge 2019.

Bærekonstruksjon og dimensjonering

En enkel styrkeberegning av bæresystemet i tre er blitt utført i beregningsprogrammet Focus Konstruksjon (se figur 2-4). Focus Konstruksjon baserer seg på Norsk og Europeisk Standard.

Styrkeberegningen er utført for å se om bæresystemet er i stand til å bære lastene og for å bestemme dimensjonene på materialene for å få en mer nøyaktig og realistisk kalkyle. Se vedlegg A for beregningen av laster



Figur 2-4 Illustrasjon av modell i Focus Konstruksjon

og styrkeberegning. Hovedbæresystemet består av bærende bindingsverksvegger, bjelkelag som understøttes av bjelker og søyler, hulldekker og I-bjelker for takoppbyggingen.

2.3.3.2 Kvalitetssjekk av fukt og luftlekkasje

Fuktproblematikk og lufttetthet er en utfordring knyttet til modulbygg (Edvardsen et al., 2010; se delkapittel 3.1.1.2). Det er derfor blitt gjennomført en enkel kvalitetssjekk i form av fuktmåling og trykktesting i forkant av kalkulasjonen i casestudien. Mer spesifikt er kvaliteten på MWC sine bygg testet basert på fuktinnholdet i treverket på de prefabrikkerte elementene og luftlekkasjetallet til bygningene.

Kalkylen for MWC's prefabrikasjon er basert på at det ikke vil bli ekstra kostnader, tid og arbeid knyttet til uttørking av bygningene, fuktskader og luftlekkasjer. For å se på lønnsomheten til MWC sin produksjon spiller derfor kvaliteten på bygningene de oppfører en vesentlig rolle, spesielt med tanke på fremtidige uforutsette kostnader.

For å danne et bilde av kvaliteten på MWC sine bygg, er det blitt gjort enkle kvalitetssjekker (dvs., fuktmålinger og trykktester) på åtte like fritidsboliger i Norefjell fra 2021.

Fritidsboligene er oppført med prefabrikkerte bygningselementer av tre (se figur 2-5 for bilde av rekken som er blitt testet). For konstruksjonene er det blitt benyttet prefabrikkerte vegg- og takelementer samt prefabrikkerte bjelkelagselementer av tre.



Figur 2-5. Bilde av fritidsboligene i rekke på Norefjell. Privat foto.

Fuktmåling

Det ble gjennomført fuktmålinger av et utvalg av bunnsvill og stendere i alle åtte enhetene (se figur 2-6). Det ble benyttet fuktmåler med hammerelektroder som ble banket inn i trevirket for å gi en indikasjon på fuktinnholdet i trevirket før uttørking og tetting av fritidsboligene. Se delkapittel 4.1.1 for resultat fra fuktmålingen.



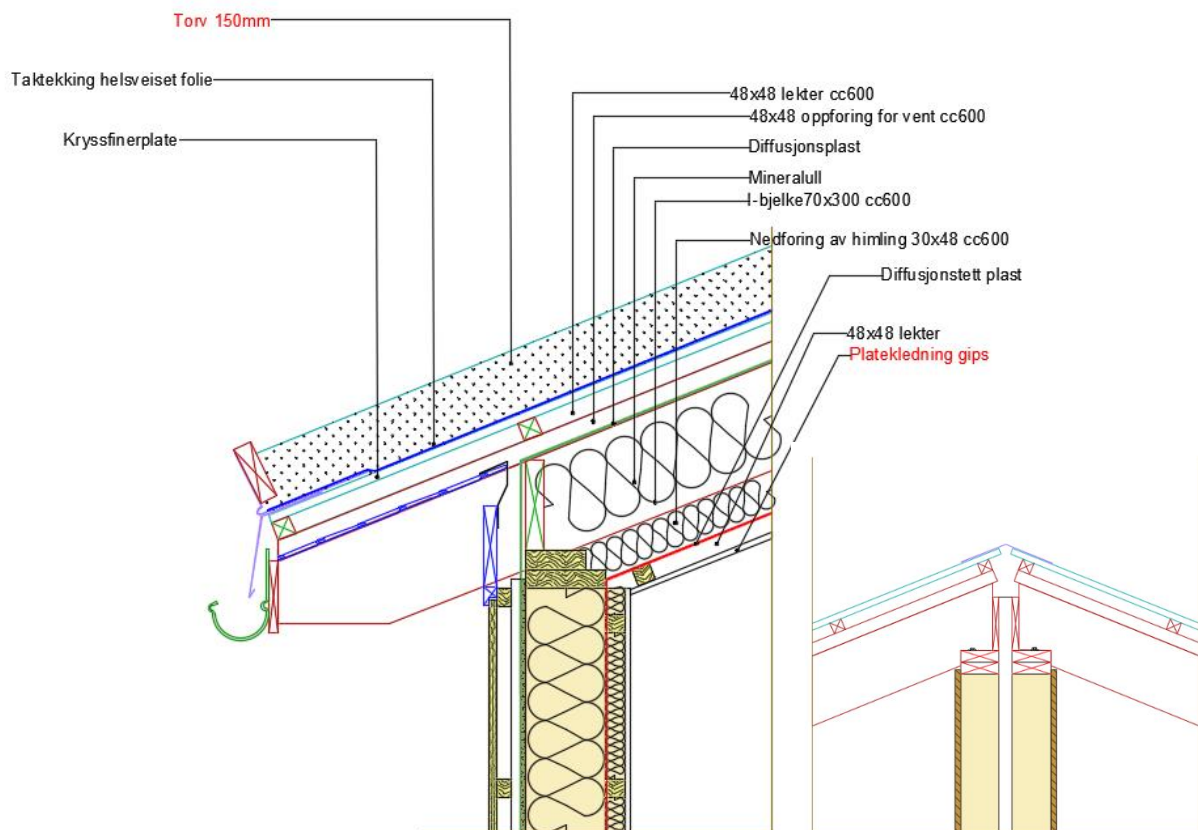
Figur 2-6. Bilde av fuktmåling av bunnsvill (venstre) og fuktmåling av stender (høyre). Privat foto.

Trykktest

Trykktestene av fritidsboligene ble gjennomført i henhold til NS-EN 13829, ved å montere en tett plastdør med en vifte (“Blower-door”) i ytterdøren. Bygningen ble tettet, dører og vinduer ble lukket og innerdørene stod åpne. Deretter skapte viften et undertrykk ved å trekke ut luften av bygningen ved 50 pascal, slik at trykket ble lavere inne enn ute (undertrykk), og trykkdifferansen ute og inne ble målt. Se delkapittel 4.1.1 for resultat fra trykktestene.

2.3.3.3 Takoppbygging

Det er valgt et skrått luftet tak med en takvinkel på 22 grader. Taket vil være et sperretak av I-bjelker med dimensjonene 70mm x 300mm cc 600, med mineralull mellom bjelkene. Videre vil det være taktro/undertak av vannfast kryssfiner, og takteking av helsveiset membranfolie. Det er utført lastberegning med utgangspunkt i 150mm torv på taket, se vedlegg A for last- og styrkeberegning. Komplette oppbygging av taket er vist i figur 2-7. Tekst i rødt i figuren er ikke medregnet i kalkylen da disse blir utført på plassen i begge situasjonene.

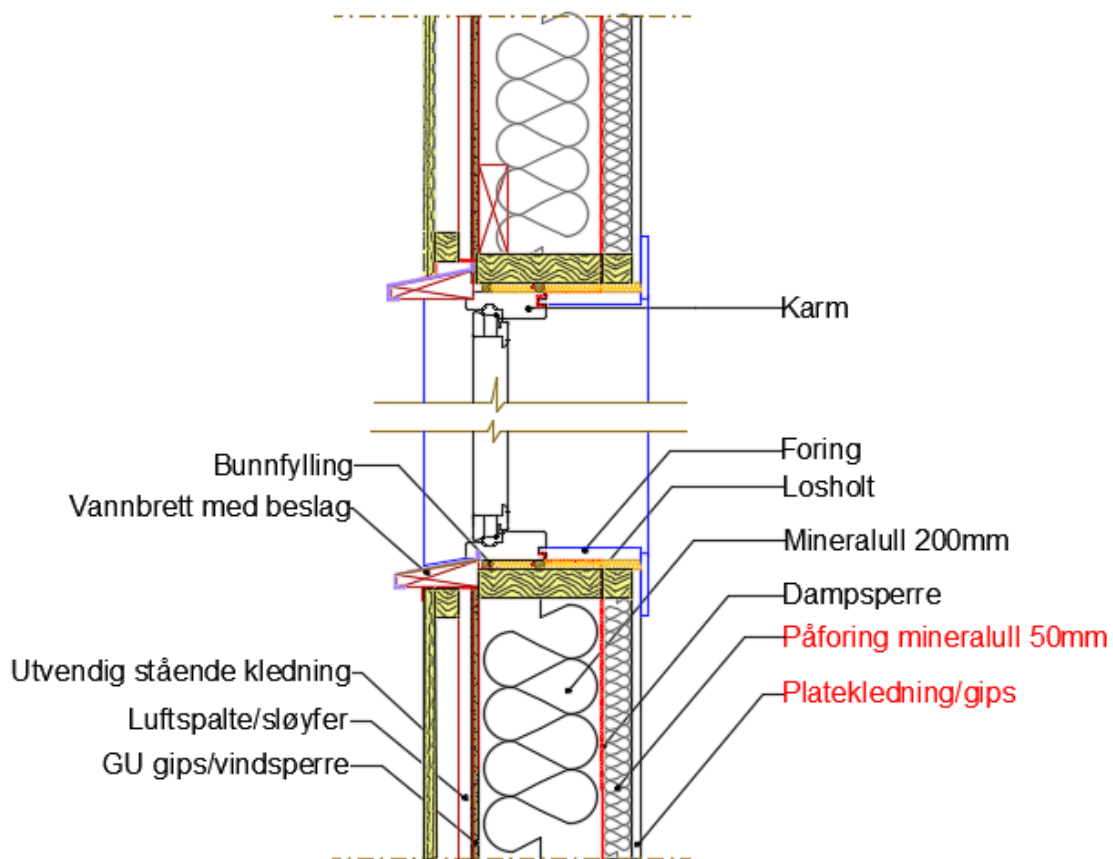


Figur 2-7. Illustrasjon av takets oppbygging. Tegning laget i AutoCAD.

2.3.3.4 Vegger

Yttervegger og bærende yttervegg

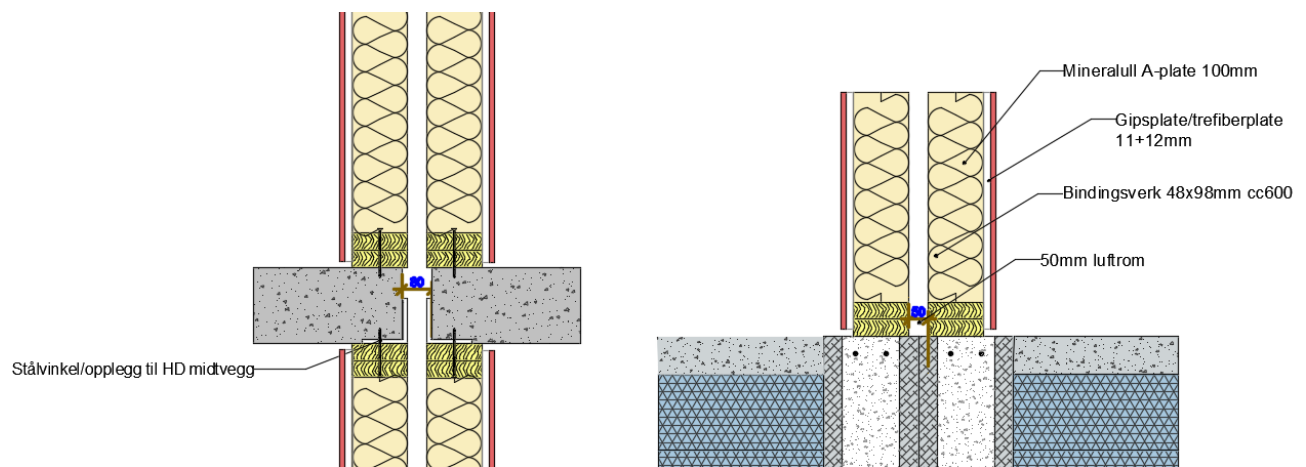
Ytterveggene vil være tradisjonelle bindingsverksvegger av tre med dimensjonene 48x198 c24 konstruksjonsvirke, med en senteravstand cc600mm mellom hver stender. Det er stående trekledning med 9,5mm GU-gips som vindsperre. Det vil bli benyttet 200mm mineralull mellom stenderne, dampsperre og 48mm innvendig utlekting med 50mm mineralull og platekledning. Bærende yttervegger tilfredsstiller brannkravet (R 60 [B 60]), samt krav i energiltak med u-verdi på 0,18 W/ m²K (Byggteknisk forskrift, 2017). Se vedlegg F for energiberegning av bygningen. Veggelementene leveres med vinduer med u-verdi på 0,8 W/ m²K. Figur 2-8 under viser bindingsverksveggen. Tekst i rødt i figuren er ikke medregnet i kalkylen da disse blir utført på plassen i begge situasjonene.



Figur 2-8. Illustrasjon av bindingsverksvegg med vindu. Tegning laget i AutoCAD

Innvendig skillevegg

Veggen som skiller boenhetene skal tilfredsstillere brann- og lydkrav. Det er derfor valgt å benytte en dobbel bindingsverksvegg med dimensjonene 2x48x98 c24 cc600 i kalkyleberegningen, som tilfredsstiller brannkravet (R 60 [B 60]) (Byggteknisk forskrift, 2017). Hulldekke som skiller første og andre etasje ligger an på stålvinkel som er festet til dobbel toppsvill på skilleveggen og ytterveggen. For å tilfredsstillere lydkravet (55/53dB) vil det derfor være 50mm avstand mellom svillene og stenderverket. Bunnsvillene festes til to ringmurselementer i bunnen. Videre vil det være dobbel plateoppbygging på hver side av veggen (se figur 2-9).

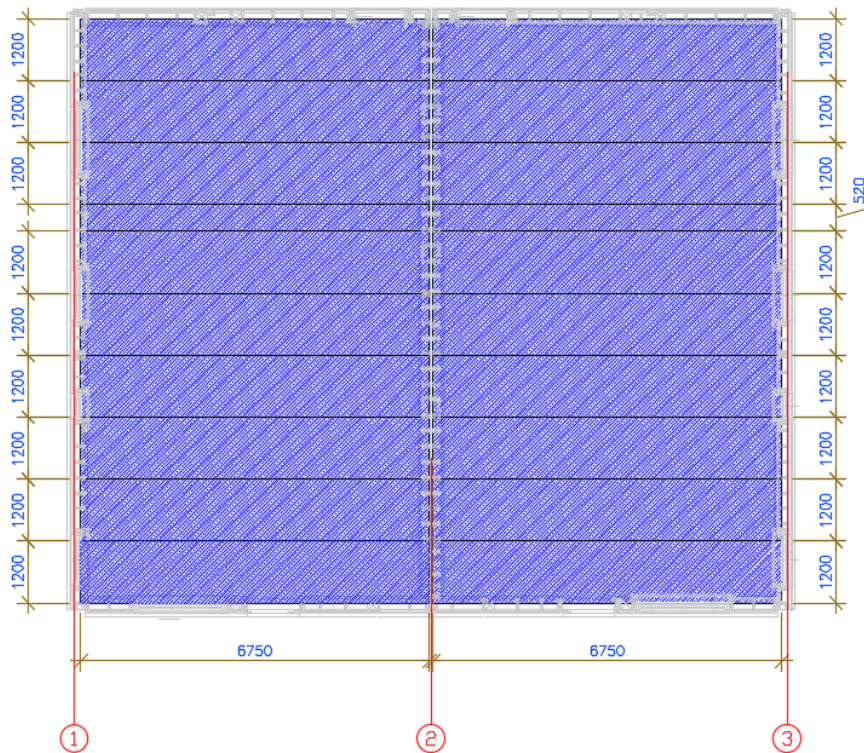
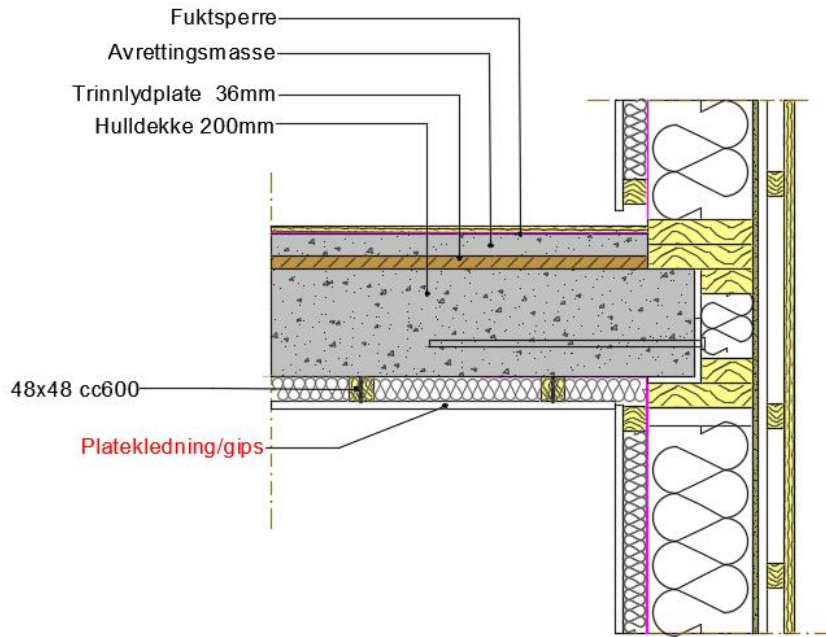


Figur 2-9. Illustrasjon av skillevegg. Tegning laget i AutoCAD.

2.3.3.5 Etasjeskiller

Hulldekker av betong

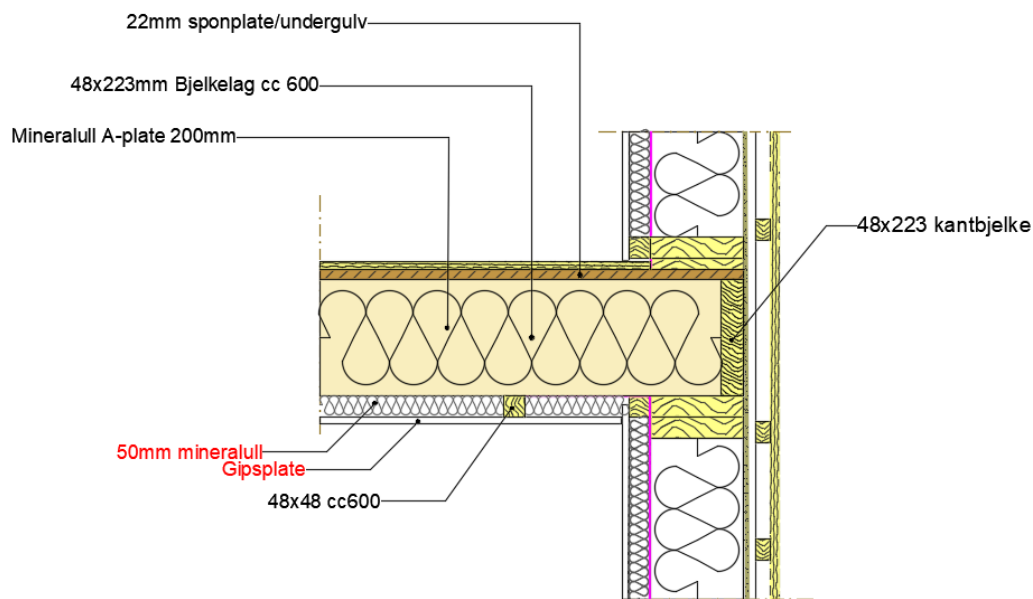
I etasjeskillet mellom første og andre etasje vil det bli benyttet 200mm hulldekker av betong (dimensjon hentet fra tabell hos leverandører; Spenncon og Contiga) med 50mm flytende armert påstøp og trinnlydplate. Hulldekke av betong har brannklassen A 90 og blir benyttet for å oppnå et etasjeskille som tilfredsstiller brannkravet og lydkravet (55/53dB) i henhold til TEK17 mellom boenhetene (Byggteknisk forskrift, 2017). Hulldekket ligger an på en stålvinkel som er montert på svillen, med kamstål/bøyler sveiset til stålvinkelen og som hulldekket støpes til. Det vil være 10cm isolasjon på dekkforkanten for å eliminere kuldebro og varmetap. Hulldekket deles inn i bredder på 1200mm og spenner mellom akse 1-2 og 2-3 (se figur 2-2 for akser). Se figur 2-10 og 2-12 for en illustrasjon av hulldekker av betong. Tekst i rødt i figur 2-10 er ikke medregnet i kalkylen.



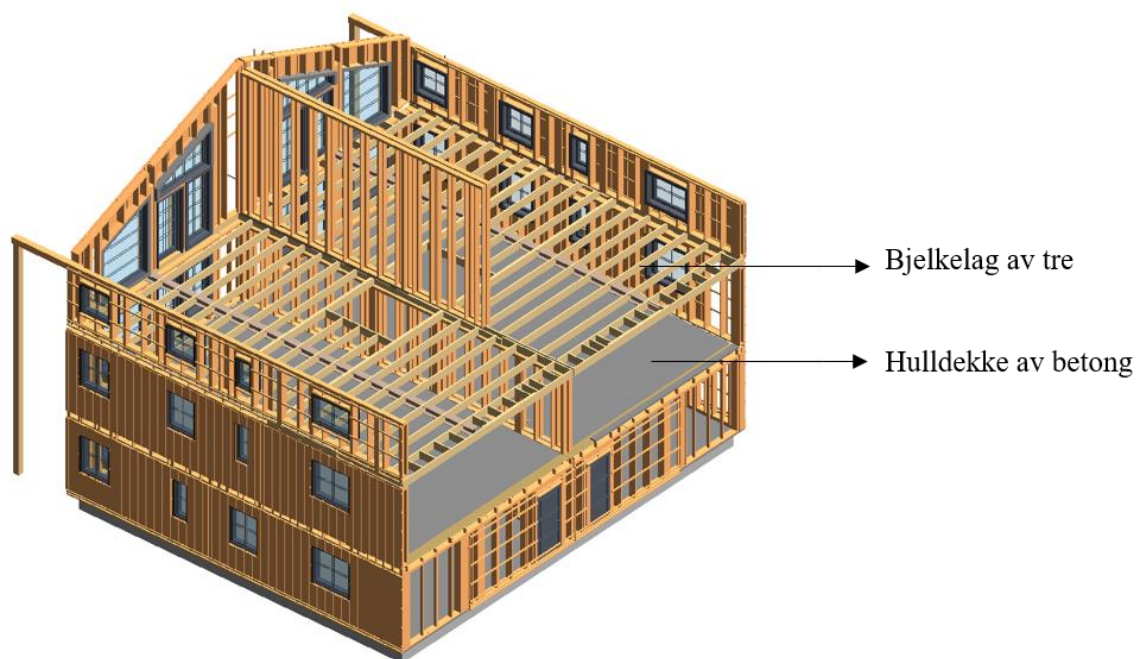
Figur 2-10. Illustrasjon av hulldekker av betong og spennretning. Snittegning (øverst) og plantegning (nederst). Tegning laget i AutoCAD.

Bjelkelag av tre

Etasjeskillet mellom andre og tredje etasje er i samme boenhet og vil være av et tradisjonelt bjelkelag av tre. Bjelkelaget vil bestå av 48x223mm, c24 cc600 konstruksjonsvirke med 200mm mineralull mellom bjelkene og 22mm sponplate som undergulv. Bjelkelaget spenner over akse 1-2 og 2-3 (se figur 2-2 for akser) og understøttes av en bjelkedrager i midten av etasjeskillet. Det er utsparinger i bjelkelaget for trapp på hver side av skilleveggen. Se figur 2-10 og 2-11 under for en illustrasjon av bjelkelag i tre. Tekst i rødt i figur 2-10 er ikke medregnet i kalkylen.



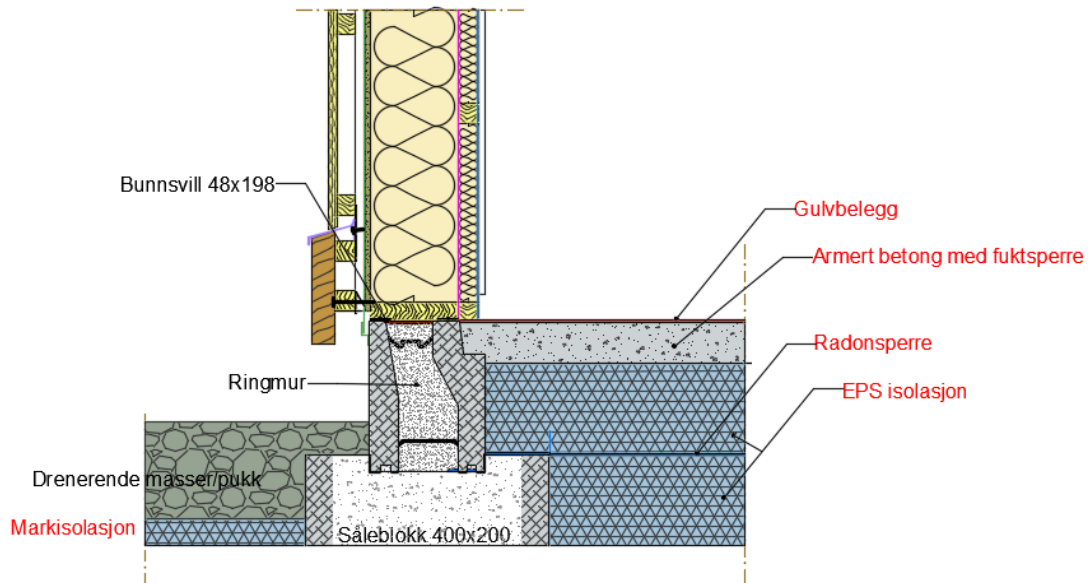
Figur 2-11. Illustrasjon av bjelkelag i tre. Tegning laget i AutoCAD.



Figur 2-12. Illustrasjon av etasjeskillene. Tegning laget i Revit.

2.3.3.6 Gulv på grunn med støpt betong, ringmur og såleblokk

Bygningen i casen er en forholdsvis lett konstruksjon med lav egenvekt og nyttelaster. Det vil bli benyttet standard ringmurselementer og såleblokk i kalkyleberegningen (se figur 2-13 under). Ringmuren er frostsikret med 50mm EPS på innsiden og utsiden av elementene. Gulvet på grunnen blir bestående av 100-120mm plasstøpt betongdekke med underliggende EPS- isolasjon, fuktsperre, radonsperre og 50mm markisolasjon. Det kommer ned noen punktlaster på betongdekket på mark som ikke er medregnet. Punktfundamentene lar seg enkelt lage ved å fjerne isolasjon på de aktuelle punktene og støpe opp igjen med betong. Rød tekst vil ikke bli en del av kalkylen da dette utføres på plassen i begge situasjonene. U-verdien i gulvet skal tilfredsstillе minimumskravet i TEK17 i Byggteknisk forskrift (2017).

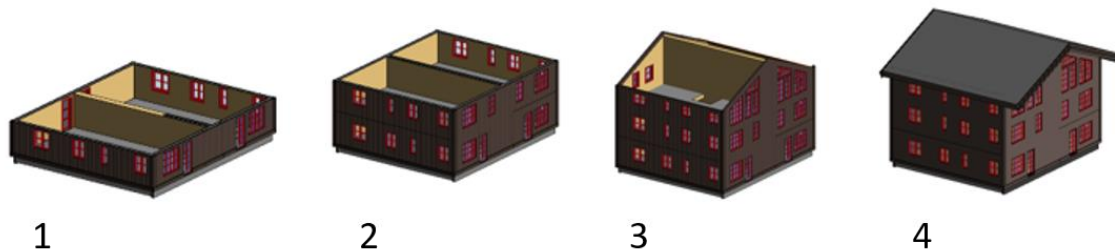


Figur 2-13. Illustrasjon av bindingsverksvegg, ringmur og såleblokk. Tegning laget i AutoCAD.

2.3.4 Prefabrikkert leilighetskompleks: Fremgangsmåte for kalkulasjon

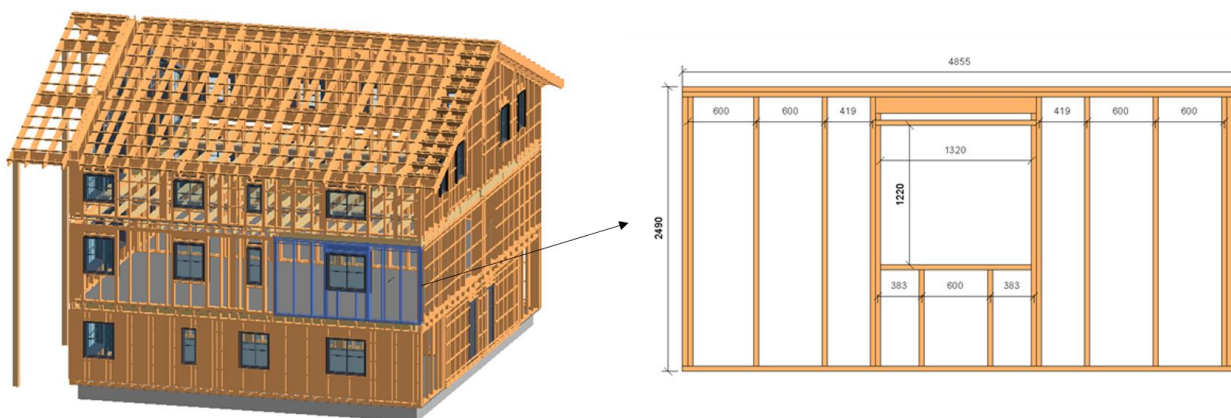
Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er en sentral og viktig del av planleggingsfasen av byggeprosjekter, og spesielt når det gjelder bygninger oppført med prefabrikkerte elementer (se delkapittel 3.2.1 for mer detaljer om bruk av BIM). Bygningen som er kalkulert er blitt modellert opp i Revit da en detaljert BIM-modell bidrar til en mer presis kalkyle. Deretter har denne BIM-modellen med tegningsgrunnlag (se detaljtegninger over) blitt overlevert til MWC for kalkulering. MWC bruker sin 10-års lange erfaring med produksjon av bygninger oppført med prefabrikkerte bygningselementer i tre til å lage kostnadskalkylen. Videre bidrar modellen til å gi en god illustrasjon og oversikt over elementene som kan prefabrikeres på fabrikk som gjør det enklere for MWC å estimere prisen på prosjektet. MWC sin kalkyle er basert på at bygningen oppføres i fire etapper slik som de vanligvis ville ha oppført leilighetskomplekset (se figur 2-14 under).

- **Etappe 1:** Styresvill monteres etterfulgt av veggelementer i 1.etasje.
- **Etappe 2:** Hulldekke-element legges, deretter montering av veggelementer for 2. etasje.
- **Etappe 3:** Bjelkelagselementer og veggelementer monteres for 3.etasje.
- **Etappe 4:** Takelementer monteres.



Figur 2-14. Fire byggetrinn i oppføring av den prefabrikkerte bygningen i case. Tegning laget i Revit.

Dimensjonene på elementene i modellen er av størrelser som er enkle å håndtere under produksjon, frakt og montering og er typiske dimensjoner for MWC sin produksjon. Det er mulig å hente ut informasjonen i BIM-modellen ved å klikke på elementene. Figur 2-15 under illustrerer bæringen til et veggelement for prefabrikasjon, og figur 2-16 viser et bilde av et veggelement laget av MWC.



Figur 2-15. Fire byggetrinn i oppføring av den prefabrikkerte bygningen i case. Tegning laget i Revit.

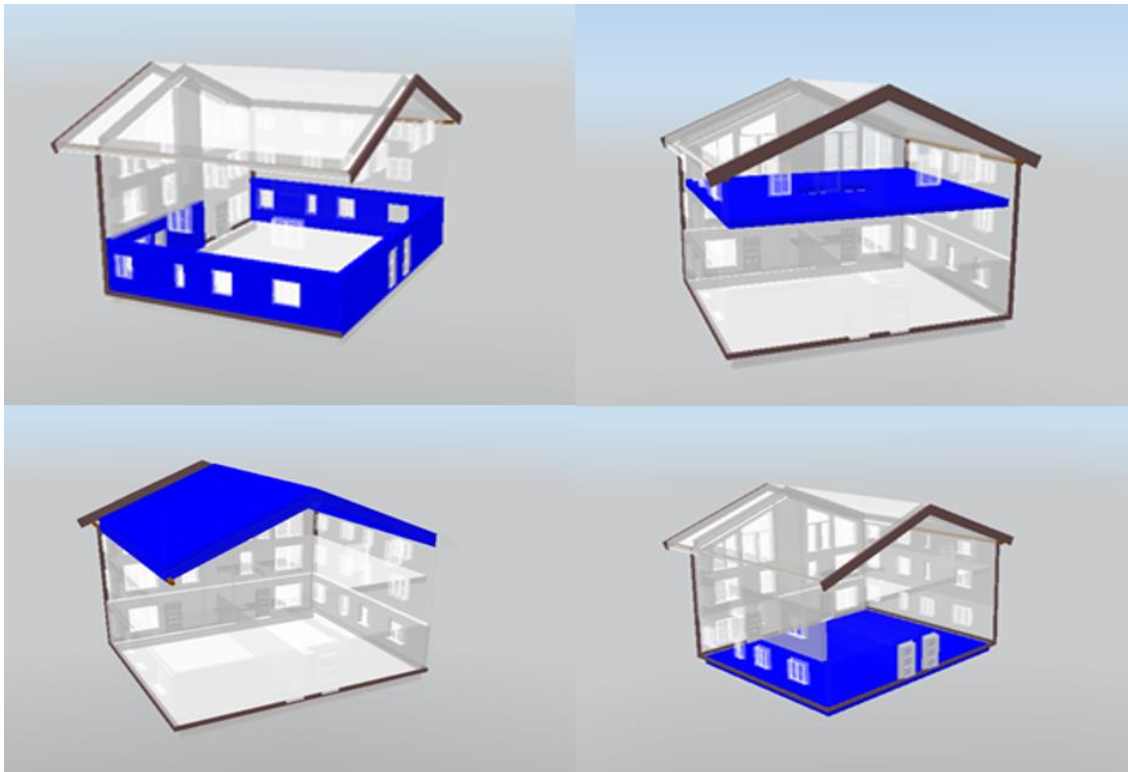


Figur 2-16. Bilde av et veggelement fra MWC. Privat foto

2.3.5 Plassbygd leilighetskompleks: Fremgangsmåte for kalkulasjon

Kalkulasjonsverktøyet Holte SmartKalk er blitt anvendt for å representere plassbygde leilighetskomplekser. Ifølge Holte (2020) er Smartkalk et komplett kalkulasjonssystem for å estimere tid og priser og baserer seg på 40 års innsamlet erfaringsbasert data fra fagpersoner i Norge. Det er derfor et godt verktøy for å representere en realistisk situasjon innen byggebransjen i Norge utfra tid og kostnader for plassbygde konstruksjoner. 3D-modellen fra Revit er blitt konvertert til en IFC-fil og deretter linket inn i Holte SmartKalk. Dette gjør det raskere og enklere å holde oversikten på bygningsdelene som skal kalkuleres i programmet.

Deretter er hver komponent blitt markert og lagt inn i kalkylen. Inne i programmet er komponentene blitt merket med en farge slik at det blir enkelt og oversiktlig. Figur 2-17 under viser markerte elementer i blått som er lagt inn i kalkylen. Etter at alle komponentene har blitt lagt inn i kalkylen vises en oversikt over komponenter, materialer, mengder, estimert tid og kostnader. Hver bygningsdel kan endres etter ønsket produksjon.



Figur 2-17. Illustrasjon av kalkulasjonsmodell i Holte SmartKalk.

2.4 Metode C: Intervjuer med fagpersoner

I etterkant av casen er det blitt gjennomført fem kvalitative intervjuer over telefon med fagpersoner i byggebransjen med erfaring innen prefabrikasjon av bygninger i tre, supplert med oppfølgende uformelle telefonsamtaler. Formålet med intervjuene er å få innsikt i erfaringsbasert kunnskap fra fagpersoner om praktisk og teoretisk bruk av de ulike byggemetodene, samt fordeler og ulemper. I motsetning til casestudien skal intervjuene omhandle de fem problemstillingene.

Intervjuene har fulgt en semi-strukturert intervjuguide (se vedlegg C). Dette innebærer at kjernetema og spørsmål er definert i forkant av intervjuet, og at samtalen veiledes av det deltakerne forteller og at spørsmål og tema som tas opp dermed kan endres underveis, avhengig av samtalen (Adams, 2015). Spørsmålene i intervjuguiden er utformet basert på tidligere litteratur belyst i litteraturgjennomgangen og resultatene fra casestudien. Basert på intervjuguiden har fagpersonene blitt intervjuet om sin bakgrunn og erfaringer med prefabrickerte og plassbygde konstruksjoner utfra tid, kvalitet, kostnad, planlegging, montering, oppføring og miljøpåvirkning. Hvert intervju har vart omtrent 30 minutter.

I tillegg til intervjuguiden, er det også utarbeidet samtykkeskjema og informasjonsbrev som deltakerne har fått tilsendt i forkant av intervjuet (vedlegg B). Intervjuene har blitt gjennomført over telefon for å imøtekomme pågående fysiske restriksjoner grunnet Covid-19 pandemien. Intervjuene har ikke blitt tatt opp på lydbånd for å ivareta deltakernes anonymitet. I stedet har svarene i intervjuene blitt skrevet ned for hånd, både underveis og i etterkant av intervjusituasjonen. I avtale med deltakerne og i henhold til gjeldende personvern er personlig identifiserbar informasjon om deltakerne ekskludert i denne oppgaven. Av samme grunn er også svarene til deltakerne ikke gjengitt i sin helhet.

2.4.1 Deltakere og rekruttering

De fem deltakerne har blitt rekruttert gjennom et beleilighetsutvalg og ble først kontaktet gjennom epost- og telefonhenvendelser. Det vil si at deltakerne er personer som jobber i byggebransjen, som har relevant erfaring med oppgavens tema og som er beleilige å komme i kontakt med. Deltakerne består av ingeniører, entreprenører og en arkitekt som arbeider med og har kunnskap om bruk av både prefabrikkerte elementer og tradisjonelle plassbygde metoder. Tabell 2-1 under gir en oversikt over deltakerne utfra stillingstype, utdanning og antall års arbeidserfaring innen byggebransjen.

Tabell 2-1. Oversikt over de fem intervjudeltakerne etter stillingstittel, utdanning og antall års relevant arbeidserfaring.

Intervjuobjekt	Stillingstittel	Utdanning	Antall års relevant arbeidserfaring
1	Byggeleder	Tømrmester	10+ år
2	Prosjektleder	Byggingeniør	10+ år
3	Sivilarkitekt	Sivilarkitekt	30+ år
4	Fabrikkseier/konstruktør	Byggingeniør	10+ år
5	Rådgiver (RIB)	Byggingeniør	8 år

2.5 Feilkilder i metode

Under presenteres mulige feilkilder ved de tre metodene som er valgt.

2.5.1 Feilkilder ved litteraturstudium

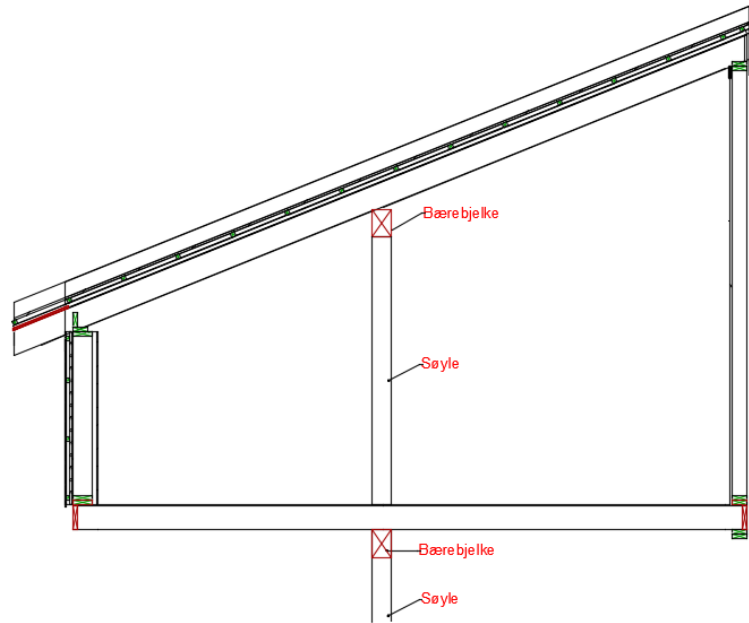
Litteraturstudien er kun semi-strukturert og ikke fullt ut strukturert, noe som gir en høyere risiko for skjeve resultater (Grant & Booth, 2009). Det innebærer at litteraturen som er gjennomgått ikke er selektert basert på uttømmende og kontrollerte litteratursøk, men heller er en enklere gjennomgang av relevante studier basert på enkle søk gjennom nettsøk, fagarkiv og fagrapporter. Dette kan blant annet medføre en skjev utvelgelsesprosess av litteratur som igjen kan reprodusere subjektive tolkninger. For eksempel kan dette gi utslag ved at flest studier som viser fordelene ved prefabrikasjon er inkludert i søket, mens antall studier som peker på ulempene er mangelfulle.

2.5.2 Feilkilder ved case

I casen er det kun gjort en forenklet prosjektering med formål om å estimere tid og kostnad av én enkel bygning og kalkylene er estimerer som er basert på denne modellen. Mer spesifikt er casestudien kun basert på én bygning i én bedrift, og individuelle faktorer ved denne bygningen og bedriften kan påvirke resultatene da disse kan variere mellom bedrifter og konstruksjoner. Tegningene som er laget, er ment som prinsippskisser og kan inneholde små mangler og detaljer.

Videre er det en rekke begrensninger ved styrkeberegning som kan nevnes.

Vindkrefter/seismisk påkjenning for horisontale krefter er ikke blitt medregnet. De horisontale kreftene er tenkt tatt opp i platekonstruksjonene (GU-gips ute og innvendig gips/platekledning). Det kan medføre noen ekstra kostnader knyttet til vindkryss dersom det er behov. Dimensjonen på hulldekket er bestemt ut ifra tabell fra leverandører (Spenncon/Contiga) og er ikke blitt beregnet i beregningsprogrammet Focus Konstruksjon. Søylar og bjelker som understøtter gulvbjelker og takbjelker er ikke dimensjonert og styrkeberegnet da disse ikke er inkludert i kostnadskalkylen siden disse blir plassbygd i begge situasjonene. Se figur 2-18 under som illustrerer dette hvor rød tekst ikke er medregnet i kalkylen.



Figur 2-18. Bærende bjelker og søyler som ikke er medregnet i kalkyle i case. Tegning laget i AutoCAD.

2.5.3 Feilkilder ved intervju

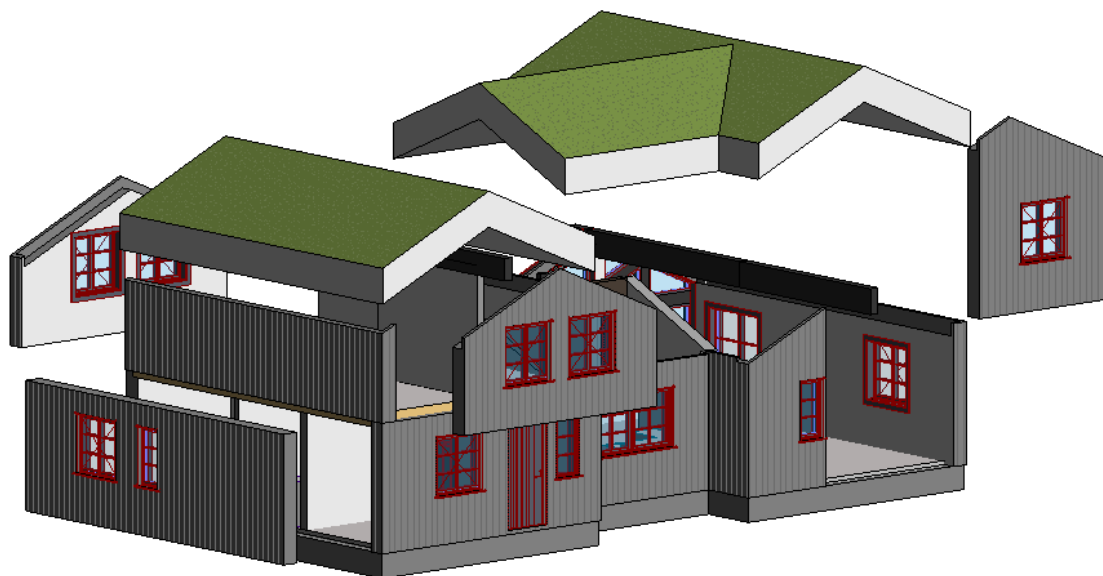
Intervjuene er basert på få deltakere og utgjør dermed ikke et representativt utvalg. Det innebærer at funnene ikke kan generaliseres til fagmiljøet i byggebransjen for øvrig. Deltakerne er dessuten rekruttert utfra et beleilighetsutvalg noe som kan føre til skjevheter, siden utvalget ikke er tilfeldig rekruttert. Det kan for eksempel foreligge begrensninger knyttet til utvalgets kompetanse og erfaringsnivå, slik som manglende erfaring på spesifikke kunnskapsområder, for eksempel klimapåvirkning og HMS.

3 Litteraturstudium

I denne delen av oppgaven skal tidligere forskning om prefabrikasjon (hovedsakelig ved bruk av trevirke som materiale) presenteres. Først vil det gis en generell beskrivelse av prefabrikasjon utfra eksisterende litteratur, i tillegg til fordeler og ulemper ved bruk av prefabrikkerte løsninger utfra en rekke forhold, slik som effektivitet, kvalitet, logistikk, miljø og bærekraft. Deretter presenteres implementering av prefabrikkerte elementer av tre i byggeprosesser med særlig fokus på bygningsinformasjonsmodellering. Videre vil det gis en beskrivelse av trekonstruksjoner i Norge og trevirke som byggemateriale i prefabrikkerte elementer. Til slutt i denne delen gis en kort oppsummering av litteraturgjennomgangen.

3.1 Generelt om prefabrikasjon

Prefabrikasjon er en byggeproduksjonsprosess som finner sted i et spesialisert anlegg hvor ulike materialer kombineres for å lage en eller flere komponenter som behøves for å sette sammen én fullstendig installasjon (Sparksman, Groak, Gibb & Neale, 1999). Se figur 3-1 under for en illustrasjon av et elementbygg laget i Revit. Innen konstruksjonsfeltet anses prefabrikasjon som det første nivået av industrialisering, etterfulgt av mekanisering, automatisering, robotisering og reproduksjon (Richard, 2005).



Figur 3-1. Illustrasjon av et elementbygg. Figur laget i Revit.

Tidligere studier bruker en rekke ulike begreper og termer enten synonymt eller i assosiasjon med prefabrikkert konstruksjon, blant annet ekstern («off site») prefabrikasjon, ekstern konstruksjon (Pan, Gibb, & Dainty, 2008), industrialisert bygning (Jonsson & Rudberg, 2013, Meiling mfl., 2013), og moderne metoder av konstruksjon (Goodier & Gibb, 2007).

I følge Goodier & Gibb (2007) og Gibb (1999) kan prefabrikkert konstruksjon generelt sett deles inn i fire nivåer basert på grad av prefabrikasjon som er implementert på det ferdige produktet. Det første nivået er komponentproduksjon og delmontering gjennomført i anlegg/fabrikk som ikke vurderes for produksjon på konstruksjonsplass. Det andre nivået er ikke-volumetrisk ferdigmontering, det vil si ferdig monterte enheter som ikke inneholder brukbar plass (f.eks., takstoler i tømmer). Det tredje nivået henviser til volumetrisk ferdigmontering, altså ferdig monterte enheter som inneholder brukbar plass og som ofte blir produsert i anlegg/fabrikk, men som ikke er en del av bygningskroppen (f.eks., badrom). Det fjerde og siste nivået angår hele bygninger, altså ferdig monterte volumetriske enheter eller moduler som former strukturen og materiale på bygningen (f.eks., hotellrom).

3.1.1 Generelle fordeler og ulemper ved prefabrikasjon

Prefabrikkert konstruksjon som en moderne byggemetode erstatter i økende grad tradisjonell byggemetode og blir anerkjent som viktig for blant annet økt produktivitet og miljøvern (Li, Shen, & Xue, 2014). Denne anerkjennelsen kan hovedsakelig forklares utfra denne konstruksjonsmetodens overlegenhet knyttet til redusering av byggeavfall (Baldwin mfl., 2009, Tam mfl., 2006, Tam mfl., 2007), forbedret kvalitetskontroll (Jaillon & Poon, 2008), reduksjon av støy og støv (Pons & Wadel, 2011), forbedrede forhold for helse og sikkerhet (Lopez-Mesa mfl., 2009, Pons & Wadel, 2011), tid og kostnadsbesparelser (Chiang mfl., 2006, Gibb & Isack, 2003), redusert arbeidspress (Nadim & Goulding, 2010), og mindre tap av ressurser (Aye mfl., 2012, Won mfl., 2013).

Til tross for en rekke fordeler med prefabrikasjon, nevnes det flere utfordringer knyttet til implementeringen fra design og komponentproduksjon til lagring av komponenter, transportering og montering. Blant annet er det liten ressursutnyttelse ved at få gjenbraker prefabrikkerte bygninger ved slutten av livssyklusen deres (Jaillon & Poon, 2010). Videre er det problemer knyttet til utilstrekkelig lagringsplass og i å spore komponentene for utsendelse, som ofte fører til at de prefabrikkerte elementene ligger eksponert ute (Marasini, Dawood & Hobbs, 2001).

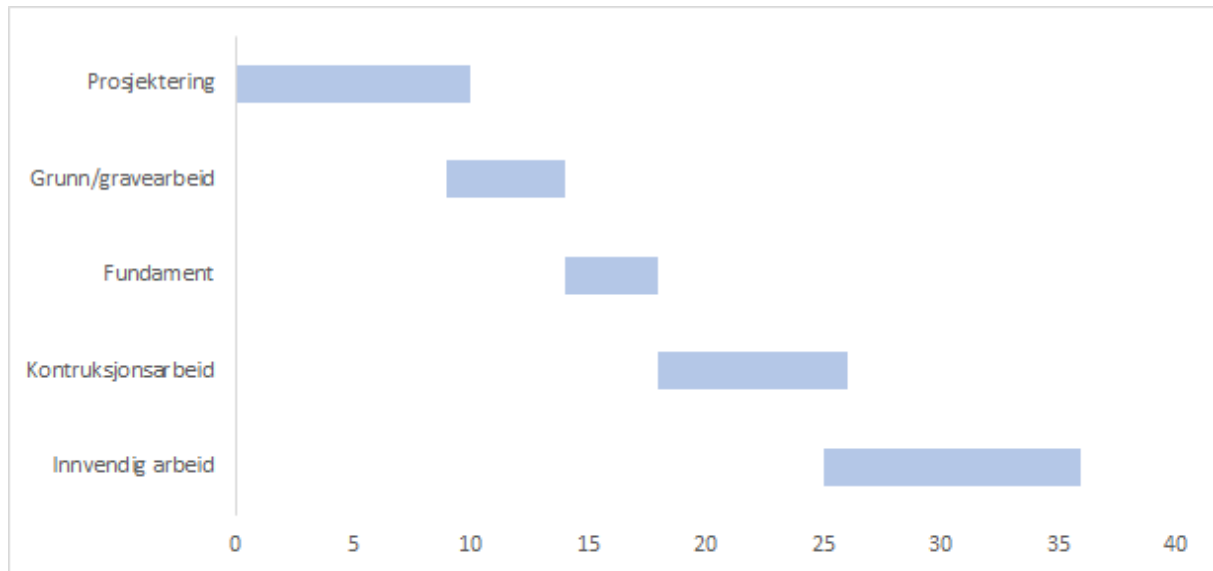
Sikkerhet er dessuten viktig å sette søkelys på under montering av prefabrikkerte elementer ettersom mange av disse typisk er klumpete og tunge og kan potensielt føre til personskader, i tillegg til skader på monteringen (Li mfl., 2011). Det at prefabrikkerte elementer gjerne er tunge og bulkete medfører også utfordringer med vertikal transport. For eksempel er vertikal transport av prefabrikkerte elementer mellom etasjer mer tidkrevende sammenlignet med samme prosess i tradisjonell konstruksjon (Tam, 2007). Opplæring i manøvrering av prefabrikkerte elementer er også nødvendig, da det krever maskinkunnskap og en rekke ferdigheter på byggeplassen og under produksjonsprosessen (Chiang mfl., 2006). Andre studier har dessuten identifisert relativt høye konstruksjons-kostnader som en betydelig ulempe ved prefabrikkert konstruksjon (Blismas & Wakefield, 2007, Pan mfl., 2008, Pan & Sidwell, 2011).

3.1.1.1 Effektivitet utfra tid og kostnad

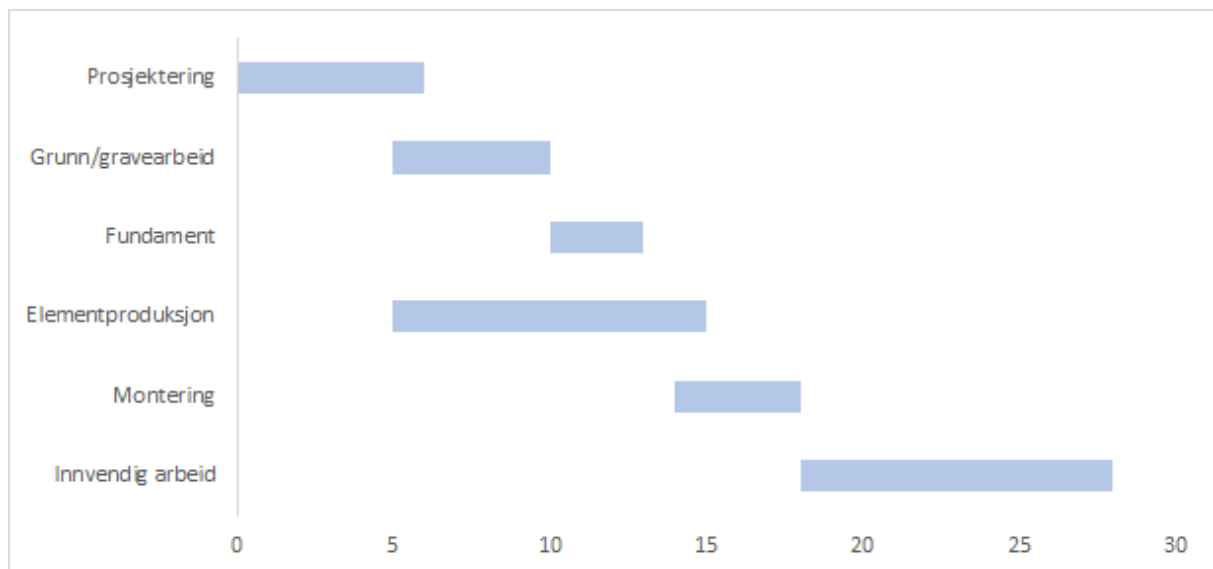
Det nevnes i en rekke kilder at tidseffektiviteten er den største fordelen når det gjelder bygninger oppført med prefabrikkerte elementer sammenliknet med plassbygde konstruksjoner. I moderne byggeprosjekter benyttes ofte Lean for å effektivisere byggeprosessen. Lean i byggebransjen (engelsk for slank/smidig) dreier seg om effektiv prosjektledelse og er en styringsmetode som går ut på å styrke den økonomiske lønnsomheten i byggevirksomheten. Videre handler Lean om effektiv og smidig prosess som fører til mindre sløsing av ressurser (NITO, 2020) Standardisering og industrialisering er en sentral del av Lean-prosessen for å skape bedre flyt, lønnsomhet, effektivitet og minimalisere sløsing av ressurser. Lean kan derfor knyttes opp mot prefabrikkerte bygningselementer som går ut på å standardisere løsninger som bidrar til å oppnå effekten av gjentakelser, masseproduksjon og økende kompetanse (Nakken, Lilleland-Olsen, Woldseth & Malm, 2015).

Tidsbesparelser i byggeprosjekter vil føre med seg en rekke positive effekter, som blant annet raskere avkastning, enklere å tilfredsstille kunder som vil gi en positiv effekt på salgsprosessen, og økonomiske besparelser grunnet mindre tidsbruk ute på byggeplassen (Malthus, 2020). En vesentlig faktor som bidrar til tidsbesparelsen ved bygninger oppført med prefabrikkerte elementer er det parallelle arbeidet som er mulig ved at produksjonen av elementene på fabrikk kan skje samtidig som tomten og grunnarbeidene klargjøres og ferdigstilles. Den totale byggetiden vil reduseres når flere prosesser utføres parallelt (Gibb, 1999). Dette fører også til færre prosesser på byggeplassen og bidrar til en kortere byggetid (Nakken et al., 2015).

Videre vil en parallellproduksjon føre til ytterligere tidsbesparelser grunnet mindre avfallshåndtering på byggeplassen da store deler av avfallet blir håndtert på fabrikk før eller samtidig som grunnarbeidene. Figurene under illustrerer fremdriften til en to-etasjes bygning for a) tradisjonell plassbygd metode (figur 3-2) og b) oppført med prefabrikkerte bygningselementer (figur 3-3), med verdier hentet fra (Gibb, 1999).



Figur 3-2. Fremdriftsplan for tradisjonell plassbygd metode. Verdier i graf er hentet fra Gibb (1999).



Figur 3-3. Fremdriftsplan for prefabrikkert metode. Verdier i graf er hentet fra Gibb (1999).

Ifølge SINTEF sin rapport om sammenligning mellom modulbygg og plassbygde bygg (Almås et al., 2014) kommer det frem at de økonomiske fordelene ved modulbygging sett opp mot tradisjonelle byggemetoder ikke utgjorde en vesentlig forskjell, men med god planlegging og benyttelse av seriøse aktører kan det allikevel oppnås en god økonomisk effekt. Ved optimale forhold med god og nøyaktig planlegging og prosjektering vil bygninger oppført med prefabrikkerte elementer ha potensiale til gode økonomiske besparelser, gjerne på mellom 10 og 20 prosent (Almås et al., 2014).

Under gir tabell 3-1 en oversikt over fem utvalgte norske firmaer som produserer prefabrikkerte bygningselementer av tre og som har teknisk godkjenning av SINTEF. Tabellen viser gjennomsnittlig driftsresultat i perioden 2017-2019. Driftsresultatene som kommer frem i tabellen kan tyde på at norske aktører som produserer og tilbyr prefabrikkerte bygninger av tre har god lønnsomhet.

Tabell 3-1. Oversikt over driftsresultat for 5 norske sertifiserte aktører etter SINTEF 2021 for prefabrikkerte bygningselementer av tre.

Firma	Tilbyr	Driftsresultat, gjennomsnitt fra 2017-2019¹
Moelven byggmodul AS	Prefabrikkerte treelementer	18 132 000 NOK
Hålogaland Element AS	Prefabrikkerte treelementer	17 600 NOK
Expandia Moduler AS	Prefabrikkerte husmoduler av tre	11 426 000 NOK
Djønne Modul AS	Husmoduler av tre	8 286 000 NOK
Konsmo Fabrikker AS	Prefabrikkerte husmoduler av tre	7 706 000 NOK

3.1.1.2 Kvalitet

Det er et pålagt krav om produktdokumentasjon som tilfredsstillers Dokumentasjonsforskriften (DOK) når det gjelder prefabrikkerte bygningselementer og moduler (SINTEF, 2016). Det skal derfor være mulig å dokumentere kvaliteten på produktet som er fremstilt på fabrikk. Når elementer og moduler skal kontrolleres og godkjennes stilles det krav til varme og fukttransport, materialbruk, energibruk, lydforhold og akustikk, bæreevne, brann og miljø.

¹ Hentet fra proff.no.

Prefabrikasjon som produksjonsmetode er tilrettelagt for høy kvalitet. Prefabrikasjon tar utgangspunkt i industrialisering og standardisering som begge er prosesser som har potensial for å øke kvalitet i byggeprosessen (Koskela, 1992). Dermed er det en rekke forhold ved bruk av prefabrikkerte bygningselementer av tre som kan ha en positiv påvirkning på kvalitet. For eksempel holder elementene høy kvalitet ettersom de produseres på fabrikk under kontrollerte forhold og kvalitetssjekkes under produksjon (Gibb, 1999; Tam et al., 2007). Produksjon på fabrikk gir dessuten mulighet for inspeksjoner underveis og eventuell identifisering av feil og mangler og påfølgende forbedring av disse.

Produksjonen på fabrikk sikrer høy produksjonskvalitet gjennom hele året da produksjonen skjer inne og dermed slipper ytre påvirkning, slik som værforhold (Knaack et al., 2012). Videre er bygninger med prefabrikkerte elementer mindre værutsatt ettersom det tar relativt kort tid å oppføre disse ute på plassen. Sammenlignet med materialer som bygges på plassen, er dermed prefabrikkerte elementer som produseres på fabrikk mindre utsatt for vær- og vindforhold, noe som kan gi økt kvalitet ved materialene (Johnsson & Meiling, 2009).

Til tross for de overnevnte forholdene som kan sikre økt kvalitet ved bruk av prefabrikasjon, finnes det også flere forhold som kan ha en negativ påvirkning på kvaliteten. Dette gjelder i hovedsak transport, lagring og montering på byggeplass. Transport av bygningselementene fra fabrikk til byggeplassen kan medføre risiko for fuktpåvirkning, eller skader som følge av uforsiktighet ved kjøring eller oppstilling av elementene i kjøretøy. Midlertidig lagring i tiden mellom elementene har ankommet byggeplass og skal monteres kan også medføre risiko for fuktskader. Lite gunstig og manglende kompetanse knyttet til håndtering av elementene ved montering på byggeplassen kan også føre til skader. Treverket kan stå ubeskyttet for fukt på byggeplassen før og under montering av bygningene slik at de kan bli utsatt for regn over perioder.

Fuktskader kan by på fremtidige kostnader og ekstra arbeid, og det er derfor viktig at treverket ikke inneholder for mye fukt når det bygges inn. Det absolutte fuktinnholdet (vektprosent vann) i trevirke bør kontrolleres før montering og innbygging av materialene. Uttørking av materialer kan også være svært tidkrevende og kan derfor by på store kostnader knyttet til dette (SINTEF Byggforsk, 2003). Det er en rekke faktorer som bestemmer tørketiden, som blant annet hvor fuktige materialene er før uttørkingsprosessen starter. Dimensjonen på treverket som skal tørke spiller også en vesentlig rolle på tørketiden, samt

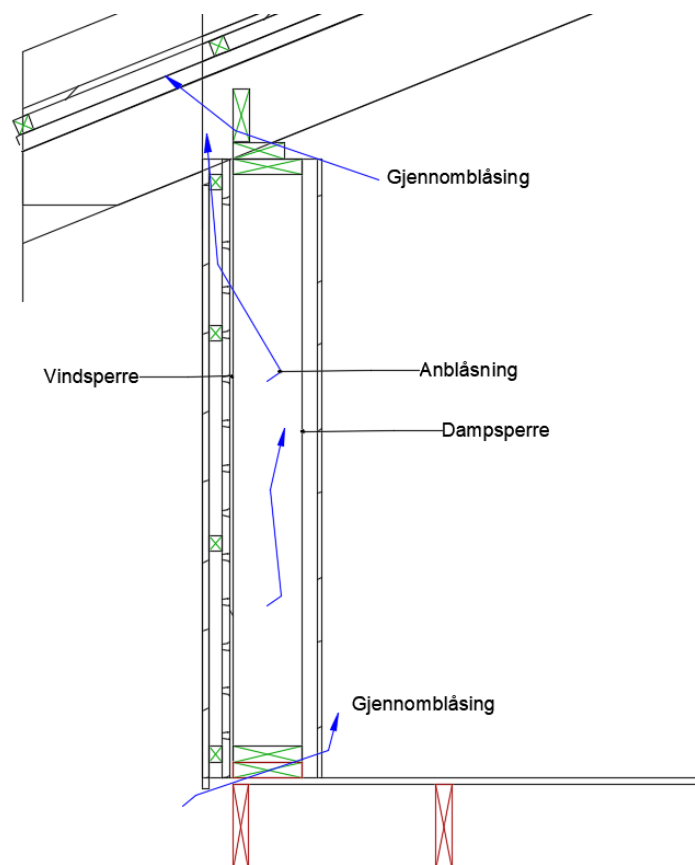
tørkeforholdene (Byggdetaljer 474.533). Tabell 87 i Byggdetaljer 474.533 beskriver at kritisk fuktinnhold ved innbygging og montering av konstruksjonsvirke som stendere, sviller og bjelker har en grenseverdi (vektprosent) på 20 (SINTEF Byggforsk, 2021). Med vektprosent menes vekten av vannet som prosenten av egenvekten på materialet i tørr tilstand. Det beskrives at vegger og tak som er høyisolerte har en betydelig lengre tørketid enn andre bygningsdeler, og det anbefales derfor strengere krav enn 20%. Det er derfor viktig å gjennomføre kvalitetssjekk av prefabrikkerte elementer knyttet til fuktinnhold og lufttetthet.

Luftlekkasje/lufttettheten til byggene kan også by på ekstra arbeid dersom byggene ikke er tette nok, som igjen kan føre til ekstra tiltak i forbindelse med dette. Bygninger med høyt luftlekkasjetall er lite energieffektive og det stilles derfor strenge krav til lufttettheten til dagens bygg. TEK17 § 14-2. "Krav til energieffektivitet, energitiltak" for småhus beskriver at kravet til luftlekkasjetall per time ved 50 pascal trykkforskjell kan være mindre enn eller lik 0,6 luftskiftninger. TEK17 § 14-3. "Minimumskrav til energieffektivitet" tillater 1,5 (ved omfordeling) luftskiftninger per time ved 50 pascal trykkforskjell.

I bygninger kan luftlekkasjer deles inn i følgende to hovedtyper: anblåsning og gjennomblåsning (se figur 3-4 for illustrasjon av de to typene).

Anblåsning innebærer luftstrømninger som trenger igjennom utette sjikt i de prefabrikkerte bygningselementene og overgangene og strømmer videre ut igjennom andre utette sjikt.

Gjennomblåsning innebærer luft som trenger igjennom veggen og overgangene.



Figur 3-4. Tegning av gjennomblåsning og anblåsning. Tegnet etter figur i Byggforskserien 573.121. Tegning laget i AutoCAD

3.1.1.3 Lagring, logistikk og koordinering

Bygninger oppført med prefabrikkerte bygningselementer vil føre til et redusert antall fagarbeidere på byggeplassen, som videre vil føre til en mindre avansert koordineringsplan ute i felt (Gibb, 1999). Standardisering og automatisering på fabrikk krever mindre menneskelige ressurser og oppfølging, men krever heller mer ressurser til logistikken knyttet til levering av elementer på byggeplassen.



Figur 3-5. Bilde av kranbil med prefabrikkerte elementer av tre. Privat foto.

Logistikken på fabrikk som produserer elementene blir håndtert av ledelsen på fabrikk og har ikke innvirkning på logistikken på byggeplassen.

Prosjekter som benytter moduler eller prefabrikkerte elementer krever en god og detaljert logistikk når det gjelder transport, planlegging og lagring av elementer på byggeplassen for å oppnå tilfredsstillende lønnsomhet og effektivitet (Berg, 2008). Selv om koordineringsplanen blir forenklet ved bruk av prefabrikkerte elementer vil det ofte bli behov for økt krankapasitet og et potensielt behov for mellomlagring av elementene (Gibb & Neale, 1997). Den største utfordringen knyttet til logistikken på byggeplassen ved bruk av prefabrikasjon vil ofte være håndtering og koordinering av leverandører. Det er spesielt viktig at dette blir planlagt og håndtert på en god måte da for sene leveranser av prefabrikkerte elementer kan føre til store forsinkelser. Det er en fordel at lastebilene/båtene som frakter elementene fra fabrikk til byggeplass blir lastet på en mest mulig effektiv måte for å redusere kostnader, tid og klimautslipp. Se figur 3-5 for et bilde av kranbil lastet med prefabrikkerte elementer.

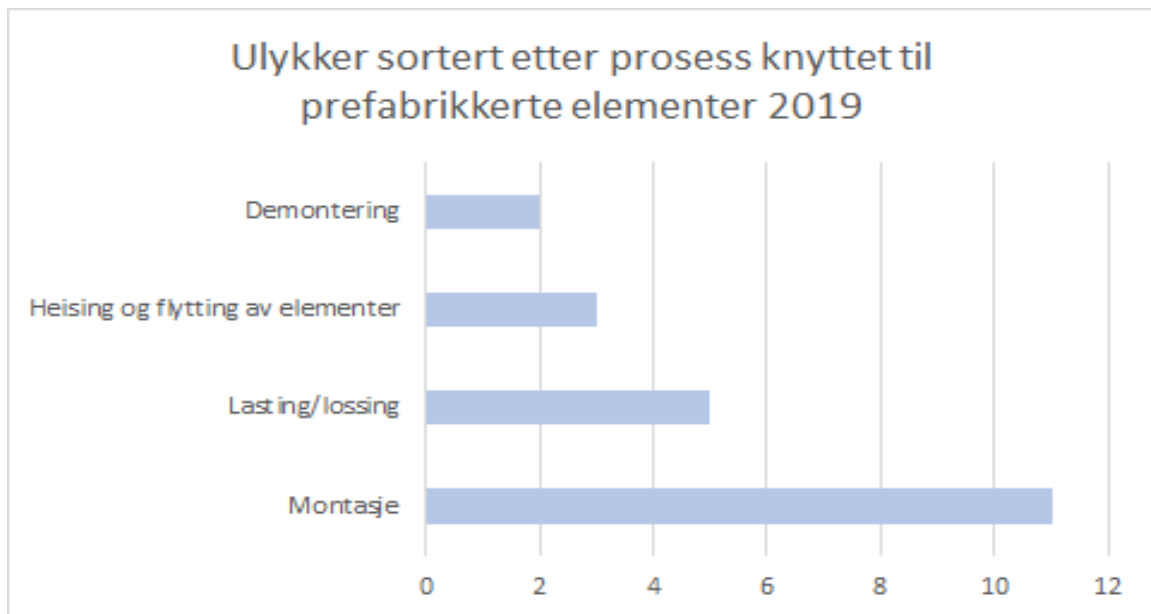
3.1.1.4 Sikkerhet

Helse, miljø og sikkerhet (HMS) er en viktig og sentral del av bygge- og anleggsbransjen, som er en av de næringene med høyest antall registrerte arbeidsulykker og dødsfall. Ifølge en rapport fra Arbeidstilsynet kan dette ofte skyldes store og komplekse prosjekter med mange forskjellige aktører som kan føre til utfordringer knyttet til økonomi, fremdrift og sikkerhet (Mostue et al., 2020). En annen faktor som øker utfordringene knyttet til sikkerheten på

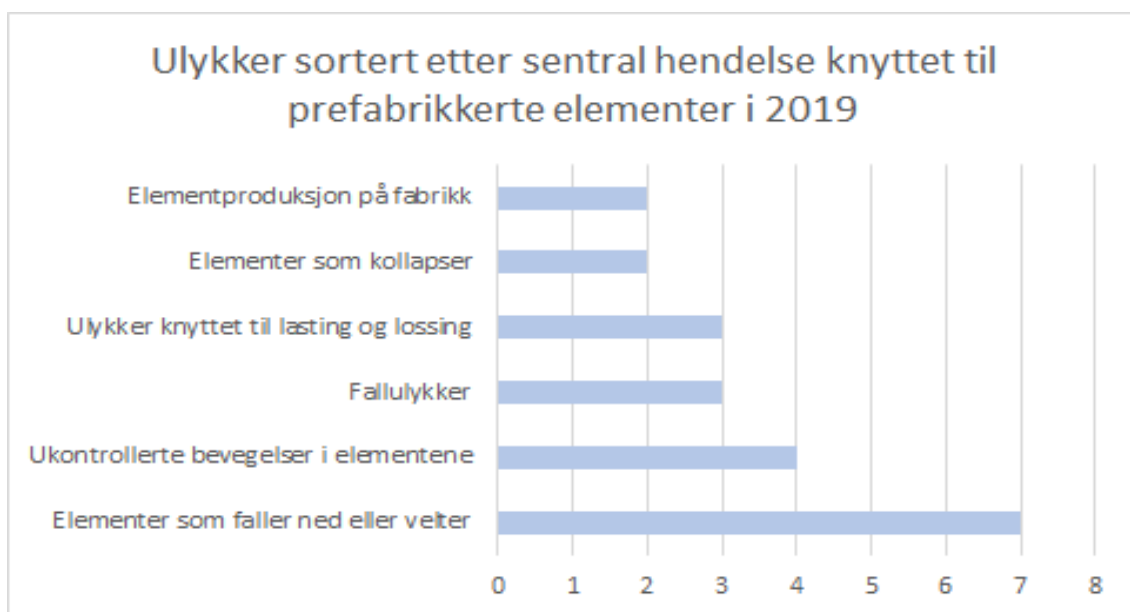
byggeplassen er at det ofte er en midlertidig arbeidsplass som gjør det vanskeligere å forebygge ulykker.

I sin rapport beskriver Arbeidstilsynet (Mostue et al., 2020) også at det er viktig med forebyggende tiltak og at alle aktuelle aktører må ta ansvar for å sikre et trygt arbeidsmiljø på byggeplassen. Prosjekter som benytter prefabrikasjon medfører redusert byggetid, arbeidsmengden og antall arbeidere på byggeplassen som igjen kan føre til mindre risiko knyttet til arbeidsulykker. Store deler av arbeidet blir flyttet til fabrikk under mer kontrollerte forhold som bidrar til å enklere innfri HMS-kravene. Fabrikken er heller ikke værutsatt, og det er mer kjente arbeidsforhold på en fabrikk sett opp mot en byggeplass som varierer fra prosjekt til prosjekt. Implementering av prefabrikkerte bygningselementer kan også være med på å opprettholde en ryddig og oversiktlig arbeidsplass, som kan bidra til å redusere risikoen for arbeidsulykker. (Blismas & Wakefield, 2007; Gibb, 2001). Faste rutiner gir også en større trygghet for håndverkere på fabrikken.

En rapport fra arbeidstilsynet viser en analyse av arbeidsulykker knyttet til prefabrikkerte elementer i løpet av 2019. Her ble det registrert 21 ulykker inkludert 4 dødsfall i situasjoner med bruk av prefabrikkerte elementer, hvor over halvparten av ulykkene skjedde under monteringen av elementene på byggeplassen (se figur 3-6), og 2 ulykker knyttet til elementproduksjonen på fabrikk (se figur 3-7). Det trekkes frem at det ofte er ulykker knyttet til elementer som faller ned, kollapser eller velter. Det nevnes også uheldige situasjoner med elementer som kommer ut av kontroll og fallulykker. I rapporten hevdes det at ulykkene vanligvis oppstår ved avvik fra det planlagte arbeidet.



Figur 3-6. Oversikt over arbeidsulykker i 2019 knyttet til prefabrikkerte elementer sortert etter prosess. Tall hentet fra Mostue et al (2020).



Figur 3-7. Oversikt over arbeidsulykker i 2019 knyttet til prefabrikkerte elementer sortert etter hendelse. Tall hentet fra Mostue et al (2020).

3.1.1.5 FN's bærekraftsmål og klimapåvirkning

FNs bærekraftsmål er en global felles arbeidsplan for å eliminere fattigdom, redusere ulikheter, og for å begrense klimapåvirkninger innen 2030 (FN, 2021). Planen består av 17 hovedmål som igjen består av 169 delmål (se figur 3-8). Knyttet til bygg- og anleggsbransjen er det flere hovedmål som er relevante å ta stilling til. Tre særlig sentrale hovedmål er nummer 8 (anstendig arbeid og økonomisk vekst), 9 (industri, innovasjon og infrastruktur) og 12 (ansvarlig forbruk og produksjon). Til sammen skal disse målene bidra til å forbedre bærekraftig økonomisk vekst, sysselsetting og industrialisering, promotere rettferdig arbeid, samt tilrettelegge for bærekraftig forbruk- og produksjon.

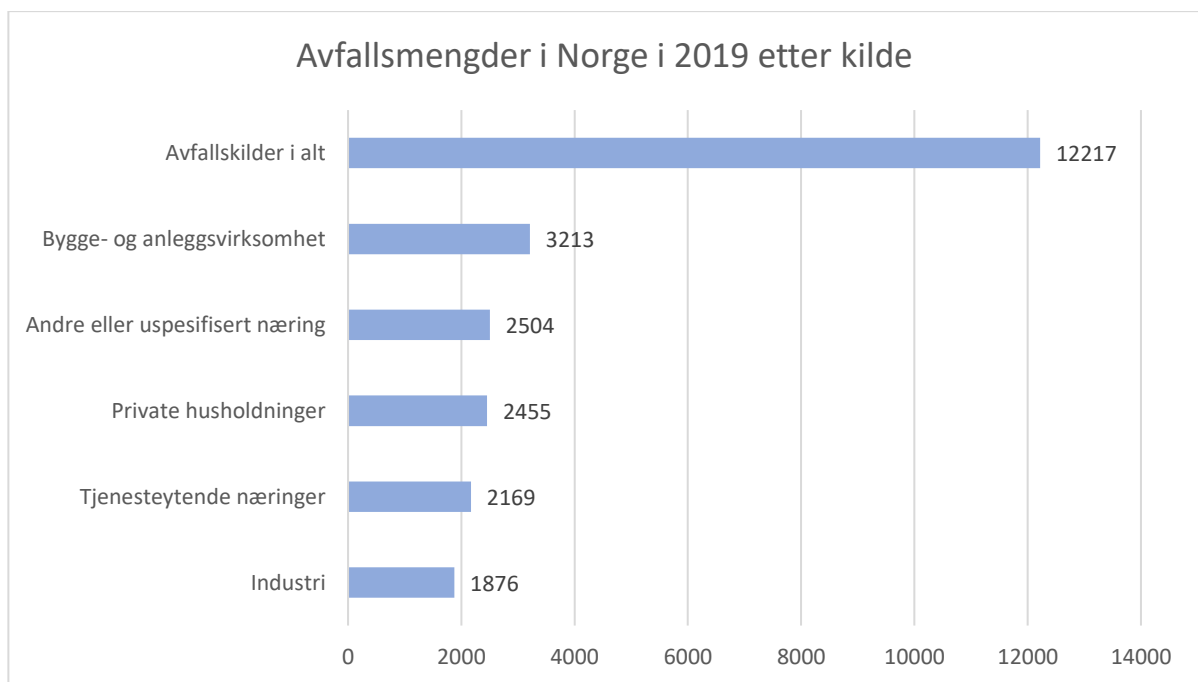


Figur 3-8. FN's bærekraftsmål (FN, 2021).

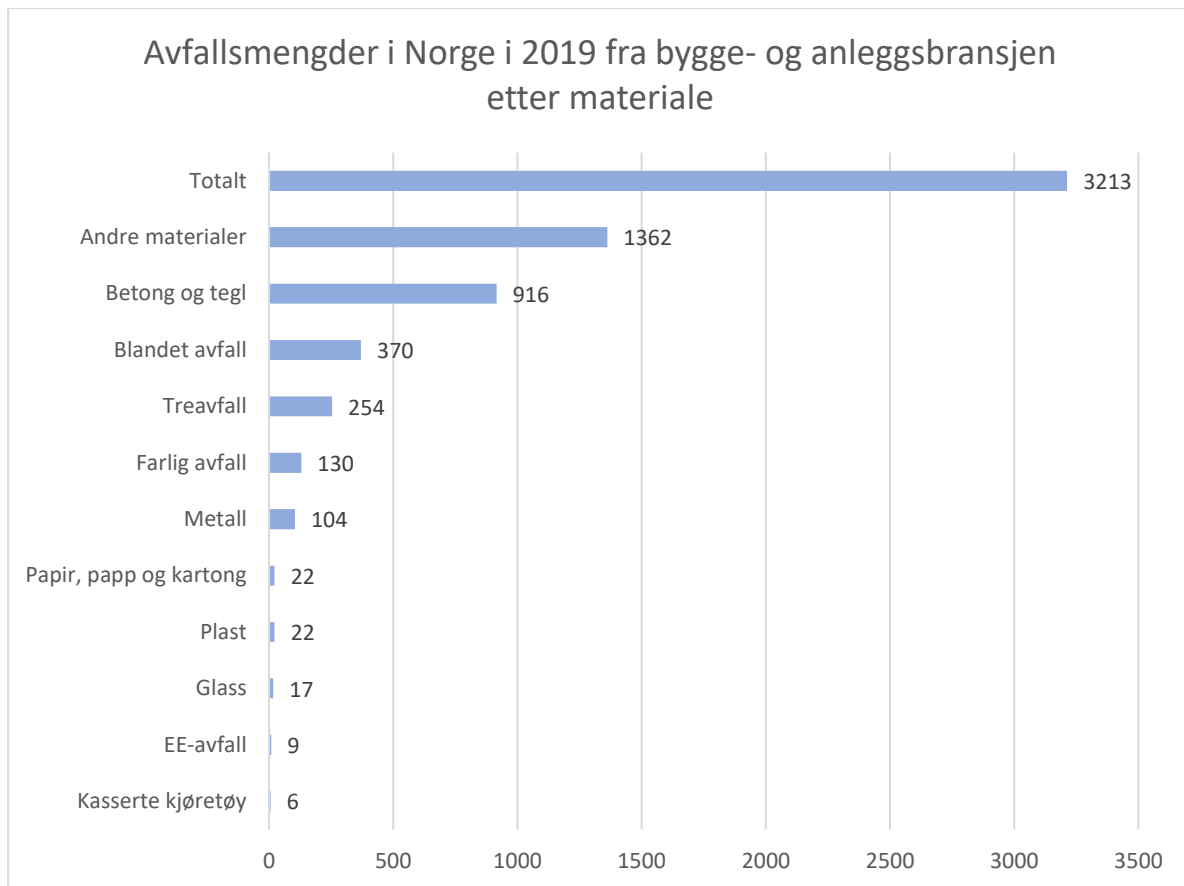
Mål 9 i FN's bærekraftsplan kan knyttes opp mot en industrialisert og effektivisert produksjon av bygningskomponenter, som kan bidra til å redusere det totale CO₂-utslippet ved å optimalisere og systematisere gjennomføring- og planleggingsprosessen (Berg, 2008). Ved bruk av prefabrikkerte bygningselementer av tre vil det enklere la seg gjøre å kontrollere mengden med trevirke som kreves for å oppføre trekonstruksjonen under kontrollerte forhold på en fabrikk. Ved produksjon av prefabrikkerte elementer av tre på fabrikk vil det være enklere å oppnå god resirkulering av materialene. Ved oppføring av plassbygde konstruksjoner vil deler og rester av konstruksjonen ende opp som avfall da det tas utgangspunkt i 10% svinn ved oppføring av plassbygde trekonstruksjoner (Holte SmartKalk, 2020).

Når det gjelder bærekraftig og ansvarlig forbruk og produksjon kan det være hensiktsmessig å ta for seg avfall på byggeplassen som kan utgjøre en belastning for klima og miljø.

Avfallsregnskap for Norge viser at avfallet fra bygg- og anleggsvirksomheten står for 26% av den totale avfallsmengden, noe som tilsvarer omtrent 3,2 millioner tonn avfall i 2019, og har hatt en vekst på 14% fra 2018 (Statistisk Sentralbyrå, 2021). Figur 3-9 og 3-10 viser avfallsregnskapet i Norge sortert etter kilde og materiale. Statistikken over avfallskildene fra bygg- og anleggsvirksomhet viser at avfall fra tre utgjør 7,9% av den totale avfallsmengden fra byggenæringen.



Figur 3-9. Avfallsmengder for Norge i 2019 etter kilde. Oppgitt i 1000 tonn. Tall hentet fra Statistisk Sentralbyrå (2021).



Figur 3-10. Avfallsmengder for Norge i 2019 fra bygge- og anleggsindustrien sortert etter materiale. Oppgitt i 1000 tonn. Tall hentet fra Statistisk Sentralbyrå.

Ved oppføring av bygninger med prefabrikkerte elementer må fabrikken som produserer elementene først få tilsendt materialer til produksjonen av elementene. Deretter fraktes de ferdig produserte elementene til byggeplassen for montering, noe som gjør at den totale varigheten for transport øker, som igjen øker CO₂-utslippet knyttet til transport. Det er dessuten begrensninger på hvor effektivt kjøretøyene kan lastes med elementer (Wong & Tang, 2012). Likevel krever bygninger oppført med prefabrikkerte elementer færre arbeidere på byggeplassen som ofte ligger avsides til, som vil lede til mindre transport knyttet til reise til og fra arbeidsplass som ligger langt unna hjemstedet til arbeiderene. Dersom avstanden fra fabrikken til fabrikkarbeiderne er relativt kort, vil det ha en innvirkning på det totale CO₂-utslippet (Gibb, 1999).

3.2 Implementering av prefabrikkerte elementer av tre

For å kunne sammenligne effektiviteten av trekonstruksjoner oppført med prefabrikkerte elementer med plassbygde trekonstruksjoner, er det viktig å se på planleggingsprosessen da dette er en viktig prosess som i stor grad påvirker effektiviteten av prefabrikkering. Allerede fra skissestadiet i prosjekteringen er det viktig med detaljert og skreddersydd planlegging, for å kunne fullt ut utnytte fordelene ved prefabrikasjon (Meland, 2000; Gibb, 1999). Ved bruk av prefabrikasjon er det nødvendig med effektiv kommunikasjon mellom de involverte aktørene i byggeprosessen (slik som arkitekter, entreprenører, prosjekteringsledere, og produsenter). Videre stilles det særskilte krav til hvilke programvarer som kan brukes i planlegging- og prosjektering av prefabrikkerte elementer, som for eksempel at de må være i stand til å utføre kompleks planlegging og sofistikert modellering av ulike konstruksjoner. Et eksempel på en slik programvare er BIM som er blant de mest brukte verktøyene innen planleggingen av byggeprosjekter.

3.2.1 BIM for prefabrikkerte elementer

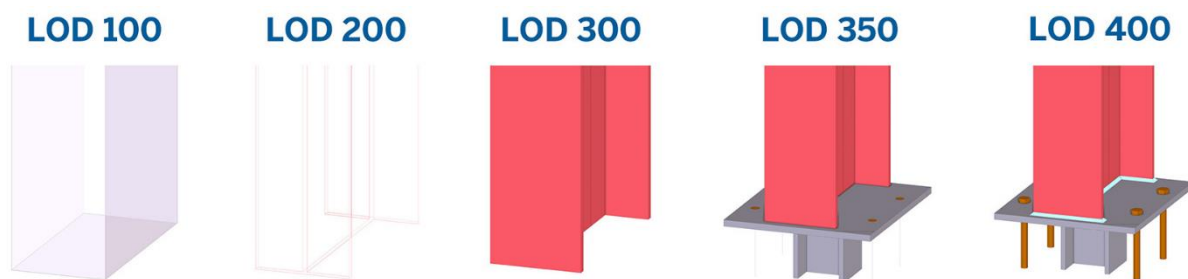
Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er i hovedsak en 3D-modell med informasjon om det som skal bygges. I likhet med prefabrikasjon så bidrar BIM til effektivisering av byggeprosessen. BIM er særlig ansett som en spesielt viktig ressurs som kan bidra til forbedret planlegging, gjennomføring og prosjektering av bygninger og andre konstruksjoner (Eastman et al., 2009). En god og detaljert BIM-modell er et nyttig hjelpemiddel for alle typer byggeprosjekter, men er særlig nyttig når det kommer til prefabrikkerte bygningselementer da god og nøyaktig planlegging er essensielt når elementer skal lages på fabrikk. Et feilprodusert element kan by på store forsinkelser, kostnader samt redusert kvalitet på sluttproduktet.

BIM brukes hovedsakelig til å designe og dokumentere konstruksjoner, inkludert utforming og modellering av planløsning og infrastruktur, men kan også brukes til å estimere kostnader. Likevel er ikke BIM begrenset til planlegging og prosjektering av bygninger, men kan også brukes til en rekke andre formål, og er et spesielt godt hjelpemiddel når det kommer til informasjon (Eastman et al., 2009). I tillegg til å være en *programvare* som bygningsinformasjonsmodell, er BIM også en *prosess* gjennom bygningsinformasjonsmodellering. BIM som prosess innebærer at alle aspekter, disipliner, og systemer kan samles innenfor én digital bygningsmodell. Dette muliggjør et mer effektivt og

grundig samarbeid mellom alle partnere i byggeprosjektet sammenlignet med tradisjonelle prosesser (Azhar, 2011). Introduksjonen av BIM til fordel for tradisjonelle prosesser har medført en rekke fordeler for byggebransjen, slik som forbedret koordinering mellom de ulike prosjektmedlemmene, økt produktivitet, arbeidsmiljø og samhold i prosjektteamet (Azhar, 2011).

Det er en rekke fordeler ved bruk av BIM-verktøy. Primært kan en god BIM-modell gi en svært nøyaktig geometrisk fremstilling av bygningsstrukturen og alle andre bygningskomponenter. Denne modellen knyttes til en database med informasjon om byggeprosjektet, blant annet relatert til mål, dimensjoner og kvaliteter ved ulike komponenter i bygningen (Berg, 2008). Det er også andre fordeler ved bruk av BIM som prosess. Prosessen gir blant annet fordeler ved arbeid og beslutninger i tidlig fase av byggeprosessen, økt effektivitet på grunn av enkel distribusjon av informasjon til alle involverte aktører, samt bedre kontroll over livsløpskostnader og fremdriftsplaner (Azhar, 2011; Berg, 2008).

Dessuten kan BIM som prosess gi forbedret utføring og byggekvalitet gjennom verktøy som kollisjonsanalyse og simuleringer som fort og raskt kan identifisere feil og mangler. Dette vil igjen medføre ideelle løsninger og redusere risiko for omarbeid. Mest sentralt for denne oppgaven er likevel som nevnt at BIM gir økt kvalitet i produksjonsleddet, blant annet siden BIM tas i bruk i automatiserte prosesser og prefabrikkering (Berg, 2008). For at prefabrikerte konstruksjoner skal kunne utnytte de nevnte fordelene ved BIM bør de være basert på en detaljert og presis prosjektering med høyt detaljnivå etter LOD/«Level of Development» (Nawari, 2012). Figur 3-11 under gir en oversikt over de forskjellige detaljnivåene fra LOD100 til LOD400.



Figur 3-11. Oversikt over de fem ulike detaljnivåene etter LOD. Hentet fra Tekla: <https://www.tekla.com/image/lod100-400-1800pxjpg>.

BIM anvender typisk fem forskjellige detaljnivåer fra 100 til 400 som øker i takt med grad av informasjon:

- **LOD100 - konseptuell modell:** Bygningen er grafisk representert som et symbol eller lignende, men tilfredsstillende ikke detaljnivå på LOD200.
- **LOD200 - tilnærmet geometrisk modell:** Bygningen er grafisk representert som et generisk system eller objekt med omtrentlige størrelser, former, plasseringer og orienteringer.
- **LOD300 - presis geometrisk modell:** Bygningen er grafisk representert som et spesifikt system eller objekt etter faktiske størrelser, former, plasseringer og orienteringer.
- **LOD350 - fastsatt geometrisk modell:** Bygningen er grafisk representert som et spesifikt system eller objekt etter faktiske størrelser, former, plasseringer og orienteringer og grensesnitt med andre bygningssystemer.
- **LOD400 - faktisk fabrikasjon:** Bygningen er grafisk representert som et spesifikt system eller objekt etter faktiske størrelser, former, plasseringer og orienteringer med detaljering, fabrikasjon, montering og informasjon om installering.

For prefabrikasjon er det viktig med et relativt høyt detaljnivå, fra LOD300 til LOD400. Det er likevel viktig å nevne at ingen hel modell i BIM bruker kun ett LOD- nivå, men bruker heller en kombinasjon av ulike elementer med forskjellige detaljnivåer. Det er hensiktsmessig at BIM-modelleringen er så detaljert som mulig (dvs., mellom LOD300 og LOD400) når prefabrikkerte komponenter skal bestilles for å redusere risiko for feilbestilling. Derfor er det fordelaktig å iverksette et høyt detaljnivå i tidlig fase ved prosjektering for å gi et best mulig grunnlag for bestilling av prefabrikkerte elementer.

3.3 Trekonstruksjoner i Norge og tre som byggemateriale

Norge har god tilgang til tre som råvare og er et av de mest populære byggematerialene i Norge (Edwardsen et al., 2010). Det er en rekke fordeler ved bruk av tre som byggemateriale. Tre er et svært fleksibelt og anvendelig materiale som kan utformes til bruk i flere ulike fasader, bygningsdeler og planløsninger. Tre har stort potensiale som byggemateriale hovedsakelig fordi det har lav egenvekt men samtidig er sterkt, miljøvennlig og kan brukes til produksjon av prefabrikkerte bygningselementer (Wimmers, 2017). Prefabrikkerte

bygningselementer av tre gir kortere byggetid da det går fort å montere disse på byggeplassen. Tre som byggemateriale kan også bidra til et balansert inneklima ved å redusere fuktproblemer da tre både tar til seg og avgir vanndamp og fukt.

Tre er dessuten et relativt lett byggemateriale som kan medføre lavere kostnader knyttet til fundamentering sammenlignet med for eksempel betong som vil kreve mye sterkere fundament. Som byggemateriale har tre relativt lav miljøpåvirkning sammenlignet med andre typiske byggematerialer. Det lagrer for eksempel CO₂ nivåer og bidrar dermed til å nøytralisere dem, og prefabrikkerte elementer i tre er lettere å gjenbruke i andre byggeprosjekter. Når tre brukes som konstruksjonsmateriale kan det dessuten bidra til et godt arbeidsmiljø ved at tre reduserer støy på byggeplassen. Støy reduseres blant annet fordi bruk av verktøy som slagbormaskiner og hammere blir overflødig. I tillegg blir tremateriale gjerne levert som prefabrikkerte elementer hvor all uthulling og utsparing allerede er gjennomført på fabrikk.

Det er likevel flere ulemper med tre som byggemateriale, som primært oppstår dersom det utsettes for fukt. Tre har for eksempel høy risiko for å råtne og endrer dimensjoner hvis det kommer i kontakt med fukt, spesielt over lengre tid. Dessuten er tre et materiale med høyere brannfare enn for eksempel betong og stål (Edwardsen et al., 2010).

3.3.1 Prefabrikkerte elementer av tre

Prefabrikkerte bygningselementer av tre produseres under kontrollerte forhold på fabrikk, og det er vanlig med produksjon av takelementer, etasjeskiller og vegger (Ålmås et al., 2014). Figurene under viser et takelement av tre (figur 3-12), et veggelement av tre (figur 3-13), og et gulvelement/etasjeskille av tre (figur 3-14).



Figur 3-12. Takelement av tre. Bilde hentet fra <https://www.optimera.no/nyheter/nyhetsarkiv/fremtidens-byggemetode/>.

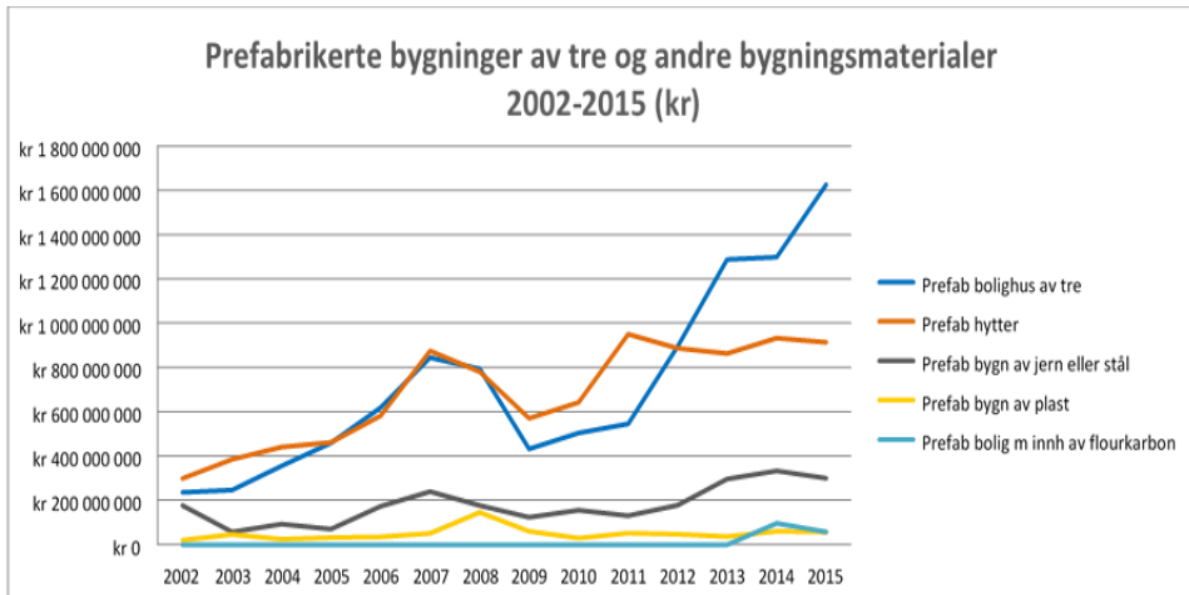


Figur 3-13. Veggelement av tre. Bilde hentet fra <https://www.optimera.no/nyheter/nyhetsarkiv/fremtidens-byggemetode/>.



Figur 3-14. Gulvelement/etasjeskille av tre. Bilde hentet fra <https://www.produktfakta.no/lattelement-ab/lattelement-bjelkelag/produkt.html>.

I grafen under i figur 3-15 er det vist en utvikling av prefabrikkerte bygningselementer som er importert til Norge i tidsperioden 2002-2015. Grafen viser at det har vært en særlig økning av prefabrikkerte boliger av tre.



Figur 3-15. Utviklingen av prefabrikkerte bygninger av tre i Norge fra 2002-2015. Graf hentet fra Tomassen, Leszcynski & Elnan (2014).

Elementene blir fraktet til byggeplassen som komplette eller delvis komplette elementer. Prefabrikkerte bindingsverksvegger kommer ofte med vinduer og utvendig kledning, men også som komplette veggelementer med innvendig kledning. Kompletteringsgraden av elementene av tre varierer og bestemmes ofte av leverandøren og arkitektens behov og preferanser (Edwardsen et al., 2010). Dimensjonene på elementene er også varierende, men tilpasses ofte etter transporten, forholdene på byggeplassen og utformingen på konstruksjonen som skal oppføres. Både prinsippene for konstruksjon, løsninger og oppbyggingen av elementer er stort sett de samme for både prefabrikkerte og plassbygde bygninger (Edwardsen et al., 2010). Det kan være noen små forskjeller, som for eksempel dobbel bunnsvill (styresvill) på prefabrikkerte bygninger.

3.4 Oppsummering av tidligere forskning på prefabrikasjon

Litteraturgjennomgangen har presentert tidligere forskning som trekker frem en rekke fordeler og ulemper ved bruk av prefabrikasjon. Tradisjonell plassbygd byggemetode erstattes i økende grad av prefabrikasjon, hovedsakelig grunnet sistnevntes potensialet til økt produktivitet, industrialisering og mulighet for redusert klimapåvirkning. Likevel kan prefabrikasjon by på utfordringer relatert til produksjon, lagring, frakt og oppføring av de prefabrikkerte bygningselementene. Under gunstige forhold kan prefabrikasjon, sett opp mot plassbygd metode, være overlegen når det gjelder tidseffektivitet, og kan også gi muligheter for kostnadsbesparelser.

Det stilles høye krav til kvalitet ved produksjon av prefabrikkerte bygningselementer, men kvaliteten på elementene – og særlig av tre – er særlig utsatt under frakt og lagring. Prefabrikasjon som byggemetode krever mindre koordinering og menneskelige ressurser ute i felt enn plassbygd metode, men behøver i stedet mer detaljer og planlegging knyttet til logistikk. Når det gjelder helse, miljø og sikkerhet kan prefabrikasjon gi gunstige forhold ettersom byggemetoden krever kortere byggetid, mindre arbeidskraft på byggeplassen, og gir kontrollerte fabrikkforhold. Prefabrikasjon kan videre bidra til å oppnå FNs bærekraftsmål, spesielt knyttet til bærekraftig produksjon og industrialisering. Ved bruk av prefabrikkerte elementer er det sentralt med nøye og detaljrik planlegging og prosjektering. Dette kan for eksempel oppnås gjennom bygningsinformasjonsmodellering (BIM), som er et moderne og nyttig verktøy i planleggingsprosessen. Denne oppgaven benytter også BIM i casestudien som verktøy.

4 Resultater

4.1 Resultater fra case

Et sammendrag av resultatene fra casen er presentert i delkapittel 4.1.3 (prefabrikasjon) og 4.1.4 (plassbygd). Resultatene viser forskjeller og likheter mellom de to byggemetodene knyttet til tid og kostnad for oppføring av et leilighetskompleks av tre. I begge situasjonene er det tatt utgangspunkt i så likt grunnlag som mulig (se tabell 4-1 under), da oppgaven kun tar for seg sammenligning mellom de to ulike byggemetodene og ikke forskjeller mellom ulike byggefirmaer, materialleverandører, lønn etc. Det er derfor benyttet standard timekost på 400 kr (hentet fra Holte SmartKalk, 2020) i begge kalkylene (se vedlegg E). I tillegg er kostnader for materialer, grunn, fundamenter, og hulldekker også like for begge situasjonene. Stillaser, containere, samt håndtering og deponering av søppel er ikke inkludert i kalkylene da Holte SmartKalk ikke har erfaringsbaserte data knyttet til dette i kalkulasjonen.

Tabell 4-1. Oversikt over likheter og ulikheter mellom kalkylene for plassbygd og prefabrikkert metode.

Felles for kalkylene	Forskjeller ved kalkylene
Det er benyttet lik materialkost for plassbygd og prefabrikkert bygning.	Timeforbruket på byggeplassen.
Lønnen for arbeiderene på byggeplass er lik i begge kalkylene med en standard timekost på 400kr hentet fra Holte SmartKalk. Se vedlegg E.	Kostnader knyttet til fabrikkproduksjonen og frakt for prefabrikasjon inkludert avfallshåndtering på fabrikken.
Hulldekker og ringmurselementene med såleblokk er likt for både plassbygd og prefab da MWC ikke leverer dette selv, og det er ofte prefabrikkerte moduler for ringmurselementer og hulldekke i begge situasjonene.	Leie av kranbil/kran er ikke lik for plassbygd og prefabrikasjon
Alle mengder, arealer og volum er likt i begge kalkulasjonene da den samme 3d-modellen er blitt benyttet.	
Avfall og leie av container og stillas er ikke medregnet på plassen i begge situasjonene.	

4.1.1 Resultater fra kvalitetssjekk av prefabrikkert bygning

4.1.1.1 Resultater fra trykktest av prefabrikkert bygning

Resultatene fra trykktesten av de åtte fritidsboligene viser et gjennomsnittlig luftlekkasjetall på 0,64 luftskiftninger per time ved 50 pascal trykkdifferanse. Tabell 4-2 viser luftskiftninger per time for hver av de åtte bygningene. Se vedlegg D for utdrag av detaljert resultat for Bygg 3 (bygget med best resultat). Resultatene kan tyde på at MWC sine prefabrikkerte bygninger gir et godt og tilfredsstillende resultat med tanke på lufttetthet.

Tabell 4-2. Resultater fra trykktest.

Bygningsnr.	Bygg 1	Bygg 2	Bygg 3	Bygg 4	Bygg 5	Bygg 6	Bygg 7	Bygg 8
Luftskiftninger per time	0,67	0,59	0,31	0,86	0,63	0,67	0,9	0,45

4.1.1.2 Resultater fra fuktmåling av prefabrikkert bygning

Resultatene fra fuktmålingen av de åtte fritidsboligene viser et gjennomsnittlig fuktinnhold i vektprosent på 15,75 (bunnsvill) og 14,75 (stender). Tabell 4-3 viser individuelt fuktinnhold for bunnsvill og stender for hver av de åtte bygningene. Dette kan tyde på at MWC leverer tørre bygg som tilfredsstillende grenseverdien på 20 vektprosent og vil dermed redusere sannsynligheten for lang tørketid og kostnader knyttet til eventuelle fremtidige fuktskader. Det må likevel nevnes at dette kun er en indikasjon da vær og klimaforhold er varierende ut ifra årstid og lokasjon.

Tabell 4-3. Resultater fra fuktmåling.

Bygningsnr.	Bygg 1	Bygg 2	Bygg 3	Bygg 4	Bygg 5	Bygg 6	Bygg 7	Bygg 8
Fuktinnhold bunnsvill	16%	16%	15%	19%	17%	14%	14%	15%
Fuktinnhold stender	15%	13%	14%	18%	17%	13%	14%	14%

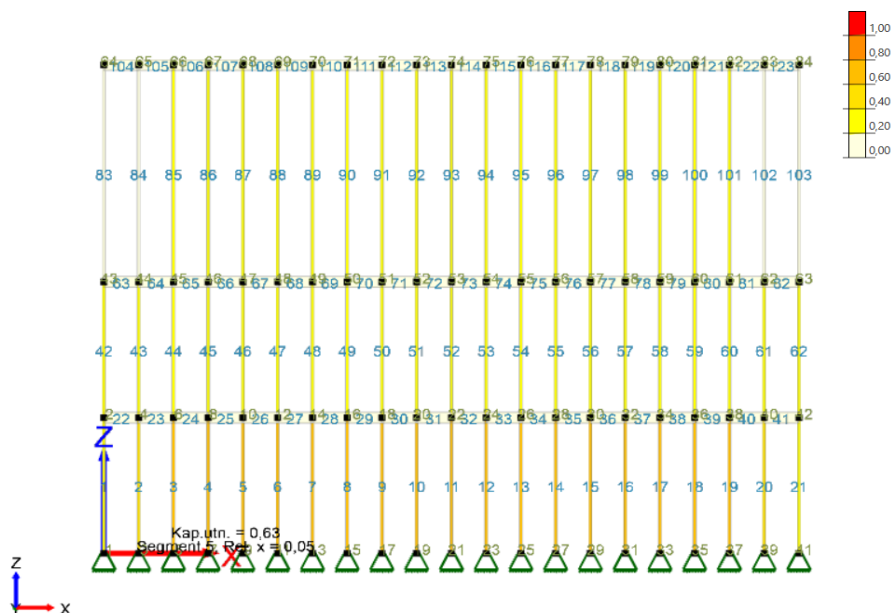
4.1.2 Resultat fra styrkeberegning av modell i case

4.1.2.1 Bærende bindingsverksvegg

Midtvegg

Resultatet fra styrkeberegningen viser at det er tilstrekkelig med 2x48x98mm, C24 cc600 konstruksjonsvirke (dobbel lydvegg) for midtveggen som skiller boenhetene horisontalt. Veggen tar deler av lastene fra andre og tredje etasje samt laster fra utvendig tak. Det er beregnet med en nyttelast på 2kN/m² i begge etasjene, og egenvekt i andre og tredje etasje er beregnet til 2,9kN/m² og 0,6kN/m² (uten egenvekt fra gulvbjelkene som allerede ligger i beregningsmodellen). Taket har en snølast på 3,5kN/m² og en beregnet egenvekt på 2kN/m² (uten egenvekt fra takbjelkene som allerede ligger i beregningsmodellen).

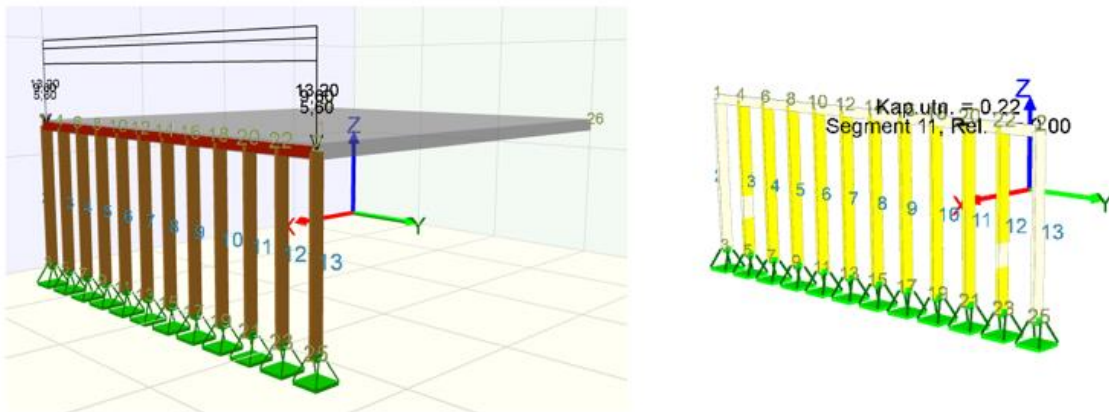
En mer detaljert styrkeberegning er vist i vedlegg A. Knekk lengden i svak akse på stenderne reduseres betraktelig grunnet dobbel platekledning som er skrudd fast med tette mellomrom i konstruksjonsvirket, og bidrar til å stabilisere veggkonstruksjonen. Etasjeskillene holder vegg fast mot knekking i sterk akse ca. hver 2,5m. Resultatene viser at kapasiteten til stenderne på det meste blir 63% utnyttet i bruddgrensetilstand, basert på NS3470. Se figur 4-1 for illustrasjon av kapasitetsutnyttelsen på bæreveggen.



Figur 4-1. Illustrasjon av bærende midtvegg.

Yttervegg med opplegg til hulldekke

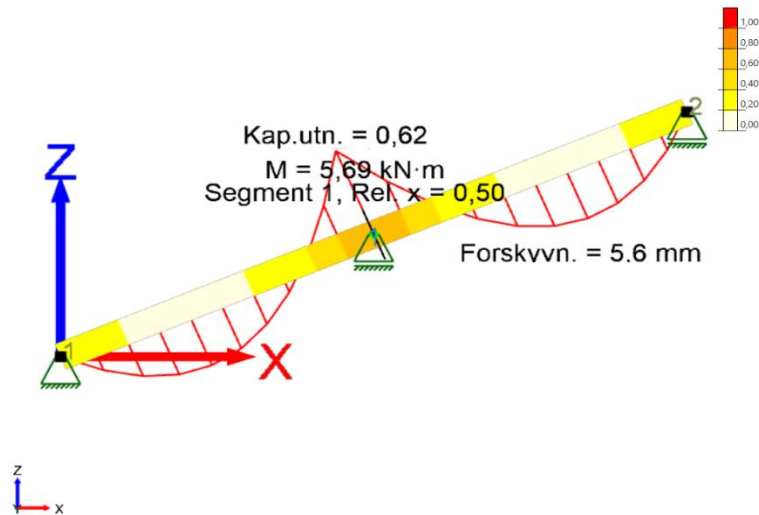
Lasten på ytterveggen er omtrent den samme som for bærende midtvegg da det er en symmetrisk oppbygging, med nyttelast på 2kN/m^2 i andre og tredje etasje og med en egenvekt på $2,9\text{kN/m}^2$ (hulldekke påstøp etc) og $0,6\text{kN/m}^2$. I likhet med den bærende innerveggen reduseres knekk lengden i svak akse på stenderne grunnet GU-gipsplater, lekter og innvendig plateledning. Resultatet fra styrkeberegningen ved opplegget til hulldekket og ytterveggen viser at stendere $48 \times 198\text{mm}$, C24 cc600 har en maksimal utnyttelse på 22%, og at utnyttelsesgraden på stålvinkelen $150 \times 150 \times 15\text{mm}$ er neglisjerbar grunnet tett understøttelse av stendere. Se figur 4-2. Vinkelen er boltet fast i toppsvillen/stenderne med jevne mellomrom og understøttes av stendere cc600, og kamstål sveises til vinkelen og støpes inn i betongdekket, som gjør at vinkelen blir fastholdt mot knekking og vipping. Se vedlegg A for detaljert styrkeberegning.



Figur 4-2. Illustrasjon av bærende yttervegg med opplegg til hulldekke

4.1.2.2 Takbjelker

Resultatet fra styrkeberegningen viser at det er tilstrekkelig med sperretak av I-bjelker med dimensjonene 70mm x 300mm cc600. Taket skal bære en snølast på $3,5\text{kN/m}^2$ og en beregnet egenvekt på 2kN/m^2 (uten egenvekt fra takbjelkene som allerede ligger i beregningsmodellen).

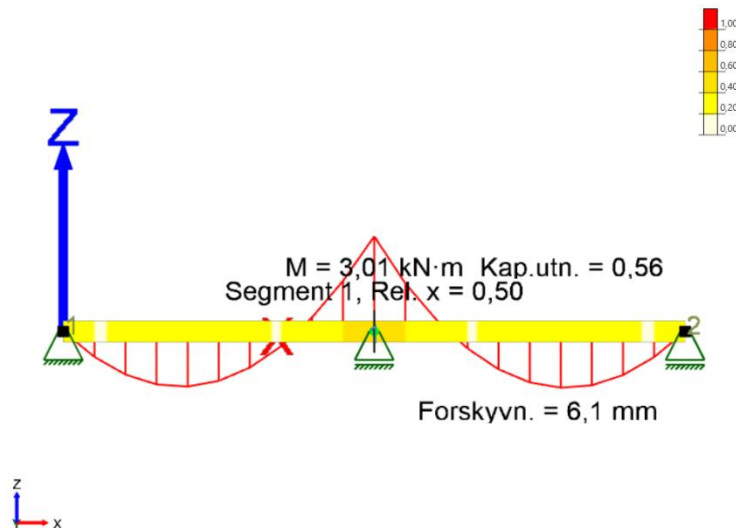


Figur 4-3. Illustrasjon av I-bjelke i tak.

Beregningen av egenvekter og detaljert styrkeberegning er vist i vedlegg A. Det er tatt utgangspunkt i at bjelkene holdes fast hver 600mm mot knekking og vipping med lekter og platekledning under og over bjelkene som øker bjelkenes stabilitet. Bjelkene beregnes som kontinuerlige og vil derfor få et støttemoment over bærepunktet i midten av takbjelkene. Beregningen viser at kapasitetsutnyttelsen på bjelkene er 62% på det meste, med en nedbøyning på 5,6mm i bruddgrensetilstand, basert på EN 1995-1-1 9.1.1. Bjelkene tilfredsstillt kravet til nedbøyning ($L/300$). Se figur 4-3 for illustrasjon av kapasitetsutnyttelsen på I-bjelkene.

4.1.2.3 Bjelkelag

Resultatet fra styrkeberegningen viser at det er tilstrekkelig med 48x223mm c24, cc600 konstruksjonsvirke for gulvbjelkene i etasjeskillet i andre etasje. Gulvet skal bære en nyttelast på 2kN/m^2 og en beregnet egenvekt på $0,6\text{kN/m}^2$ (uten egenvekt fra gulvbjelkene som allerede ligger i beregningsmodellen).



Figur 4-4. Illustrasjon av bjelkelag.

Beregningen av egenvekter og detaljert styrkeberegning er vist i vedlegg A. Bjelkene holdes fast mot knekking og vipping med fastskrudde lekter og plater under og over bjelkelaget som øker bjelkenes stabilitet. Bjelkene regnes som kontinuerlig, og vil derfor få et støttemoment over bærepunktet i midten av bjelkelaget. Beregningen viser at kapasitetsutnyttelsen på bjelkene er 56% på det meste, med en nedbøyning på 6,1mm i bruddgrensetilstand, basert på EN 1995-1-1 9.1.1. Bjelkene tilfredsstiller krav til nedbøyning ($L/300$). Se figur 4-4 for illustrasjon av kapasitetsutnyttelsen på gulvbjelkene.

4.1.3 Resultater fra tid- og kostnadskalkyle for plassbygd leilighetskompleks

Resultatene fra kostnadskalkyle utarbeidet i Holte SmartKalk for det plassbygde leilighetskomplekset er basert på detaljerte kalkyler i Holte SmartKalk. Hver bygningsdel (utgiftspost) i kalkylen er delt opp i en rekke underposter. Se figur 4-5 for et eksempel på bygningsdelen 'sperretak' som viser underposten 'taktekking' som igjen har flere underposter. Disse postene er bygget opp på lik måte som MWC sin produksjon slik at sammenlikningsgrunnlaget er så likt som mulig.

NR	KODE	NAVN	MENGE	DIM	ENH. TIDSF	ENH. SELVK	ENH. PRIS	SUM TIDSF	SUM SELVK	SUM PRIS
21.01.001		Ringmurselement med allekk b=430, 195mm - vegger	100,00	lm	1,27	1 406,76	1 435,43	127,25	140 675,70	163 542,70
23.01.002		Yttervegg av tre, i bindingsverksvegg, hvit, glass, 10x21	PC	2,00	vk	4,85	20 184,66	22 203,10	9,69	40 369,32
23.01.003		Balkongdekk enkelt, FG godkjent 9x21	PC	2,00	vk	4,97	20 478,31	22 481,23	9,95	40 836,62
23.01.004		Vindu, trevegg toppving 10x8	PC	4,00	vk	3,74	9 758,54	10 734,36	14,96	39 034,16
23.01.005		Vindu, trevegg toppving 10x12	PC	2,00	vk	4,12	11 811,47	12 982,56	8,23	23 622,94
23.01.006		Vindu, trevegg toppving 10x8	PC	2,00	vk	3,74	9 758,54	10 734,36	7,48	19 517,07
23.01.007		Vindu, trevegg toppving 14x11	PC	2,00	vk	4,59	13 706,51	15 070,50	9,18	27 401,01
23.01.008		Vindu, trevegg fastkarm 10x18	PC	2,00	vk	5,84	13 881,60	15 269,67	11,67	27 763,15
23.02.001		Bindingsverk av tre 48x198, 50mm påføring, dobbel v...	PC	404,00	m²	1,57	1 617,21	1 778,95	635,27	653 352,25
23.02.002		Vindu, trevegg toppving 10x8	PC	4,00	vk	3,74	9 758,54	10 734,36	14,96	39 034,16
23.02.003		Vindu, trevegg toppving 10x12	PC	2,00	vk	4,12	11 811,47	12 982,56	8,23	23 622,94
23.02.004		Vindu, trevegg toppving 10x8	PC	2,00	vk	3,74	9 758,54	10 734,36	7,48	19 517,07
23.02.005		Vindu, trevegg toppving 14x11	PC	4,00	vk	4,59	13 706,51	15 070,50	27,56	82 205,28
23.03.001		Vindu, trevegg fastkarm 10x18	PC	1,00	vk	5,84	13 881,60	15 269,67	5,84	13 881,60
23.03.002		Vindu, trevegg fastkarm 10x14	PC	1,00	vk	4,27	10 862,92	11 949,17	4,27	10 862,92
23.03.003		Vindu, trevegg fastkarm 10x14	PC	2,00	vk	4,27	10 862,92	11 949,16	8,54	21 725,85
23.03.004		Vindu, trevegg fastkarm 10x14	PC	2,00	vk	4,27	10 862,92	11 949,16	8,54	21 725,85
23.03.005		Vindu, trevegg toppving 11x12	PC	4,00	vk	4,38	12 162,73	13 378,96	17,12	48 436,92
23.03.006		Vindu, trevegg toppving 10x12	PC	2,00	vk	4,12	11 811,47	12 982,56	8,23	23 622,94
23.03.007		Vindu, trevegg toppving 10x12	PC	2,00	vk	4,12	11 811,47	12 982,56	8,23	23 622,94
23.03.008		Vindu, trevegg toppving 10x12	PC	2,00	vk	4,12	11 811,47	12 982,56	8,23	23 622,94
23.03.009		Vindu, trevegg toppving 10x8	PC	2,00	vk	3,74	9 758,54	10 734,36	7,48	19 517,07
23.03.010		Vindu, trevegg fastkarm 14x17	PC	4,00	vk	5,17	15 159,89	16 675,78	20,66	80 439,55
24.02.001		Bindingsverk av tre 48x198, dobbel lydvegg, befrerber o...	PC	103,00	m²	1,47	1 537,10	1 690,63	151,62	158 321,30
25.02.001		Elementdekket, betong hulldekket, lydisolert	PC	150,00	m²	0,48	4 718,80	5 190,70	71,25	707 820,00
25.03.001		Ejfelkelag av tre 48x223, fullisoleret etageskille, usk lam...	PC	150,00	m²	0,71	936,91	1 095,60	105,84	140 537,04
26.01.001		Sperretak av I-bjelker, opplekket membranbekking	PC	227,00	m²	1,32	1 774,55	1 952,01	299,64	402 822,85

OPPRETTET AV	KALKULASJONSTYPEN	SUM TIDSEVERK	SUM SELVKOST	SUM PÅSLAG	SUM PRIS (DEL. MVA)	SUM PRIS (INKL. MVA)
Jonas Pedersen (Smas7274)	Element (PC)	1 617,40 t	kr 2 862 325	kr 266 244	kr 3 143 569	kr 3 935 711

NR	KODE	NAVN	MENGE	DIM	SATS	SELVKOST	ENH. PRIS	POSTFORBRUK	POSTKOSTNAD	SUM PRIS
26.01.001		Sperretak av I-bjelker, opplekket membranbekking	227,00	m²		1,32	1 774,55	1 952,01	299,64	402 822,85
26.01.17.01.001	SF1.332	Taktekking helsveiset membranfolie	1,00	m²	1 lag	0,350	330,60	363,66	79,45	82 550,82
		Material Helsveiset membran, Isola	1,050	rul	1x10m	181,52	190,60	209,66	238,350	43 266,20
		Lønn Tekkearbeid	0,350	t		400,00	140,00	154,00	79,450	34 958,00
26.01.12.01.003	QD3.1125	Sperretak Huntonit I-bjelke HI 300	1,00	m²	70x300	0,250	440,43	484,47	56,75	99 977,61
26.01.12.01.004	QL2.1121	Taktro av vannfast finér	1,00	m²	15mm	0,200	298,57	328,43	45,40	67 775,39
26.01.12.01.005	QB3.8211	Oppføring av tak for luftespalte c/c 600	1,00	m²	48x48	0,120	81,60	89,76	27,24	18 523,20
26.01.12.01.006	QL2.31	Undertak takfolie	1,00	m²	1,5x50m	0,070	191,83	211,01	15,89	43 545,41
26.01.12.01.007	S81.21171	Mineralull I-plåte A bjelkelag	1,00	m²	300	0,100	295,20	324,72	22,70	67 010,40
26.01.12.01.008	SF1.121	Diffusjonstett plast (Himl)	1,00	m²	0,20 mm	0,050	33,82	37,21	11,35	7 677,14
26.01.12.01.009	QK1.212	Nedføring av himling c/c 600	1,00	m²	30x48	0,180	102,50	112,75	40,86	23 267,50

Figur 4-5. Eksempel på beregning av sperretak.

Tabell 4-4 under gir en oppsummering av beregningene gjort i Holte SmartKalk. Bygningsdelene er listet opp i rekkefølge etter bygningsdelstabellen NS 3451 (se komplett kalkulasjon i vedlegg E). Tabellen viser kostnads-kalkyle og tidskalkyle utarbeidet i Holte SmartKalk for leilighetskomplekset bygget på plassen. Tabellen viser mengder, timeverk, lønnskostnader, materialkost og selvkost. Resultatene viser et timeverk på 1617,39 timer og en totalsum på 2.862.320 kr. Totalsummen er ekskludert merverdiavgift og påslag. Den totale materialkostnaden er beregnet til 1.692.214kr. Se vedlegg E for komplett materialliste. Den mest tidkrevende og kostbare posten er utvendig bindingsverksvegger med et estimert timeverk på 635 timer, og en total-kostnad på 653.352kr.

Tabell 4-4. Sammendrag av resultater fra plassbygd kalkyle.

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Timeverk	Lønn	Material	Diverse	Selvkost
Grunn og fundamenter							
Ringmurselement med såleblokk h=450, 198mm-vegger	lm	100	127,25	50900	94375,70	3400	148675,70
Vegger							
Bindingsverk av tre 48x198, 50mm påføring, dobbel vindtetting, Tømmermannspanel, skyggepanel	m ²	404	635,27	254108	399244,33	0	653352,33
Vindu/dør samlet	stk	52	226,52	90608	560182	0	650790
Bindingsverk av tre 48x98, dobbel lydvegg, trefiber og gips	m ²	103	151,62	60648	97674,90	0	158322,90
Dekker							
Elementdekker, betong hulldekke, lydisolert	m ²	150	71,25	28500	159570	519750	707820
Bjelkelag av tre 48x223, fullisolert etasjeskille	m ²	150	105,84	42336	98201,04	0	140537,04
Yttertak							
Sperretak av I-bjelker, opplektet membrantekking	m ²	227	299,64	119856	282966,85	0	402822,85
Total			1617,39t	646956	1692214,82		2862320,82

4.1.4 Resultater fra tid- og kostnadskalkyle for prefabrikkert leilighetskompleks

Tabell 4-5 viser kostnadskalkyle utarbeidet av MWC for bygning oppført med prefabrikkerte elementer av tre. Tabellen har likt oppsett som tabellen for plassbygd bygning som er vist over. Resultatene viser et timeverk på 586,50 timer. og en totalsum på 2.659.964,82 kr.

Timene i kalkylen er timer brukt på byggeplassen. Totalsummen er ekskludert merverdiavgift og påslag. I tillegg til de samme utgiftspostene som i kalkylen for plassbygd bygning, har MWC sin kalkyle to tilleggsposter. Kostnad for produksjon og frakt fra fabrikk, samt leie av kran/kranbil utgjør totalt 210 000 kr. I likhet med kalkylen for plassbygd leilighetskompleks er det benyttet lik materialkost med totale materialkostnad på 1.692.214 kr, Se vedlegg E for komplett materielliste. Den mest tidkrevende og kostbare posten er i likhet med kalkylen for plassbygd leilighetskompleks utvendig bindingsverksvegger med et estimert timeverk på 203 timer, og en total kostnad på ca. 480.000 kr.

Tabell 4-5. Sammendrag av resultater fra MWC kalkyle.

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Timeverk	Lønn	Material	Diverse	Selvkost
Grunn og fundamenter							
Ringmurselement med såleblokk h=450, 198mm-vegger	lm	100	127,25	50900	94375,70	3400	148675,70
Vegger							
Bindingsverk av tre 48x198, 50mm påføring, dobbel vindtetting, Tømmermannspanel, skyggepanel	m ²	404	203	81200	399244,33	0	480444,33
Vindu/dør samlet	stk	52	10	4000	560182	0	564182
Bindingsverk av tre 48x98, dobbel lydvegg, trefiber og gips	m ²	103	51	20400	97674,90	0	118074,90
Dekker							
Elementdekker, betong hulldekke, lydisolert	m ²	150	71,25	28500	159570	519750	707820
Bjelkelag av tre 48x223, fullisolert etasjeskille	m ²	150	35	14000	98201,04	0	112201,04
Yttertak							
Sperretak av I-bjelker, opplektet membrantekking	m ²	227	89	35600	282966,85	0	318566,85
Tilleggs kostnader							
Produksjon og frakt fra fabrikk							125000
Leie av kran/kranbil							85000
Total			586,50t	234600	1692214,8		2659964,82

4.1.5 Oppsummering av resultater fra case

Resultatene fra casen viser at leilighetskompleks av tre oppført med prefabrikkerte bygningselementer ble 202.356 kr rimeligere, tilsvarende en besparelse på 7%, og med en tidsbesparing på 1031 timer, tilsvarende en tidsbesparelse på ca. 65%, sammenlignet med det samme bygget oppført med tradisjonell plassbygd metode. Den prefabrikkerte kalkylen vil trolig gi ytterligere besparelser i praksis grunnet mindre kostnader knyttet til håndtering og deponering av søppel samt leie av containere. Dette fordi store deler av avfallshåndtering skjer på fabrikk hvor de prefabrikkerte elementene blir produsert, og disse utgiftene er ikke medregnet i den plassbygde kalkylen.

Resultatet fra kalkyleberegningen for prefabrikasjon viser at det det var lite forskjell på hvilken bygningsdel som ga mest tidsbesparelser. Vegg, tak og bjelkelag hadde alle en tidsbesparelse på nær 65-70%. Det må understrekes at kalkylen fra prefabrikasjon tar utgangspunkt i at det ikke blir fremtidige kostnader eller merarbeid knyttet til fukt og luftlekkasjer i konstruksjonen. Kvalitetssjekken av fuktinnhold i treverk og luftlekkasjer viste gode resultater og var en del av grunnlaget for kalkylen til prefabrikkert bygning.

4.2 Resultater fra intervjuer

Det er blitt gjennomført intervjuer med flere aktører involvert i byggeprosessen om bruk av prefabrikasjon. Mer spesifikt er en prosjektleder, en sivilarkitekt, en byggeleder, en fabrikk sjef og en rådgiver (RIB) blitt intervjuet. I de følgende avsnittene presenteres hovedfunnene fra intervjuene med hver enkelt deltaker.

4.2.1 Intervjuobjekt 1: Byggelederen

Byggelederen som er intervjuet, er utdannet tømremester og har over 10 års relevant arbeidserfaring. Byggelederen trekker frem flere fordeler i sin erfaring med bruk av prefabrikkerte elementer av tre. I sin stilling mener han at rask byggetid på plassen i tillegg til god kvalitet er blant de største fordelene når bygninger oppføres med prefabrikkerte elementer. Sammenlignet med plassbygde bygninger, krever bygg oppført med prefabrikkerte elementer betydelig mindre tid på byggeplassen. Dette krever igjen mindre arbeidskraft og ressurser slik at det er behov for færre arbeidere på plassen enn ved plassbygde konstruksjoner:

«Skreddersydde løsninger gjør det enkelt å oppføre bygninger med lite mannskap»

I tillegg er elementene han har erfaring med ofte godt egnet for montering og arbeiderne på byggeplassen synes stort sett at elementene er enkle å håndtere. Sammenlagt fører de overnevnte fordelene til at det blir enklere for byggelederen å holde oversikt på arbeiderne på byggeplassen. Byggelederen forteller dessuten at grunnet færre arbeidere på plassen ved bruk av prefabrikasjon gir en mer oversiktlig arbeidsplass som igjen fører til en tryggere arbeidsplass med tanke på SHA/HMS. Byggelederen nevner også at prefabrikasjon kan gi mindre miljøpåvirkning sammenlignet med oppføring av plassbygde bygninger ettersom førstnevnte medfører kort byggetid og mindre avfall på byggeplass.

Selv om byggelederen nevner rask byggetid som en viktig fordel, har han også erfart at det kan være en ulempe. I noen tilfeller kan det gå “for fort” å oppføre bygninger med prefabrikkerte elementer:

«Det går ofte så fort å oppføre bygningene at innleid arbeidskraft ikke klarer å holde følge»

For eksempel kan en for rask byggetid føre til at lokale arbeidere, elektrikere, rørleggere, flisleggere etc. ofte ligger bakpå arbeidet og etter tidsplanen. En annen ulempe byggelederen trekker frem er at man ofte må tenke helt annerledes når man bruker prefabrikkerte løsninger og ikke bygger på plass, både når det gjelder planlegging i forkant og utføring på plassen. En siste ulempe som nevnes er lagring av de prefabrikkerte elementene på byggeplassen i tiden mellom de leveres på plassen og før de monteres. Her pekes det spesielt på utfordringer knyttet til fuktpåvirkning som kan medføre redusert kvalitet på elementene.

4.2.2 Intervjuobjekt 2: Prosjektlederen

Prosjektlederen er utdannet byggingeniør med over 10 års arbeidserfaring innen prefabrikkerte løsninger og plassbygde metoder. Som prosjektleder har han erfart at prefabrikkerte løsninger er økonomisk fordelaktig sammenlignet med plassbygde bygninger:

«I de fleste av mine byggeprosjekter har vi spart penger på å bruke prefabrikasjon framfor å bygge på plassen»

Han nevner særlig kostnadsbesparelser knyttet til redusert arbeidskraft og byggetid på byggeplass. En annen fordel som nevnes er at prosjektlederen har større frihet når det kommer til å bestemme materialer og utstyr. Han nevner videre at bygninger oppført med prefabrikkerte elementer ofte har like god kvalitet som plassbygde bygninger og han har sjelden opplevd skade på elementene under transport. I tillegg tilrettelegger prefabrikasjon i prosjekter for gjentakelse og gjenbruk av effektive og suksessfulle prosjekter. Dette innebærer mest jobb i det opprinnelige prosjektet som fremtidige prosjekter kan bygge videre på. Disse fremtidige prosjektene kan i stor grad basere seg på jobben som allerede er gjort i det opprinnelige prosjektet, supplert med oppfølging av krav til dokumentasjon ved endringer.

I likhet med byggelederen, nevner også prosjektlederen at effektiviteten ved prefabrikasjon kan medføre utfordringer. I stilling som prosjektleder er det særlig press knyttet til det å ta

raske avgjørelser tidlig i prosessen som kan være vanskelig, ettersom prosjekteringen av prefabrikkerte bygninger er mer kompleks sammenlignet med plassbygde konstruksjoner. Videre forteller prosjektlederen at han har erfaring med at prefabrikkerte bygninger er mindre fleksible enn plassbygde bygninger når det gjelder planløsning og utforming av rom, da prefabrikkerte elementer ofte baserer seg på standardiserte rom- og planløsninger. Han påpeker også at det er viktig med god planlegging og prosjektering slik at elementene blir levert i tide og i riktig utførelse, samt lagret på en tilfredsstillende måte.

«Jeg har opplevd at det har blitt levert feilproduserte elementer til prosjektet. Da stoppet byggingen opp, arbeiderne hadde ikke noe å jobbe med. Det førte til store forsinkelser»

I sitatet over viser han til et konkret eksempel hvor feilproduserte prefabrikkerte elementer ble levert til byggeplassen. Dette resulterte i store forsinkelser da nye elementer måtte bestilles og dermed produseres på ny, som igjen medførte ventetid for arbeiderne på byggeplassen da dette ikke var tatt med i tidsplanen i planleggingen.

Prosjektlederen legger til at han har erfart få problemer og skader på kvaliteten på elementene ved frakt, men at hvis det oppstår slike problemer så kan det ha stor effekt på kvalitet ved leveranse til byggeplassen. Ved skade kan det ofte være snakk om småskader på vindspærren i form av rift og små hull, men han nevner at det er små, enkle grep som kan fikse slike skader. Skader i vindspærre som ikke utbedres kan føre til dårligere lufttetthet på bygningen. Han nevner at det også kan oppstå rift i plastemballasjen under frakt som kan øke fuktinnholdet i trelementet.

I motsetning til flere av de andre deltakerne, mener prosjektlederen at prefabrikkert metode kan være mindre miljøvennlig enn plassbygd metode når det gjelder plastavfall på byggeplass. Han trekker frem at det ofte brukes plastemballasje for å beskytte elementene og ekstra trevirke for sikring av frakten.

4.2.3 Intervjuobjekt 3: Arkitekten

Arkitekten har lang erfaring med både bruk av prefabrikkerte løsninger og plassbygde løsninger. På den ene siden avdekket intervjuet med sivilarkitekten en rekke positive effekter

ved bruk av prefabrikkerte bygningselementer. Først og fremst ble det nevnt fordelene av at prefabrikasjon er basert på detaljerte tegninger og nøye planlegging, noe som ofte medfører en enklere og raskere oppføring på byggeplassen som igjen fører til kostnadsbesparelser. Relatert til dette er også den komplekse planleggingen av byggeprosessen som kan bidra til å øke effektivitet i alle ledd av prosessen. Dette innebærer dessuten at involverte aktører blir presset til å planlegge og ta viktige valg tidlig i prosessen, og det stilles økte krav til nøyaktighet og kvalitetssikring. Mer spesifikt så gir prefabrikasjon høyere grad av kontroll enn tradisjonell plassbygde løsninger, ifølge arkitekten.

Hovedårsaken til økt kontroll er at prefabrikasjon krever detaljprosjektering av bygningen, noe som stiller krav til at tekniske fagpersoner i prosjektet må starte prosjekteringen tidlig. Dette kreves ikke i like stor grad for bygg som oppføres på plassen med tradisjonell plassbygd metode da selve byggeprosessen ute i felt tar lengre tid og prosjekteringen kan delvis skje underveis i byggeprosessen. I tillegg nevner arkitekten at prefabrikasjon har et større fokus på å utforme gode og effektive planløsninger sammenlignet med plassbygde løsninger. En annen viktig fordel arkitekten nevner er at det har vært en god utvikling hos produsentene av prefabrikkerte elementer knyttet til prosjektering og ansvarsretter:

«Dagens leverandører av prefabrikkerte elementer kan ofte erklære ansvarsretten for egen prosjektering, noe som er betryggende i forhold til hvordan det var før hvor de oftere kun var utførende og hadde behov for rådgivere som mellomledd og som ansvarlig for prosjekteringen»

Arkitekten forteller videre at han tidligere har erfart at kun utførende leverandører kunne føre til misforståelser og utfordringer ved kommunikasjon og samspill mellom utførende og prosjekterende aktører.

På den andre siden fortalte arkitekten om flere negative effekter ved prefabrikasjon basert på sin erfaring. Blant de største ulempene nevnes estetisk utforming av bygget, og da særlig fasadens estetiske uttrykk. Arkitekten forteller at leverandører av prefabrikkerte elementer sjelden har stort fokus på bygningsestetikk, og at det kan være utfordrende å overtale leverandørene til å tildele midler som kan brukes til å utvikle estetisk utforming, spesielt av ytre fasader. Derfor nevnes en større inkludering av arkitekter i design av prefabrikkerte elementer som et mulig forbedringspotensial:

«Arkitekter burde bli mer inkludert i utforming av elementene, kanskje mest med tanke på estetikk og tilpasning etter arkitekturen og området rundt»

Sitatet over illustrerer også at arkitekten opplever at det kan være vanskelig å integrere prefabrikkerte elementer inn i området som bygget skal oppføres i. Dette inkluderer blant annet å innpasse den nye bygningen med arkitekturen til nabobygninger, samt naturområdet som bygningen skal bygges i. Videre nevner arkitekten at han tidligere har opplevd at det er vanskelig å få skreddersydde løsninger for prefabrikkerte elementer knyttet til arkitektonisk utforming, da de fleste leverandører opererer med standardiserte løsninger og generelle størrelser. Arkitekter har dermed liten frihet til å skreddersy løsninger til ulike prosjekter, som for eksempel å velge alternative plasseringer av dør og vindu.

4.2.4 Intervjuobjekt 4: Fabrikksjefen

Fabrikksjefen som er intervjuet, er nåværende ansatt som sjef på en fabrikk som produserer prefabrikkerte elementer av tre. Han er en utdannet byggingeniør med mer enn 10 års erfaring med prefabrikkerte løsninger. Fabrikksjefen opplever å ha god oversikt på fabrikk og synes det er enkelt å holde orden på arbeiderne som jobber i fabrikk:

«En ryddig fabrikk er avgjørende. Da blir det lettere å holde orden i rekkene, med tanke på arbeiderne og elementene»

Dette medfører at det er enkelt å gjennomføre kvalitetssjekk av elementene og eventuelt oppdage og identifisere avvik og mangler i produksjonen. Det medfører også at arbeidsplassen på fabrikk blir tryggere og gir bedre kvalitet for helse og arbeidsmiljø. Videre trekker han frem at det kan være miljøvennlige gevinster ved bruk av prefabrikasjon grunnet mindre svinn og gode rutiner for gjenvinning på fabrikk.

Han trekker frem høy kvalitet på produksjonen som den største fordelen i sitt arbeid med prefabrikkerte elementer av tre. Han nevner at det er enkelt å finne verktøy og utstyr på en fabrikk da det er rutiner og systemer for oppbevaringen av dette som gjør byggingen mer effektivt, sammenliknet med en byggeplass hvor man flytter verktøy og utstyr etter hvor man befinner seg i byggeprosessen.

Når det gjelder ulemper forteller han at det generelt sett kan oppstå utfordringer knyttet til transport av elementene fra fabrikk til byggeplass:

«Det kan være krevende å beskytte elementene under transport, særlig for fukt og fysiske påkjenninger under lange og krevende kjøreruter»

Han trekker særlig frem at det kan være vanskelig å frakte elementer i norske forhold, spesielt om byggeplassen er plassert i et ulendt terreng og er vanskelig å komme seg til, slik som ved smale, glatte og snirklete veier med krappe svinger. Til tross for at transport generelt sett kan være en utfordring, påpekes det at transport av prefabrikkerte elementer har utviklet seg i en veldig positiv retning de siste årene, og er blitt betydelig bedre enn før.

4.2.5 Intervjuobjekt 5: Rådgiveren

Rådgiveren (Rådgivende Ingeniør Bygg) som er intervjuet er utdannet byggingeniør, i likhet med fabrikk sjefen og prosjektlederen. Rådgiveren har 8 års relevant arbeidserfaring. Han nevner primært dokumentasjon og kvalitet som viktige fordeler ved prefabrikkerte løsninger sammenlignet med plassbygde løsninger. Elementene leveres stort sett med høy kvalitet som han mener er av minst like god kvalitet som materialer som brukes i plassbygde bygninger. Han erfarer at prefabrikkerte bygningselementene stort sett blir bygget etter gjeldene tekniske forskrifter og ofte har god dokumentasjon:

«Dokumentasjon kan være både positivt og negativt. Useriøse produsenter kan ha mangelfull eller fraværende dokumentasjon på sine sluttprodukter, mens mer profesjonelle leverandører har som regel teknisk godkjenning og veldokumentert kvalitet på sine produkter»

Dersom elementene blir levert av mindre profesjonelle produsenter kan dokumentasjonen likevel være mindre gunstig. Rådgiveren påpeker også andre ulemper med bruk av prefabrikkerte elementer basert på sin erfaring. En viktig utfordring som påpekes er at det kan være utfordringer knyttet til ansvarsfordeling. Rådgiveren har erfart at det kan være vanskelig å vite grensnittet mellom ansvarsområdene for de ulike involverte aktørene, slik at det kan bli uklart å skille mellom hvilke parter som har ansvar for hva.

4.2.6 Oppsummering av resultater fra intervjuer

De fem intervjuene med en prosjektleder, en sivilarkitekt, en byggeleder, en fabrikk sjef og en rådgiver (RIB) har vist en rekke fordeler og ulemper ved bruk av prefabrikasjon sammenlignet med plassbygd metode utfra effektivitet, kvalitet, planlegging, logistikk og HMS. Det er stor enighet blant deltakerne om at prefabrikasjon kan gi både tid- og kostnadsbesparelser sammenlignet med plassbygd metode.

Det nevnes en rekke faktorer som kan påvirke kvalitet på prefabrikkerte elementer, slik som produksjon på fabrikk, frakt og lagring. Flere nevner at det er essensielt med god og nøyaktig planlegging ved bruk av prefabrikkerte løsninger, blant annet for å sikre forsvarlig og tilfredsstillende bestilling og transport av elementene til byggeplass. Når det gjelder HMS, nevnes det at kort byggetid og lite avfall på byggeplass ved prefabrikasjon kan medføre lavere miljøpåvirkning, og at blant annet mindre arbeidskraft på byggeplass kan gi økt oversiktighet og et tryggere arbeidsmiljø. Forslag til forbedringer som trekkes frem ved bruk av prefabrikasjon er økt involvering av arkitekt, tydeliggjøring av grensesnitt og ansvarsfordeling, samt mer fleksible og skreddersydde løsninger.

5 Diskusjon

Dette kapittelet drøfter de samlede resultatene fra litteraturstudien, casestudien og intervjuene opp imot de fem problemstillingene nevnt innledningsvis. Deretter presenteres forslag til konkrete tiltak til MWC for å øke lønnsomhet, samt generelle tiltak til effektivisering av byggebransjen ved bedre utnyttelse av prefabrikkert metode. Avslutningsvis trekkes det frem svakheter ved oppgaven og anbefaling til videre studier.

5.1 Hvordan påvirkes tid og kostnad ved bruk av prefabrikkerte trelementer?

Tid- og kostnads kalkylene i casestudien tyder på at det kan lønne seg å benytte prefabrikkerte bygningselementer av tre dersom det utføres på en tilfredsstillende måte. Resultatene viste en estimert tidsbesparelse på 1031 timer, tilsvarende ca. 65% tidsbesparing, og en estimert kostnadsbesparelse på 202.356 kr, tilsvarende ca. 7% kostnadsbesparelse. Dette kan tyde på at MWC sin 10 års lange erfaring med produksjon av prefabrikkerte elementer, frakt av elementene, og oppføring av bygning med elementene bidrar til at denne byggemetoden er noe mer effektiv enn den tradisjonelle plassbygde metoden. Med andre ord, nøye planlegging er sentralt for effektivitet, og MWC sin lange erfaring med prefabrikkerte elementer bidrar til gode rutiner og grundig planlegging og gjennomføring.

Det er viktig å trekke frem at kalkylen i casestudien ikke har tatt høyde for kostnader relatert til avfallshåndtering og leie av containere og lignende som i hovedsak skjer på fabrikk. Disse kostnadene vil trolig bidra til ekstra besparelser i dette tilfellet. Dette kan tyde på at resultatet på 7% fra casestudien uten medregnet avfallshåndtering er i tråd med resultatet fra litteraturstudien hvor det beskrives at det er mulig å oppnå gode økonomiske besparelser på 10-20% (Almås et al., 2014).

Resultatene fra intervjuene med de fem fagpersonene viser et lignende mønster som casestudien og litteraturstudien. Det var generelt bred enighet blant deltakerne som ble intervjuet om at bygningsprosjekter med prefabrikkerte elementer ofte innebærer raskere byggetid. Videre nevnte flere av deltakerne at det gjerne er rimeligere å oppføre prefabrikkerte bygg, basert på deres erfaring med byggeprosjekter.

Sett samlet, tyder resultatene på at prefabrikasjon kan være både rimeligere og tidsbesparende enn plassbygd metode under tilfredsstillende forhold. Disse resultatene er i overensstemmelse

med tidligere forskning, hvor flere studier understreker tiden som spares ved bruk av prefabrikasjon fremfor plassbygd (Malthus, 2020; Nakken et al., 2015; Gibb 1999).

Funnene som tyder på at prefabrikasjon er rimeligere samsvarer med en rekke tidligere studier, som beskrevet i litteraturgjennomgangen i delkapittel 3.1.1.1. For eksempel viser Chiang og kollegaer (2006) og Gibb & Isack (2003) sine studier at bruk av prefabrikkerte elementer ved oppføring av bygninger kan gi betydelige tid- og kostnadsbesparelser i forhold til tiden og kostnadene som ofte kreves ved oppføring av plassbygde bygninger. Disse besparelsene kan skyldes en rekke forhold, men bedre utnyttelse av ressurser og arbeidskraft samt mindre avfall og avfallshåndtering trekkes ofte frem som sentrale årsaker (Aye mfl., 2012, Won mfl., 2013; Baldwin mfl., 2009, Tam mfl., 2006, Tam mfl., 2007).

Det er likevel verdt å nevne at prefabrikasjon også kan medføre høyere kostnader på andre områder, som man slipper ved bruk av tradisjonell plassbygd metode. Det er særlig ekstra kostnader knyttet til fabrikk og produksjon som trekkes frem (Pan & Sidwell, 2011; Bliskas & Wakefield, 2007). Innledningsvis i litteraturgjennomgangen ble det også presentert driftsresultatet til fem utvalgte norske aktører som produserer og tilbyr elementbygg. Alle de fem aktørene hadde et overskudd og viste til en positiv utvikling i driftsresultat, noe som også taler for lønnsomheten ved prefabrikkert metode.

5.2 Hvordan påvirkes lagring og logistikk ved bruk av prefabrikkerte trelementer?

Når det gjelder lagring av elementer og logistikk rundt frakt og montering viser resultatene fra intervjuene delte erfaringer med dette. På en side, kan prefabrikkerte elementer være relativt lette å jobbe med sammenlignet med andre typer byggematerialer. Ifølge byggelederens erfaring er elementer av tre ofte enkle å håndtere og montere på byggeplassen og krever mindre arbeidskraft enn andre byggematerialer som gjerne brukes i oppføring av plassbygde konstruksjoner.

På en annen side, er det flere deltakere som trekker frem en rekke ulemper knyttet til logistikk og lagring av elementer av tre. Prosjektlederen nevner at det er en risiko knyttet til feilproduksjon og feilbestilling. Dette kan medføre for sen leveranse fra fabrikk til byggeplassen, noe som igjen kan føre til utfordringer med tid og planlegging, dersom en eventuell forsinkelse i leveranse ikke er tatt med i tidsberegningene. Når elementene er produsert etter bestilling og i riktig utførelse pekes det på viktigheten av forsvarlig og

tilfredsstillende frakt til byggeplassen. Det er særlig fabrikkjefen som trekker frem at beskyttelse under transport kan være spesielt utfordrende i nordiske klima og kjøreforhold. Leveranse av elementene på byggeplassen kan by på ytterligere utfordringer knyttet til lagring. Her pekes det på at elementene i noen tilfeller blir lagret ute på plassen og er da utsatt for ytre påkjenninger fra vær og vind som kan gi redusert kvalitet. Ifølge byggelederen er elementer av tremateriale særlig utsatt for risiko ved lagring da tre kan være ekstra mottagelig for fukt og råte.

De overnevnte funnene underbygges av tidligere forskning som ble presentert i kapittel 3. For eksempel trekker Berg (2008) frem nødvendigheten av god logistikk med et særlig fokus på frakting av elementer og hvordan de oppbevares på byggeplassen. Logistikken rundt bestilling og levering er også spesielt viktig, da mangel på god logistikk her kan medføre store forsinkelser på byggeplassen. Dette er noe som flere av intervjudeltakerne nevnte som en hovedutfordring ved prefabrikkert metode knyttet til lagring og logistikk.

5.3 Hvordan påvirkes kvalitet ved bruk av prefabrikkerte trelementer?

Både resultatene fra intervjuene og casestudien tyder på flere forhold som kan ha en innvirkning på kvaliteten på prefabrikkerte bygninger av tre. Det er særlig forhold knyttet til fukt, lufttetthet, frakt og dokumentasjon som trekkes frem.

I litteraturstudien kommer det frem at fuktproblemer og utfordringer knyttet til lufttetthet kan påvirke kvaliteten ved prefabrikkerte elementer (Edvardsen et al., 2010). Det er imidlertid delte meninger når det gjelder fuktproblematikken blant intervjukandidatene. Enkelte trekker frem at bruk av prefabrikkerte elementer av tre kan by på ekstra tid og kostnader knyttet til fuktproblematikk, mens andre har erfaringer som tyder på at det har vært få tilfeller av problemer knyttet til fukt. Fuktmålingen i casestudien viser til gode resultater for MWC sine prefabrikkerte elementer av tre. Fuktmålingen viser at elementene har noe varierende fukttinnhold i bunnsvill og stender i bygningene, men alle bygningene tilfredsstillende grenseverdien på 20 vektprosent. Videre viste dessuten trykktesten av bygningene tilfredsstillende resultat for lufttetthet med snitt på 0,64 luftskiftninger per time ved 50 pascal trykkdifferanse.

Flere av intervjudeltakerne nevner at frakt og dokumentasjon er viktige forhold som kan bidra til kvaliteten. Flere forteller at de sjeldent har opplevd skade på elementene ved frakt, men det

trekkes også frem at det kan oppstå skader eller rifter i vindsperren og plastemballasjen til elementene. Dersom ikke riften eller skaden i vindsperren blir utbedret kan det medføre høyt luftlekkasjetall på bygningen samt fuktige materialer grunnet brutt plastemballasje under frakt og lagring.

Det er bred enighet blant intervjudeltakerne om at prefabrikkerte elementer ofte leveres med svært god kvalitet som er minst like god, om ikke bedre, enn plassbygde løsninger. De prefabrikkerte elementene er gjerne produsert etter gjeldene forskrifter og leveres med grundig dokumentasjon på kvalitet, i tråd med litteraturen (Gibb, 1999; Tam et al., 2007b). Det nevnes likevel at kvaliteten kan variere avhengig av hvilken leverandør elementer bestilles fra. Det foreligger krav om at dokumentasjon på de prefabrikkerte elementene tilfredsstillende Dokumentasjonsforskriften (SINTEF, 2016). Det bør derfor være mulig å få detaljert dokumentasjon på kvaliteten på elementene som er produsert på fabrikk. Derom det benyttes seriøse produsenter kan det oppstå utfordringer knyttet til mangelfull kvalitetsdokumentasjon og generelt sett dårligere kvalitet på elementene de produserer.

5.4 Hvordan påvirkes planlegging og fleksibilitet ved bruk av prefabrikkerte treelementer?

Litteraturgjennomgangen og resultatene fra intervjuene og casestudien viser at bruk av prefabrikasjon krever god og detaljert planlegging. Hovedgrunnen til behovet for ekstra detaljert planlegging er at det øker sannsynligheten for punktlig og korrekt produksjon og levering av elementene på byggeplassen. For å kunne få fullt utbytte av effektiviteten ved bruk av prefabrikasjon er det viktig med detaljert og nøyaktig planlegging allerede fra skissearbeidet og i forprosjektet (Meland, 2000; Gibb, 1999).

I casestudien påpekte MWC at det var behov for en detaljert BIM-modell for å kunne planlegge og estimere kostnadene. Litteraturgjennomgangen trekker også frem BIM som en særlig viktig ressurs når det gjelder planlegging, prosjektering og gjennomføring (Eastman et al., 2009). I resultatene fra intervjuene kommer det frem at feilproduserte elementer eller elementer som ikke leveres i henhold til fremdriftsplanen kan føre til store kostnader og forsinkelser. Videre påpekes det at bruk av prefabrikkerte elementer gjør prosjektet mindre fleksibelt sett opp mot plassbygde løsninger, spesielt med tanke på planløsning og utforming da det ofte er standardiserte løsninger ved prefabrikasjon. Allikevel lar det seg gjøre å lage fleksible løsninger ved tidlig planlegging, men det er ofte mer krevende å gjøre revisjoner sent i prosessen i forhold til plassbygde bygg.

5.5 Hvordan påvirkes helse, miljø og sikkerhet ved bruk av prefabrikkerte treelementer?

Litteraturgjennomgangen har vist at prefabrikasjon krever mindre byggetid, arbeidskapasitet, og arbeidere på byggeplassen. Dette kan potensielt føre til en reduksjon av antall skader og ulykker. Ved prefabrikasjon erstattes mye av arbeidet på byggeplassen med arbeid på fabrikk, noe som kan være gunstig for helse, miljø og sikkerhet (Blismas & Wakefield, 2007; Gibb, 2001). Resultatene fra intervjuene indikerer også at produksjon på fabrikk under ryddige og kontrollerte forhold kan føre til mindre skader knyttet til byggeprosjektet. Dette kan sees i lys av Arbeidstilsynets rapport over arbeidsulykker i 2019 i forbindelse med prefabrikasjon hvor kun 2 av 21 ulykker skjedde på fabrikk tilknyttet produksjon av elementene (Mostue et al., 2020).

I tillegg nevner intervjudeltakerne at bruk av prefabrikasjon medfører mindre personer på byggeplass, noe som igjen bidrar til oversiktlige og mer kontrollerte forhold. Flere hadde erfaring med at slike gunstige forhold kan resultere i færre arbeidsskader og -ulykker, noe som er i tråd med tidligere forskning. Hislop (1999) trekker for eksempel frem en direkte kobling mellom god kontroll og oversikt på byggeplass og på fabrikk, og antall arbeidsskader. Statistisk Sentralbyrå (2021) viser dessuten lite fallulykker knyttet til prefabrikasjon som kommer av at det er lite arbeid i høyden. Dette gjenspeiles også i MWC sin produksjon da de ikke har hatt noen fallulykker de siste fem årene. Det er likevel verdt å nevne at sikring av elementer er essensielt for å unngå elementer som kollapser, velter eller faller. Ifølge Arbeidstilsynets rapport var 13 av 21 ulykker i forbindelse med prefabrikasjon i 2019 knyttet til nettopp håndtering av elementer i form av velting, fall og kollaps (Mostue et al., 2020). Det vil si at enkelte risikoer knyttet til arbeidsulykker reduseres ved bruk av prefabrikasjon, mens andre risikoer oppstår, og krever dermed særskilt vurdering når prefabrikkerte elementer skal monteres.

Flere av intervjuobjektene mener at prefabrikasjon har potensiale til å være mer miljøvennlig enn plassbygd metode. De trekker primært frem den korte byggetiden, gjenbruk på fabrikk og redusert avfallsmengde som hovedårsakene til dette. Ifølge Berg (2008) kan det totale CO₂-utslippet fra byggeprosjekter reduseres ved hjelp av en automatisert konstruksjonsprosess, slik som prefabrikasjon. Dette kommer blant annet av at produksjon av prefabrikkerte elementer lettere kan kontrollere mengden tremateriale som trengs i produksjonen og kan dermed redusere svinn.

Prefabrikasjon har relativ liten miljøbelastning i forhold til plassbygd metode, noe som støttes av blant annet Jaillon og Poon (2008) og Lu og Yuan (2013). I intervjuene nevnes det likevel at prefabrikkert metode ofte kan medføre mer plastavfall grunnet emballasje og beskyttelse av elementer, som kan ha negativ påvirkning på klima og miljø. Igjen kan planlegging trekkes frem som en avgjørende faktor for å redusere klima- og miljøbelastning fra byggeprosjekter.

5.6 Anbefalte tiltak

Basert på resultatene og diskusjonen vil de påfølgende avsnittene presentere forslag til eventuelle tiltak som kan implementeres i prefabrikkerte bygningssystemer både hos MWC og i byggenæringen generelt.

5.6.1 Forslag til tiltak tilpasset MWC

Den totale tiden for plassbygd leilighetskompleks med lik komplettering som MWC sine elementer er i casestudien estimert til 1617 timer og det er derfor begrenset hvor mye MWC kan spare på å produsere elementene på fabrikken. For å få mer besparelser og mer utbytte av fabrikken kan en mulig løsning være å komplettere elementene i større grad og produsere lukkede elementer. Dette betyr at vegger, bjelkelag og takelementer produseres med innvendig kledning og ferdig himling på fabrikken. Det kan også være mulig å starte produksjon av innvendige vegger på fabrikk. Dette vil øke den totale byggetiden på fabrikk og det vil derfor bli rom for ytterligere besparelser ved bruk av prefabrikkerte elementer. Videre vil ytterligere planlegging alltid være fordelaktig for økt effektivitet.

5.6.2 Generelle forslag til tiltak for forbedret bruk av prefabrikasjon

5.6.2.1 Tid og kostnadseffektivisering

God og detaljert planlegging og prosjektering er viktig for å for eksempel unngå feil i bestilling eller produksjon og eventuell ekstra ventetid i prosjektet. De konkrete tiltakene nevnt for MWC kan også gjelde byggenæringen generelt, som å komplettere elementer i større grad med lukkede elementer for å få mest mulig utbytte av fabrikkproduksjon og frakt. Et annet viktig tiltak er en nøye vurdering av prefabrikkerte leverandører basert på profesjonalitet og seriøsitet, og derav kvalitet og dokumentasjon på elementene som produseres for å unngå fremtidige ekstra kostnader og feilprodusering.

5.6.2.2 Logistikk

Ifølge resultatene fra intervjuene er feilbestillinger og feilproduserte elementer en utfordring når det kommer til logistikken. God kommunikasjon og tidlig planlegging er et tiltak for å unngå slike situasjoner. Å opprette gode sjekklister og rutiner på fabrikken kan også føre til mindre feilproduserte elementer og feil leveranse. Årstiden er dessuten en vesentlig faktor knyttet til logistikk, og gode vurderinger knyttet til valg av tidspunkt for montering av bygningene kan føre med seg en enklere logistikk og lagring av materialer.

5.6.2.3 Kvalitet

Fuktproblematikken er et tema knyttet til prefabrikkerte bygninger. Det benyttes ofte bunnsvill med en styresvill under slik at det blir en dobbel bunnsvill. Dette gjør at bunnsvillen bruker noe lengre tid på å tørke. Det er en fordel å montere en tørr styresvill før montering av veggelementene. Et tiltak kan være å montere styresvillen rett før monteringen av veggelementene for å unngå at den tar til seg fukt. For enkelte vegger, særlig innervegger (ikke like strenge krav til lufttetthet) kan et tiltak være å kile opp styresvillen slik at den raskere lar seg tørke.

Det kan være hensiktsmessig å kontrollere høydeforskjeller på ringmurselementene/overflaten på ringmurskronen for å unngå luftlekkasjer ved bunnsviller. Videre vil generell god orden og ryddighet på fabrikken tilrettelegge for bedre kvalitet på elementene som skal produseres.

5.6.2.4 Planlegging og fleksibilitet

Et av de viktigste tiltakene knyttet til planlegging er å starte planleggingen så tidlig som mulig i prosessen. Et annet tiltak er å ta i bruk riktige og gode verktøy i styrings- og planleggingsprosessen, samt moderne metoder for å styre planleggingen. Eksempler er Lean-metode og moderne og effektive BIM-verktøy som følger dagens standard. Her er det essensielt med god kunnskap og kompetanse. Tiltak her kan dermed være opplæring og kurs knyttet til BIM og Lean-metodikk. Det samme gjelder verktøy for å opprette og håndtere fremdriftsplaner, som for eksempel detaljerte Gantt-diagrammer.

5.6.2.5 Miljø

Funn fra intervjuene kan tyde på at prefabrikasjon kan være mer miljøvennlig enn tradisjonell plassbygd metode. Likevel nevnes det at det kan oppstå endel plastavfall fra plastemballasje som beskytter elementene under lagring og frakt. Et konkret tiltak kan være å bytte ut

plastemballasjen med resirkulerbar presentning eller lignende for å redusere avfallet. God planlegging fører også til mindre svinn på fabrikken ved å unngå feilproduksjon.

5.6.2.6 Sikkerhet

I Arbeidstilsynet sin analyse av arbeidsulykker sett i sammenheng med prefabrikkerte bygningselementer, foreslås en rekke tiltak for å redusere antall arbeidsulykker og dødsfall. De anbefaler blant annet at prefabrikkerte elementer burde sikres ved både lessing og lossing, samt sikring ved lagring. Rapporten påpeker at god planlegging og risikoanalyse er sentrale tiltak som burde vektlegges. Videre trekkes det frem at det er viktig å unngå arbeidere i risikozonen ved montering av prefabrikkerte elementer.

5.7 Svakheter ved oppgaven

Som tidligere nevnt er det en rekke forhold ved denne oppgaven som begrenser funnene som er presentert. Oppgaven er avgrenset til en overordnet sammenligning av bruk av prefabrikkerte elementer av tre med plassbygd metode (se delkapittel 1.3 for flere avgrensninger). Det er valgt å gjøre denne sammenligningen gjennom en litteraturgjennomgang, en casestudie og intervjuer med fagpersoner. Svakheter knyttet spesifikt til metoden er nevnt i delkapittel 2.5. Oppgavens avgrensninger og metodiske svakheter gir en rekke muligheter for fremtidige studier.

Det understrekes at resultatene fra leilighetskomplekset i casestudien ikke nødvendigvis samsvarer med resultater for andre bygninger. Det er en rekke individuelle faktorer som kan spille inn på tid og kostnadskalkylen, som for eksempel utformingen på konstruksjonen, valg av løsninger, effektiviteten på arbeidet til firmaene som oppfører bygningene, og eventuelt uforutsette utfordringer. Det må også nevnes at kalkulasjonsprogrammet som ble benyttet samt den erfaringsbaserte kalkylen fra MWC kun estimerer den reelle kostnaden, og det er derfor ikke et presist resultat.

5.8 Anbefaling til fremtidig forskning

Det anbefales ytterligere forskning og undersøkelser knyttet til temaet i denne masteroppgaven. Flere studier behøves for å eventuelt validere eller avkrefte funnene og tolkningene som er gjort i denne oppgaven.

Videre er det gjort en rekke begrensninger og valg i oppgaven som fordrer nye studier. For eksempel har denne oppgaven fokusert på prefabrikkerte elementer av tre. Ved fremtidige

studier foreslås det dermed å ta utgangspunkt i prefabrikkerte elementer av andre materialer enn tre, slik som betong, massivtre eller stål, og eventuelt sammenligne ulike materialer ut fra miljøpåvirkning, effektivitet og andre faktorer. Dessuten er det valgt en casestudie og intervjuer som metode. Flere intervjuer og større og mer omfattende casestudier som tar for seg flere enkelttilfeller vil kunne styrke påfølgende funn og tendenser trukket frem her, i tillegg til andre funn som kanskje ikke er avdekket i omfanget av denne oppgaven. Spesielt gjelder dette en dypere innsikt i tids- og kostnadseffektivitet for prefabrikasjon sammenlignet med plassbygd ved at informasjon om flere bedrifter og kunnskap fra flere fagpersoner innhentes. Videre har casen heller ikke tatt utgangspunkt i miljøbelastning eller sikkerhetshensyn, så slike faktorer kan med fordel inkluderes i fremtidige casestudier.

Denne oppgaven har tatt for seg en overordnet sammenligning av prefabrikkert metode og plassbygd metode av tre for å skape en helhetlig oversikt over problemstillinger knyttet til effektivitet, planlegging, kvalitet og HMS. Det er dermed behov for mer detaljert kunnskap som tar for seg hver problemstilling separat og grundig. Dette kan for eksempel gjøres ved å ta i bruk andre metoder og gjerne i kombinasjon med et større datasett. Andre metoder og særlig de som gir kvantitative data, slik som spørreundersøkelser og kontrollerte eksperimenter, kan dermed være gunstig for å for eksempel påvise kausalitet og generalisere funn.

5.9 Konklusjon

Formålet med denne oppgaven har vært å sammenligne prefabrikkert metode med plassbygd, med et hovedfokus på elementer av tre. Dette har blitt undersøkt gjennom fem problemstillinger. Sett samlet tyder resultatene fra litteraturstudien, casestudien og intervjuene på at prefabrikkert metode kan gi en rekke fordeler sammenlignet med plassbygd metode. Potensialet som ligger i prefabrikasjon er knyttet til blant annet tid, kostnad, sikkerhet, bærekraft, kvalitet og planlegging, gitt at visse forutsetninger er oppnådd, slik som detaljert planlegging, god logistikk og lagring, og bruk av seriøse leverandører. Imidlertid kan prefabrikasjon medføre negative effekter dersom gitte forutsetninger (som for eksempel de overnevnte kriteriene) ikke blir innfridd.

Denne oppgaven kan likevel ikke konkludere med et konkret svar på hvorvidt prefabrikasjon er en bedre konstruksjonsmetode enn plassbygd. Som beskrevet i delkapittel 1.3, 3.4, 5.7 og 5.8 er det flere svakheter ved oppgaven og en rekke avgrensninger er blitt gjort, som fordrer nødvendigheten av flere og andre typer studier og metoder. Det oppgaven kan konkludere

med er dermed at det er fordeler og ulemper ved begge byggemetodene, og at riktig bruk av prefabrikasjon gir stort potensial for automatisering og effektivisering av byggeprosessen. I det følgende gis en oppsummering av hovedfunnene fra oppgaven basert på de fem problemstillingene.

Hvordan påvirkes tid og kostnad ved bruk av prefabrikkerte treelementer?

Både litteraturgjennomgangen og intervjuene tyder på at det er tidsbesparende å benytte prefabrikasjon dersom det gjennomføres på en gunstig måte. Dette gjenspeiles også i casestudien hvor resultatene viste en besparelse på 1031 timer, tilsvarende ca.65% tidsbesparelse, og 202.356 kr, tilsvarende ca. 7% kostnadsbesparelse. Litteraturstudien og intervjuene tyder likevel på at det kan være lite effektivt dersom prefabrikkert metode gjennomføres under ugunstige forhold.

Hvordan påvirkes lagring og logistikk ved bruk av prefabrikkerte treelementer?

På den ene siden viser resultatene fra intervjuene og litteraturgjennomgangen at prefabrikasjon krever mindre aktører på byggeplassen og elementene er gjerne relativt enkle å håndtere og montere, noe som sammenlagt gir enklere logistikk. På den andre siden kan feilproduksjon og feilbestilling gi store konsekvenser for logistikk, da det kan medføre alvorlige forsinkelser i byggeprosjektet. God planlegging er derfor en nøkkelfaktor for å oppnå god logistikk. Lokasjonen til byggeprosjektet kan gjøre logistikk og frakt mer krevende og det kan være spesielt utfordrende med frakt i nordiske klima. Lagring ute i værharde strøk kan gi økt risiko for blant annet fukt og tidsbruk knyttet til opptørking av elementene.

Hvordan påvirkes kvalitet ved bruk av prefabrikkerte treelementer?

Både intervjuene og litteraturgjennomgangen viser at det er mulig å oppnå like god, eller bedre, kvalitet ved bruk av prefabrikkerte elementer sammenlignet med bygningselementer som brukes i plassbygd metode. Dette samsvarer med resultatene fra casestudien hvor MWC sine bygg viser seg å ha en gjennomgående høy kvalitet med tanke på lufttetthet og fukttinnhold på de prefabrikkerte elementene av tre. Fuktmålingen viste at alle de testede bygningene hadde tilfredsstillende fukttinnhold på under 20 vektprosent, mens trykktesten viste et snitt på 0,64 luftskiftninger per time ved 50 pascal trykkdifferanse. Forhold ved frakt og oppbevaring av elementene kan likevel medføre risiko for redusert kvalitet dersom emballasje brytes eller det oppstår skade på vindspærre. Seriøse leverandører av prefabrikkerte bygningselementer har ofte god dokumentasjon som tilfredsstillende

Dokumentasjonsforskriften, mens mindre seriøse aktører kan ha mangelfull eller fraværende dokumentasjon på kvaliteten på sluttproduktene.

Hvordan påvirkes planlegging og fleksibilitet ved bruk av prefabrikkerte treelementer?

Resultatene fra denne rapporten tyder på at bruk av prefabrikasjon krever særlig god og tidlig planlegging med et høyt detaljnivå for å oppnå de positive effektene. Dette kan påvirke fleksibiliteten av byggeprosjektet da prosjekteringen og planleggingen ofte må være på plass i en tidligere fase sammenlignet med plassbygde konstruksjoner, som enklere lar seg prosjektere og planlegge underveis i byggeprosessen. Dette vil igjen gjøre det mer fleksibelt og det vil bli enklere med endringer av plassbygde løsninger. Allikevel lar det seg gjøre å bygge prefabrikkerte leiligheter med fleksible løsninger dersom det er nøye og tidlig planlagt.

Hvordan påvirkes helse, miljø og sikkerhet ved bruk av prefabrikkerte treelementer?

Oppgaven har vist at prefabrikkerte bygninger er raskere og krever mindre arbeidere på byggeplassen. Dette kan føre med seg fordeler knyttet til sikkerheten på byggeplassen. Ved prefabrikkerte bygninger vil store deler av arbeidet foregå på fabrikken under kontrollerte forhold og kjente omgivelser. For å oppnå god sikkerhet er det spesielt viktig å sikre elementene mot å velte, falle og kollapse under montering, rigging og lossing da 13 av 21 registrerte arbeidsulykker i 2019 i forbindelse med prefabrikkerte elementer skyldtes nettopp dette. Når det gjelder klima og miljø tyder både litteraturgjennomgangen og svarene fra intervjudeltakerne på at prefabrikkert metode kan være mer miljøvennlig enn plassbygd metode. Kort byggetid, gjenbruk på fabrikk og redusert avfallsmengde trekkes frem som hovedårsaker til dette. Lokasjonen på fabrikken og byggeprosjektet er avgjørende for mengden CO₂ knyttet til frakt.

Referanseliste

- Adams, W. C. (2015). Conducting Semi-Structured Interviews. I *Handbook of Practical Program Evaluation* (pp. 492-505). <https://doi.org/10.1002/9781119171386.ch19>.
- Almås, A., Gasbakk, J., Bohlerengen, T., Klinski, M. (2014). Modulbygg – like godt som plassbygde løsninger? En evaluering av modulbygg i Norge. *SINTEF Byggforsk*.
- Aye, L., Ngo, T., Crawford, R., Gammampila, R., og Mendis, P. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules, *Energy and Buildings*, 47, pp. 159-168.
- Azhar, S. (2011). 'Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry'. *Leadership and Management in Engineering*. 11(3), s. 241-252.
- Azman, M. N. A., Ahamad, M. S. S. & Wan Hussin, W. M. A. (2012). Comparative study on prefabrication construction process. *International Surveying Research Journal*, Vol 2, (1), 45-58.
- Baldwin, A., Poon, C.S., Shen, L.Y., Austin, S., og Wong, I. (2009). Designing out waste in high-rise residential buildings: analysis of precasting methods and traditional construction, *Renewable Energy*, 34, pp. 2067-2073.
- Berg, T. F. (2008). *Industrialisering og systematisering av boligbyggproduksjon*. Er systematisering og standardisering BA-næringens veivalg? Tilgjengelig fra: https://www.sintefbok.no/book/index/81/industrialisering_og_systematisering_av_boligbyggproduksjon.
- Blismas, N., Wakefield, R. (2007). Drivers constraints and the future of off-site manufacture in Australia, *Construction Innovation Special Edition*.
- Boligprodusentenes Forening (2021). Boligåret 2020 – bedre enn forventet! Pressemelding publisert 21.01.2021. Tilgjengelig fra: <https://www.boligprodusentene.no/contentassets/733998703a0e4b2fa90e461dbd12ceab/pressemelding-for-2020.pdf>.
- Byggteknisk forskrift (TEK17) (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840>.
- Chiang, Y. H., Hon-Wan Chan, E., Ka-Leung Lok, L., (2006). Prefabrication and barriers to entry—a case study of public housing and institutional buildings in Hong Kong, *Habitat International*, 30, pp. 482-499.

- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. og Liston, K. (2009). *BIM handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Edvardsen, K. I., Haug, T. og Ramstad, T. Ø. (2010). *Trehus*. 9. utg. Oslo: Norges Byggforskningsinstitutt.
- Eiken, P., Hovland, I. D., Haugsten, C., Kvifte, G., Langseth, H., Lie, M., Normann, E., Rusten, B., Sannum, H., Skjømming, C. B., Ulvatne, S. C. & Aas-Jakobsen, J. (2014). Sammen bygger vi framtiden. En strategi for en konkurransedyktig bygg- og eiendomsnæring. *Bygg21*. Tilgjengelig fra: <https://www.bygg21.no/contentassets/e6205a34fc464ceda13f15ee43dcb34b/sammen-bygger-vi-framtiden-2014.pdf>.
- FN (2021). FN's bærekraftsmål. FN-sambandet, hentet fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>.
- Frøstrup, A. (1990). *Tømrrerteori: Konstruksjoner i tre*. 3. utg. Oslo: Universitetsforlaget.
- Gibb, A.G. (1999). Off-site fabrication: Prefabrication, pre-assembly and modularization, *Whittles Publishing*, Scotland, UK.
- Gibb, A. G. F. og Neale, R. H. (1997) 'Management of Prefabrication for Complex Cladding: Case Study. *Journal of Architectural Engineering*. 3(2), s. 60-69.
- Gibb, A. G. F. (2001). 'Standardization and pre-assembly-distinguishing myth from reality using case study research'. *Construction Management & Economics*. 19 (3), s. 307-315.
- Gibb, A., Isack, F. (2003). Re-engineering through pre-assembly: client expectations and drivers, *Building Research & Information*, 31, pp. 146-160.
- Goodier, C. og Gibb, A. (2007). Future opportunities for offsite in the UK. *Construction Management and Economics*, 25, pp. 585-595.
- Grant, M. J. and Booth, A. (2009) A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information and Libraris Journal*, 26, 99-108.
- Greenhalgh, T., Thorne, S. and Malterud, K. (2018). Time to challenge the spurious hierarchy over narrative reviews? *European Journal of Clinical Investigation*, 48;e12931.
- Hislop, R. D. (1999). Construction site safety: A guide for managing contractors. Lewis Publishers, CRC Press. Florida, United States.
- Holte SmartKalk (2020). Programvare. Holte: <https://holte.no/produkt/smartkalk-kalkulasjonssystem/>.

- Jaillon, L., Poon, C. (2008). Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: a Hong Kong case study, *Construction Management and Economics*, 26, pp. 953-966.
- Jaillon, L., Poon, C. S. (2010). Design issues of using prefabrication in Hong Kong building construction, *Construction Management and Economics*, 28, pp. 1025-1042.
- Johnsson, H., & Meiling, J. H. (2009). Defects in offsite construction: timber module prefabrication. *Construction Management and Economics*, 27(7), 667-681. doi:10.1080/01446190903002797.
- Jonsson, H. og Rudberg, M. (2013). Classification of production systems for industrialized building: a production strategy perspective, *Construction Management and Economics*, pp. 1-17.
- Knaack, U., Chung-Klatte, S. og Hasselbach, R. (2012). *Prefabricated systems: Principles of construction*. Basel: Birkhäuser. doi: /10.1515/9783034611404.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Teknisk rapport, CIFE, Stanford University. Tilgjengelig fra: <https://stacks.stanford.edu/file/druid:kh328xt3298/TR072.pdf>.
- Leire, S., Bech, S., Giske, A., Blakstad, S. H., Nikolaisen, H., Østberg, N. & Sigvartsen, J. (2019). Industrialisering av byggeprosjekter. Et oppdrag fra Kommunal- og moderniseringsdepartementet. *Bygg21*. Tilgjengelig fra: https://www.bygg21.no/globalassets/rapport-pdf/00000_interaktiv_arb.gr.5_hovedrapport_industrialisering.pdf.
- Li, H., Guo, H., Skitmore, M., Huang, T. Chan, K., Chan, G. (2011). Rethinking prefabricated construction management using the VP-based IKEA model in Hong Kong, *Construction Management and Economics*, 29, pp. 233-245
- Li, Z., Shen, G. Q., og Xue, X. (2014). Critical review of the research on the management of prefabricated construction, *Habitat International*, Volum 43, pp 240-249, ISSN 0197-3975, <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.04.001>.
- Lopez-Mesa, B., Pitarch, A. Tomas, A. Gallego, T. (2009). Comparison of environmental impacts of building structures with in situ cast floors and with precast concrete floors, *Building and Environment*, 44, pp. 699-712.
- Lu, W., & Yuan, H. (2013). Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 804-811. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.048>.

- Malthus. (2020). 5 fordeler med modulbygg. Malthus Uniteam. Hentet fra:
<https://malthusuniteam.com/blog/2020/03/19/5-fordeler-med-modulbygg/>.
- Marasini, R., Dawood, N.N. Hobbs, B. (2001). Stockyard layout planning in precast concrete products industry: a case study and proposed framework, *Construction Management & Economics*, 19, pp. 365-377.
- Martinson, K., & O'Brien, C. (2015). Conducting Case Studies. I *Handbook of Practical Program Evaluation* (pp. 177-196). <https://doi.org/10.1002/9781119171386.ch8>.
- Meland, Ø. H. (2000). *Prosjekteringsledelse i byggeprosessen: Suksesspåvirker eller andres alibi for fiasko*. Doktorgrad-avhandling, NTNU, Trondheim. Hentet fra:
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:no:ntnu:diva-536>.
- Meiling, J. H., Sandberg, M. og Johnsson, H. (2013). A study of a plan-do-check-act method used in less industrialized activities: two cases from industrialized housebuilding, *Construction Management and Economics*, pp. 1-17.
- Mostue, B. A., Nyrønning, C. Å., Winge, S., & Gravseth, H. M. (2020). Samarbeid for sikkerhet i bygg og anlegg: Ulykker i bygg og anlegg – Rapport 2020. Arbeidstilsynet, hentet fra: https://www.arbeidstilsynet.no/globalassets/om-oss/forskning-og-rapporter/kompass-tema-rapporter/2020/kompass-tema_nr2_2020-ulykker-i-bygg-og-anlegg.pdf.
- Moum, A., Høilund-Kaupang, H., Olsson, N. & Bredeli, M. (2017). Industrialisering av byggeprosessene: Status og trender. *Forskningsrapport, SINTEF Byggforsk*.
- Nadim, W. Goulding, J. S. (2010). Offsite production in the UK: the way forward? A UK construction industry perspective, *Construction Innovation: Information, Process, Management*, 10, pp. 181-202.
- Nakken, O., Lilleland-Olsen, M., Woldseth, M. K. & Malm, E. (2015). Markedsundersøkelse - industriell byggemetodikk. Sykehuset i Vestfold – Tønsbergprosjektet. Hentet fra:
<http://tonsbergprosjektet.no/wp-content/uploads/2017/02/Markedsunders%C3%B8kelse-SIV.pdf>.
- Nawari, O. N. (2012). 'BNIM Standard in Off-Site Construction'. *Journal of Architectural Engineering*. 18 (2), s. 107-113.
- NITO (2020). Hva er egentlig Lean – Lean på 1, 2, 3. NITO, hentet fra:
<https://www.nito.no/medlemsfordel/case/fag-og-karriere/hva-er-lean/>.
- Oslo Economics (2020). Kartlegging av hvordan Covid-19 påvirker markedene for bygg og anlegg. Utarbeidet for Finansdepartementet. Hentet fra:

- https://www.regjeringen.no/contentassets/d16417cc990c457db3fb2965dcdf3abe/rappo-rt-covid19-i-bygg-og-anlegg-1_1.pdf.
- Pan, W., Gibb, A. G., og Dainty, A. R. (2008). Leading UK housebuilders' utilization of offsite construction methods, *Building Research & Information*, 36, pp. 56-67.
- Pan, W. Gibb, A.G. Sellars, A.B. (2008). Maintenance cost implications of utilizing bathroom modules manufactured offsite, *Construction Management and Economics*, 26, pp. 1067-1077.
- Pan, W. Sidwell, R. (2011). Demystifying the cost barriers to offsite construction in the UK, *Construction Management and Economics*, 29, pp. 1081-1099.
- Pons, O. Wadel, G. (2011). Environmental impacts of prefabricated school buildings in Catalonia, *Habitat International*, 35, pp. 553-563.
- Richard, R. B. (2005). Industrialised building systems: reproduction before automation and robotics, *Automation in Construction*, 14, pp. 442-451.
- SINTEF (2016). Modulbygg bedre enn sitt rykte. SINTEF, hentet fra:
<https://www.sintef.no/siste-nytt/2016/modulbygg-bedre-enn-sitt-rykte/>.
- SINTEF Byggforsk (2003). Materialer til luft- og dampetting. Byggdetaljer 573.121, Vår 2003. Hentet fra:
https://www.byggforsk.no/dokument/598/materialer_til_luft_og_dampetting.
- SINTEF Byggforsk (2021). Uttørking og forebygging av byggfukt. Byggdetaljer 474.533, Mars 2021. Hentet fra:
https://www.byggforsk.no/dokument/227/uttoerking_og_forebygging_av_byggfukt.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339.
- Sparksman, G., Groak, S., Gibb, A. og Neale, R. (1999). Standardisation and pre-assembly: Adding value to construction projects, *CIRIA report 176*.
- Statistisk Sentralbyrå (2021). Avfallsregnskapet. Avfallsregnskap for Norge, avfallsmengder etter kilde. Statistisk Sentralbyrå, statistikkbanken, hentet fra:
<https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avfregno>.
- Tam, W. Tam, C. Chan, W. Ng, W. C. (2006). Cutting construction wastes by prefabrication, *International Journal of Construction Management*, 6, pp. 15-25.
- Tam, W. Tam, C. Zeng, S. Ng, W. C. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction, *Building and Environment*, 42, pp. 3642-3654.
- Tomassen, H., Leszcynski, E. & Elnan, K. (2014). *Markedsanalyse og kartlegging av modul- og elementimport til det norske markedet*. Prognosesenteret, hentet fra:

<https://docplayer.me/6230928-Markedsanalyse-og-kartlegging-av-modul-og-elementimport-til-det-norske-markedet.html>.

Wimmers, G. (2017). Wood: A construction material for tall buildings. *Nature Reviews Materials* 2, 17051. <https://doi.org/10.1038/natrevmats.2017.51>.

Won, I., Na, Y., Kim, J.T., Kim, S. (2013). Energy-efficient algorithms of the steam curing for the in-situ production of precast concrete members, *Energy and Buildings*.

Wong, F. & Tang, Y. T. (2012). Comparative Embodied Carbon Analysis of the Prefabrication Elements compared with In-situ Elements in Residential Building Development of Hong Kong. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 6.

Vedlegg

Vedlegg A: Sammendrag av dimensjonering av bærekonstruksjon i case

Last fra tak

Lastene fra taket blir ført til bærende yttervegg, skillevegg i midten av bygget samt en innvendig understøttelse med bjelke og tre-søyer mellom bærende yttervegg og bærende skillevegg. Egenvekten på taket er beregnet til ca. 2 kN/m^2 , snølast $Sk_0=3,5\text{ kN}$.

Nr.	Takoppbygging, egenlast	Last i kN/m^2
1	Torv 150-170mm (650kg/m ³)	1,500
2	Takmembran	0,050
3	Kryssf-plate	0,135
4	Lekter 48x48 cc600	0,012
5	Lekter 48x48 cc600	0,012
6	I-bjelke 70mmx250mm cc600	0,192
7	Rockwool 350mm (18kg/m ³)	0,081
Sum	1,982 kN/m^2	

Last fra vegger

Ved dimensjonering av yttervegg er ikke egenvekten fra stendere og svill medregnet i lastberegningen da beregningsprogrammet inkluderer disse lastene. De resterende materialene i veggen har en egenvekt beregnet til ca. $0,34\text{ kN/ m}^2$

Nr.	Yttervegg, egenlast	Last i kN/ m^2
1	Utvendig panel 19x150	0,076
2	Horisontale lekter 36x48 cc600	0,010
3	Sløyfer cc600	0,005
4	GU-Gips 9,5mm	0,095
5	Mineralull 200mm	0,036
6	Mineralull 50mm	0,009
7	Horisontale lekter 48x48 cc600	0,011
8	Innvendig gips 13mm	0,100
Sum	0,342 kN/ m^2	

Last fra etasjeskiller

Nr.	Bjelkelag av tre, egenlast	Last i kN/m²
1	Sponplate 22mm	0,120
2	Parkett	0,150
3	Bjelker 48x223 cc600	0,170
4	Rockwool 250mm (18kg/m ³)	0,045
5	Lekter 48x48 cc600	0,012
6	Gipsplate 13mm	0,100
Sum		0,597 kN/m²


Nr.	Hulldekke 200mm, egenlast	Last i kN/m²
1	Parkett	0,150
2	Hulldekke 200mm + påstøp	2,550
3	Trinnlydplate 36mm	0,100
4	Lekter 48x48 cc600	0,012
5	Gipsplate 13mm	0,100
Sum		2,912 kN/m²

Lastbredder

Lastbredde tak akse 1-2	1,6 m
Lastbredde 3 etasje akse 1-2	1,6 m
Lastbredde hulldekke 2 etasje akse 1-2	3,2 m

Utdrag fra styrkeberegning fra Focus Konstruksjon

Gulvbjelke

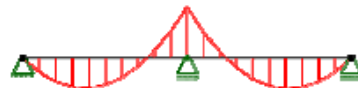
21.02.2021
0. SAMMENDRAG
Modell Antall segmenter: 1 Antall knutepunkt: 2
Analyse Antall lastkombinasjoner: 1
Forskyvning / snittkrefter Største forskyvning: 6,1 mm (Segmentnr. 1) Største N: 0,00 kN Største V: 4,66 kN (Segmentnr. 1) Største M: 3,01 kN·m (Segmentnr. 1)
Kapasitet Største kapasitetsutnyttelse: 56,30 % Info: EN 1995-1-1 6.3.3 (6.33)
 <p>The diagram shows a horizontal beam supported by three triangular supports. The beam is divided into two segments by a central support. The left segment is highlighted in yellow, indicating the location of the maximum capacity utilization.</p>
Største kapasitetsutnyttelse: 56,30 % (EN 1995-1-1 6.3.3 (6.33))

2.4.1. Forskyvning



Største forskyvning: 6,1 mm

2.4.2. Moment - segmenter



Største moment: 3,01 kN-m

2.4.3. Aksialkraft - segmenter



2.4.4. Skjærkraft - segmenter

Største aksialkraft: 0,00 kN



Største skjærkraft: 4,66 kN

1.3. MATERIALDATA

1 C24, Heltre	Material: Heltre
Varmeutv.koeff.: 5,00e-006 °C ⁻¹	Tyngdetetthet: 4,12 kN/m ³
Fasthetsklasse: C24	
Sprekkfaktor k_{cr} : 0,67	Total vekt: 0,28 kN
Karakteristiske fasthetsparametre:	
$f_{mk} = 24,00 \text{ N/mm}^2$	$f_{vk} = 4,00 \text{ N/mm}^2$
$f_{t0k} = 14,50 \text{ N/mm}^2$	$f_{c0k} = 21,00 \text{ N/mm}^2$
$f_{t90k} = 0,40 \text{ N/mm}^2$	$f_{c90k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$

1.4. SEGMENTDATA

Seg Nr.	Kn.pkt 1	Kn.pkt 2	Tvsn 1	Tvsn 2	Material	Type / Form	Rot. [°]	Uend. stiv?
1	1	2	Justert 48x223	Justert 48x223	C24, Heltre	Rett bjelke		Nei

1.4.1. Segmentdata EN 1995

Seg. nr	Mat.faktor Gamma_M	Klima-klasse	k_{sys}	L_{ky} [mm]	L_{kz} [mm]	L_{ef} [mm]	Stivhetsparametre [N/mm ²]
1	1,25	2	1,00	600	600	600	Permanent: E = 6,1111e+003 G = 3,8333e+002 Annen variabel: E = 6,1111e+003 G = 3,8333e+002

1.5. RANDBETINGELSER

1.5.1 Punktrandbetingelser

Nr.	X [mm]	Z [mm]	Frih.gr. X	Z	RotY	X-vektor	Z-vektor
1 (Seg)	0	0	F	F		[1,00; 0,00]	[0,00; 1,00]
1 (Seg)	3200	0		F		[1,00; 0,00]	[0,00; 1,00]
1 (Seg)	6400	0		F		[1,00; 0,00]	[0,00; 1,00]

Focus Konstruksjon 2021

1.6. LASTTILFELLER

1.6.1 Lasttilfeller

3 Nyttelast

Lasttype:	Annen variabel		
Lastvarighet:	Langtidslast		
1 Linjelast	P1 = 1,20 kN/m X1 = 0 mm P2 = 1,20 kN/m X2 = 3200 mm Retning = [0; -1] Virker på segment: 1 Inkluder masse: Nei	Z1 = 0 mm Z2 = 0 mm	
2 Linjelast	P1 = 1,20 kN/m X1 = 6400 mm P2 = 1,20 kN/m X2 = 3200 mm Retning = [0; -1] Virker på segment: 1 Inkluder masse: Nei	Z1 = 0 mm Z2 = 0 mm	

4 Egenlast

Lasttype:	Permanent last		
Lastvarighet:	Permanent		
1 Linjelast	P1 = 0,40 kN/m X1 = 0 mm P2 = 0,40 kN/m X2 = 3200 mm Retning = [0; -1] Virker på segment: 1 Inkluder masse: Nei	Z1 = 0 mm Z2 = 0 mm	
2 Linjelast	P1 = 0,40 kN/m X1 = 3200 mm P2 = 0,40 kN/m X2 = 6400 mm Retning = [0; -1] Virker på segment: 1 Inkluder masse: Nei	Z1 = 0 mm Z2 = 0 mm	

1.7. LASTKOMBINASJON

Beregning utført for lastkombinasjon

(1) Brudd: $1,35 \cdot \langle kt \rangle +$
 $1,35 \cdot \text{Egenlast} +$
 $1,50 \cdot \text{Nyttelast}$

Grensetilstand: Brudd

Lasttilfeller: $1,35 \cdot \langle \text{Konstruksjonens tyngde} \rangle$
 $1,35 \cdot \text{Egenlast}$
 $1,50 \cdot \text{Nyttelast (Dominerende)}$

1.8. ANALYSEINFORMASJON

2. BEREGNINGER

2.1. KNOTEPUNKTSRESULTATER

2.1.1. Forskyvninger

Nr.	u [mm]	w [mm]	rotY [°]
1	0,0	0,0	0,4
2	0,0	0,0	-0,4

2.1.2. Residualkrefter

Nr.	Rx [kN]	Rz [kN]	RMy [kN·m]
1	0,00	2,90	0,00
2	0,00	2,93	0,00

2.2. OPPLEGGSKREFTER

Nr.	X [mm]	Z [mm]	Rx [kN]	Rz [kN]	RMy [kN·m]
1 (Seg)	0	0	0,00	2,90	0,00
1 (Seg)	3200	0	0,00	9,53	0,00
1 (Seg)	6400	0	0,00	2,93	0,00
	Sum		0,00	15,36	

2.3. SEGMENTRESULTATER

2.3.1. Forskyvninger

Seg Nr.	Snitt mm	u [mm]	w [mm]	rotY [°]
1	0	0,0	0,0	0,4
	3840	0,0	-2,4	0,2
	5120	0,0	-8,1	0,0
	6400	0,0	0,0	-0,4

2.3.2. Krefter

Seg Nr.	Snitt mm	N [kN]	Vz [kN]	My [kN·m]
1	0	0,00	2,51	0,00
	3200	0,00	4,66	3,01
	3520	0,00	4,66	1,52
	6400	0,00	-2,54	0,00

Bindingsverksvegg med opplegg til HD

01.05.2021

0. SAMMENDRAG

Modell

Antall segmenter: 13

Antall knutepunkt: 24

Analyse

Antall lastkombinasjoner: 1

Forskyvning / snittkrefter

Største forskyvning: 1,1 mm (Segmentnr. 1)

Største N: -24,10 kN (Segmentnr. 11)

Største Vy: -0,01 kN (Segmentnr. 1)

Største Vz: 12,40 kN (Segmentnr. 1)

Største Mx: 0,40 kN·m (Segmentnr. 1)

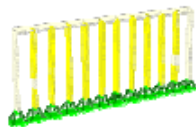
Største My: -1,75 kN·m (Segmentnr. 1)

Største Mz: -0,02 kN·m (Segmentnr. 13)

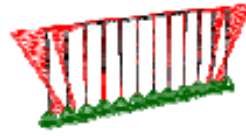
Kapasitet

Største kapasitetsutnyttelse: 22,31 %

Info: EN 1995-1-1 6.3.2 (6.23)

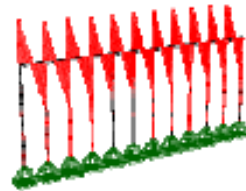


Største kapasitetsutnyttelse: 22,31 % (EN 1995-1-1 6.3.2 (6.23))



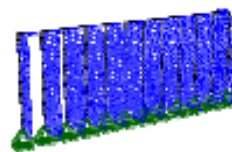
2.4.4. Torsjonsmoment - segmenter

Største moment om z-akse: -0,02 kN-m



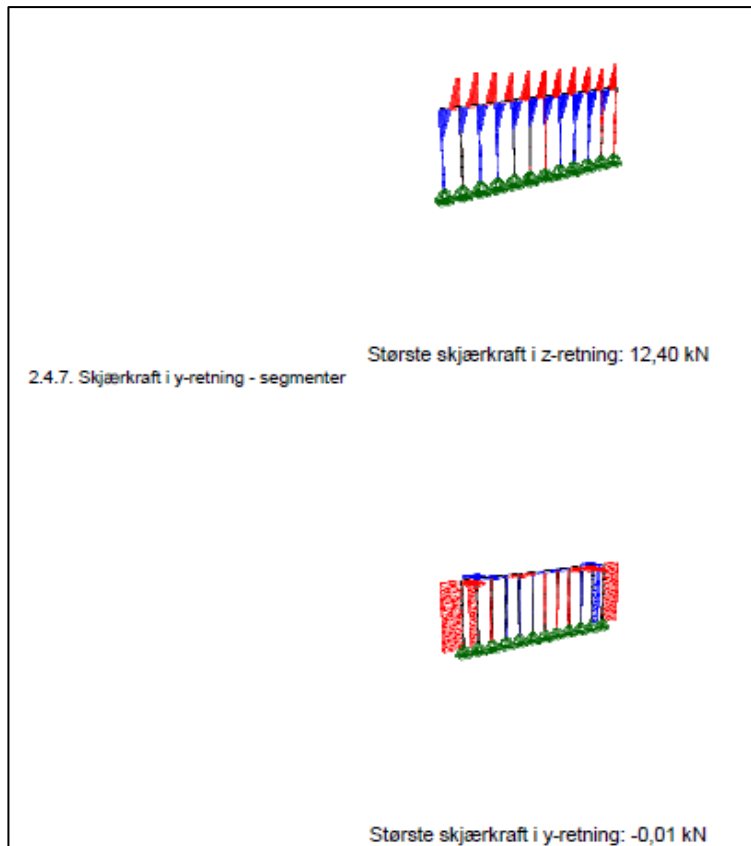
2.4.5. Aksialkraft - segmenter

Største torsjonsmoment: 0,40 kN-m



2.4.6. Skjærkraft i z-retning - segmenter

Største aksialkraft: -24,10 kN



1.3. MATERIALDATA

1 C24, Heltre

Varmeutv.koeff.: $5,00 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Material: Heltre

Tyngdetetthet: $4,12 \text{ kN/m}^3$

Fasthetsklasse: C24

Sprekkfaktor k_{cr} : 0,67

Total vekt: 1,17 kN

Karakteristiske fasthetsparametre:

$f_{mk} = 24,00 \text{ N/mm}^2$

$f_{vk} = 4,00 \text{ N/mm}^2$

$f_{t0k} = 14,50 \text{ N/mm}^2$

$f_{c0k} = 21,00 \text{ N/mm}^2$

$f_{t90k} = 0,40 \text{ N/mm}^2$

$f_{c90k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$

2 S355, Stål

Material: Stål

Fasthetsklasse: S355

Varmeutv.koeff.: $1,20 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Tyngdetetthet: $77,01 \text{ kN/m}^3$

E-modul: $2,1000 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

G-modul: $8,1000 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

Total vekt: 2,19 kN

Karakteristiske fasthetsparametre:

$f_y = 355,00 \text{ N/mm}^2$ for godstykkelse $\leq 40,0 \text{ mm}$

$f_y = 335,00 \text{ N/mm}^2$ for godstykkelse $\leq 80,0 \text{ mm}$

$f_y = 335,00 \text{ N/mm}^2$ for godstykkelse $> 80,0 \text{ mm}$

1.6. LASTTILFELLER

1.6.1 Lasttilfeller

3 Nyttelast

Lasttype:	Annen variabel		
Lastvarighet:	Langtidslast		
1 Linjelast	P1 = 9,60 kN/m X1 = 8000 mm P2 = 9,60 kN/m X2 = 8000 mm Retning = [0; 0; -1] Virker på segment: 1 Inkluder masse: Nei	Y1 = 6600 mm Y2 = 0 mm	Z1 = 2500 mm Z2 = 2500 mm

4 Egenlast

	Lasttype:	Permanent last		
	Lastvarighet:	Permanent		
	1 Linjelast	P1 = 13,20 kN/m X1 = 8000 mm P2 = 13,20 kN/m X2 = 8000 mm Retning = [0; 0; -1] Virker på segment: 1 Inkluder masse: Nei	Y1 = 6600 mm Y2 = 0 mm	Z1 = 2500 mm Z2 = 2500 mm
5 Snølast	Lasttype:	Snølast: Norge, Island, Finland, Sverige		
	Lastvarighet:	Halvårslast		
	1 Linjelast	P1 = 5,60 kN/m X1 = 8000 mm P2 = 5,60 kN/m X2 = 8000 mm Retning = [0; 0; -1] Virker på segment: 1 Inkluder masse: Nei	Y1 = 6600 mm Y2 = 0 mm	Z1 = 2500 mm Z2 = 2500 mm

1.7. LASTKOMBINASJON

Beregning utført for lastkombinasjon

(1) Brudd: 1,35-<kt> +
1,35·Egenlast +
1,50·Nyttelast +
1,05·Snølast

Grensetilstand: Brudd

Lasttilfeller: 1,35 * <Konstruksjonens tyngde>
1,35 * Egenlast
1,50 * Nyttelast (Dominerende)
1,05 * Snølast

0. SAMMENDRAG

Modell

Antall segmenter: 1

Antall knutepunkt: 2

Analyse

Antall lastkombinasjoner: 1

Forskyvning / snittkrefter

Største forskyvning: 5,6 mm (Segmentnr. 1)

Største N: 3,51 kN (Segmentnr. 1)

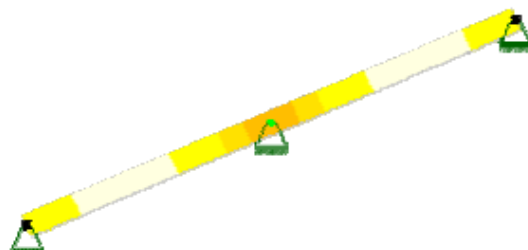
Største V: -8,32 kN (Segmentnr. 1)

Største M: 5,69 kN·m (Segmentnr. 1)

Kapazität

Største kapasitetsutnyttelse: 61,66 %

Info: EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)



Største kapasitetsutnyttelse: 61,66 % (EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9))

1.3. MATERIALDATA

1 SJ, Hunton

Varmeutv.koeff.: 5,00e-006 °C⁻¹

Tyngdetetthet: 4,71 kN/m³

Fasthetsklasse: SJ

Total vekt: 0,29 kN

Karakteristiske fasthetsparametre:

f_{mk} = 48,00 N/mm²

f_{vk} = 14,00 N/mm²

f_{tdk} = 38,00 N/mm²

f_{cdk} = 38,00 N/mm²

1.4. SEGMENTDATA

Seg Nr.	Kn.pkt 1	Kn.pkt 2	Tvsn 1	Tvsn 2	Material	Type / Form	Rot. [°]	Uend. stiv?
1	1	2	SJL 90 H300	SJL 90 H300	SJ, Hunton	Rett bjelke		Nei

1.4.1. Segmentdata EN 1995

Seg. nr	Mat.faktor Gamma_M	Klima-klasse	k _{sys}	L _{ky} [mm]	L _{kz} [mm]	L _{ef} [mm]	Stivhetsparametre [N/mm ²]
1	1,30	2	1,00	600	600	600	Snølast nordisk: E = 1,2483e+004 G = 1,7500e+003 Permanent: E = 7,2816e+003 G = 5,2500e+002

1.5. RANDBETINGELSER

1.5.1 Punktrandbetingelser

Nr.	X [mm]	Z [mm]	Frih.gr. X	Z	RotY	X-vektor	Z-vektor
1 (Seg)	0	0	F	F		[1,00; 0,00]	[0,00; 1,00]
1 (Seg)	3200	1350		F		[1,00; 0,00]	[0,00; 1,00]
1 (Seg)	6400	2700		F		[1,00; 0,00]	[0,00; 1,00]

1.6. LASTTILFELLER

1.6.1 Lasttilfeller

4 Egenlast

Lasttype:	Permanent last		
Lastvarighet:	Permanent		
1 Linjelast	P1 = 1,20 kN/m X1 = 0 mm P2 = 1,20 kN/m X2 = 6400 mm Retning = [0; -1] Virker på segment: 1 Inkluder masse: Nei	Z1 = 0 mm Z2 = 2700 mm	

5 Snølast

Lasttype:	Snølast: Norge, Island, Finland, Sverige		
Lastvarighet:	Halvårslast		
1 Linjelast	P1 = 2,10 kN/m X1 = 0 mm P2 = 2,10 kN/m X2 = 6400 mm Retning = [0; -1] Virker på segment: 1 Inkluder masse: Nei	Z1 = 0 mm Z2 = 2700 mm	

1.7. LASTKOMBINASJON

Beregning utført for lastkombinasjon

- (1) Brudd: 1,20·<kt> +
1,20·Egenlast +
1,50·Snølast

Grensetilstand: Brudd

Lasttilfeller: 1,20 * <Konstruksjonens tyngde>
1,20 * Egenlast
1,50 * Snølast (Dominerende)

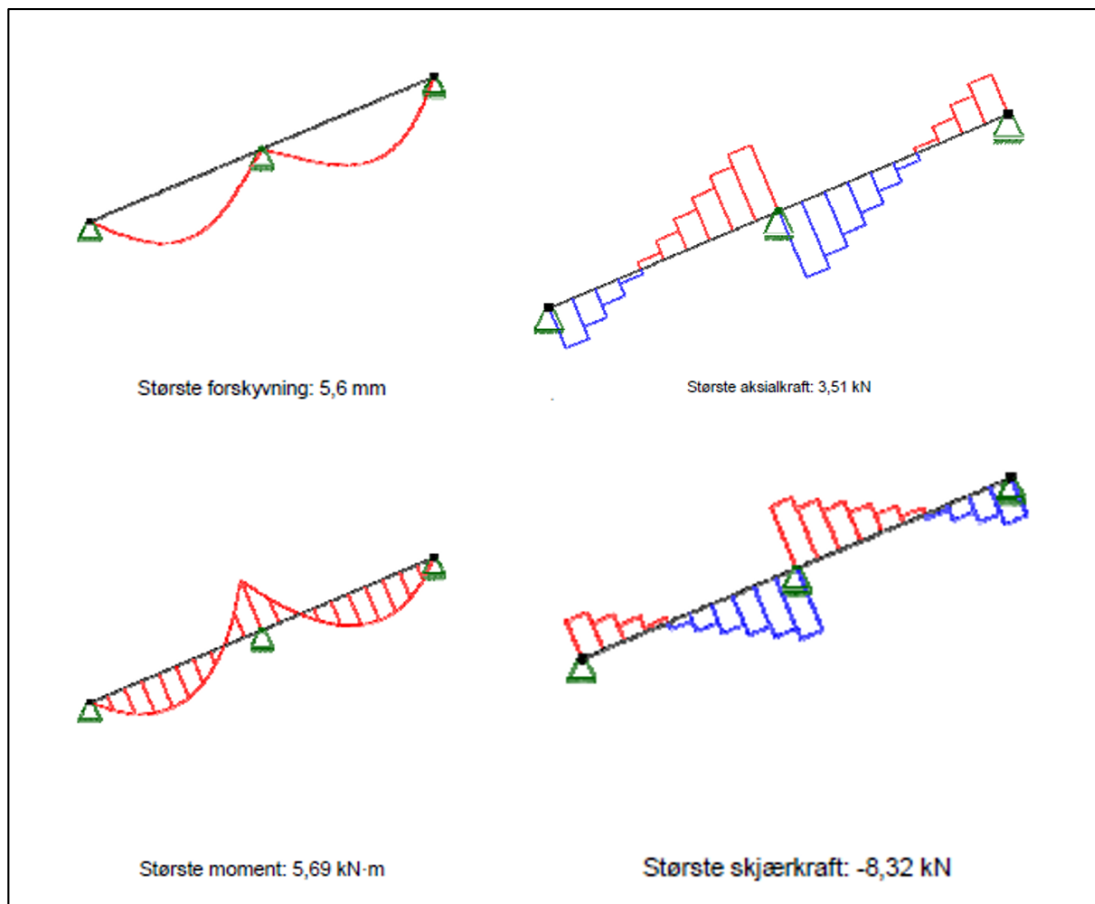
1.8. ANALYSEINFORMASJON

Inkluder skjærdeformasjoner: Ja

3. KAPASITETSKONTROLL

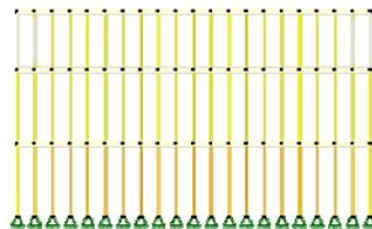
3.1. EN 1995 UTNYTTELSESGRAD

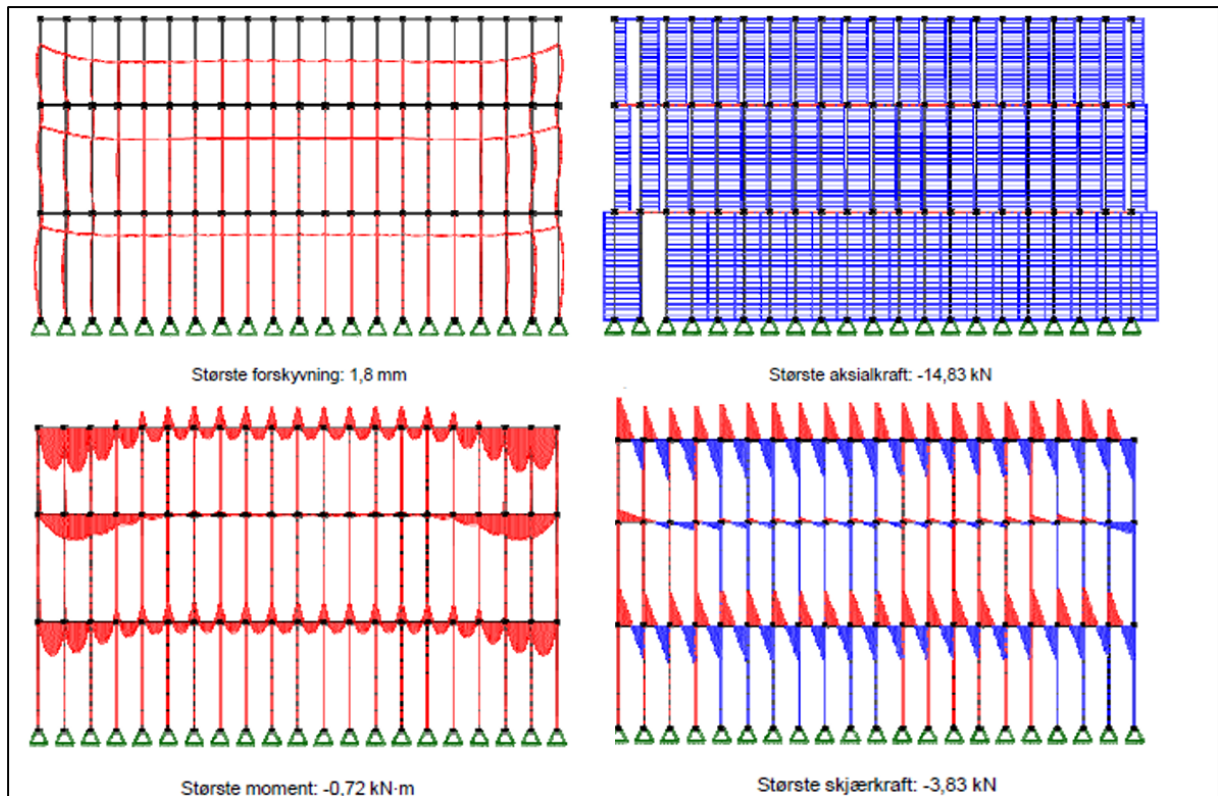
Seg. nr	Snitt [mm]	Bøy/Aks	Skjær/Tor	Tv.str	Info
1	0	0,01	0,37		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)
	695	0,16	0,26		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)
	1389	0,20	0,04		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.3)
	2084	0,14	0,18		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)
	2778	0,03	0,40		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)
	3126	0,16	0,62		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)
	3473	0,30	0,62		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)
	4168	0,04	0,51		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)
	4862	0,15	0,29		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)
	5557	0,20	0,07		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.3)
	6252	0,15	0,15		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)
	6946	0,01	0,37		EN 1995-1-1 9.1.1 (9.9)



Midtvegg

21.02.2021	
0. SAMMENDRAG	
Modell	
Antall segmenter:	123
Antall knutepunkt:	84
Analyse	
Antall lastkombinasjoner:	1
Forskyvning / snittkrefter	
Største forskyvning:	1,8 mm (Segmentnr. 5)
Største N:	-14,83 kN (Segmentnr. 5)
Største V:	-3,83 kN (Segmentnr. 123)
Største M:	-0,72 kN-m (Segmentnr. 105)
Kapasitet	
Største kapasitetsutnyttelse:	63,22 %
Info:	NS3470 12.1.10 (31)
Største kapasitetsutnyttelse: 63,22 % (NS3470 12.1.10 (31))	





1.3. MATERIALDATA

1C24, Heltre

Varmeutv.koeff.: 5,00e-006 °C⁻¹

Fasthetsklasse: C24

Total vekt: 7,32 kN

Material: Heltre

Tyngdetetthet: 3,43 kN/m³

Karakteristiske fasthetsparametre:

f_{mk} = 24,00 N/mm²

f_{vk} = 2,50 N/mm²

f_{10k} = 14,00 N/mm²

f_{c0k} = 21,00 N/mm²

f_{190k} = 0,40 N/mm²

f_{c90k} = 5,30 N/mm²

1.6. LASTTILFELLER

1.6.1 Lasttilfeller

3 Nyttelast

Lastvarighet:

1 Linjelast

Lasttype: Annen variabel

C

P1 = 3,00 kN/m

X1 = 0 mm

Z1 = 5000 mm

P2 = 3,00 kN/m

X2 = 600 mm

Z2 = 5000 mm

Retning = [0; -1]

Virker på segment: 63

Inkluder masse: Nei

4 Egenlast

Lasttype: Permanent
Lastvarighet: P

Focus Konstruksjon 2021

21.02.2021

Side: 17

1 Linjelast

P1 = 3,00 kN/m
X1 = 0 mm Z1 = 7000 mm
P2 = 3,00 kN/m
X2 = 600 mm Z2 = 7000 mm
Retning = [0; -1]
Virker på segment: 104
Inkluder masse: Nei

5 Snølast

Focus Konstruksjon 2021

21.02.2021

Lasttype: Snølast

Lastvarighet: B

1 Linjelast

P1 = 5,25 kN/m
X1 = 0 mm Z1 = 7000 mm
P2 = 5,25 kN/m
X2 = 600 mm Z2 = 7000 mm
Retning = [0; -1]
Virker på segment: 104
Inkluder masse: Nei

2 Linjelast

P1 = 5,25 kN/m
X1 = 600 mm Z1 = 7000 mm
P2 = 5,25 kN/m
X2 = 1200 mm Z2 = 7000 mm
Retning = [0; -1]
Virker på segment: 105
Inkluder masse: Nei

1.7. LASTKOMBINASJON

Beregning utført for lastkombinasjon

(2) Brudd: 1,20·<kt> +
1,20·Egenlast +
1,50·Snølast

Grensetilstand:

Brudd

PrintElement.Model.LoadCo 1,20 * <Konstruksjonens tyngde>
mb.LoadCases 1,20 * Egenlast
 1,50 * Snølast

Vedlegg B: Informasjonsbrev og samtykkeskjema

Forespørsel om deltakelse i forskningsprosjektet:

«Prefabrikkert eller plassbygd? Sammenligning av byggemetode for leilighetskomplekser av tre»

Formålet med studien

Formålet med studien er å undersøke bruk av prefabrikkerte bygningselementer av tre i leilighetskomplekser med plassbygde sett opp mot effektivitet, pris, kvalitet, fleksibilitet, miljø, og planlegging. Problemstillingen for studien er følgende: *«Hvordan påvirker bruk av prefabrikkerte bygningselementer av tre tid, kostnad, kvalitet, fleksibilitet, planlegging og miljø?»*. Studien er en del av en masteroppgave innen Integreert Bygningsteknologi ved Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, UiT. Masteroppgaven skrives delvis i samarbeid med MWC Gruppen AS, da bedriften ønsker å undersøke hvorvidt bruk av prefabrikkerte løsninger lønner seg sammenlignet med konvensjonell plassbygging av leilighetskomplekser i tre.

Hvorfor får du spørsmål om å delta?

Du blir spurt om å delta i intervju i denne studien ettersom din arbeidskompetanse og faglige bakgrunn oppfattes som høyst relevant for studiens tematikk og formål.

Hva innebærer deltakelse i studien?

Deltakelse i studien innebærer å delta i et intervju. Varigheten av intervjuet vil vare omtrent 30 minutter. Du vil bli spurt spørsmål knyttet til bruk av prefabrikkerte elementer, inkludert tid, kostnad, planlegging, montering, oppføring og miljøpåvirkning. Du vil også bli spurt spørsmål om bakgrunnen din, samt hvilke erfaringer du har med prefabrikkerte løsninger. Intervjuet vil, av hensyn til smittevern, foregå over telefon. Samtalen vil ikke bli tatt opp på lydbånd av hensyn til anonymitet. For å sikre opplysninger som kommer frem i intervjuet vil det tas notater for hånd.

Deltakelse er frivillig

Det er frivillig å delta i studien, og du kan når som helst trekke ditt samtykke uten å oppgi grunn. Dette vil ikke medføre noen negative konsekvenser for deg.

Opplysningene du gir i intervjuet vil bli anonymisert og utdrag kan bli gjengitt i undertegnede masteroppgave. Det vil altså ikke være mulig å identifisere deg, eller på noen som helst måte knytte deg til opplysningene dine i masteroppgaven.

Kontaktinformasjon

Dersom du ønsker å delta eller har spørsmål til studien, ta kontakt med undertegnede Jonas Pedersen på epost (jpe103@uit.no) eller telefon (99427655).

Med vennlig hilsen

Jonas Pedersen

Masterstudent i Integrert Bygningsteknologi ved Norges Arktiske Universitet (UiT)

Mobil: 99427655

Epost: jpe103@uit.no

Samtykke til deltakelse i studien

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet «*Prefabrikkert eller plassbygd? Sammenligning av byggemetode for leilighetskomplekser av tre*», og samtykker til å delta:

Signatur

Sted og dato

Vedlegg C: Intervjuguide

Informasjon om intervjuet

Formålet med dette intervjuet er å samle inn kunnskap fra fagpersoner knyttet til bruk av prefabrikkerte bygningselementer av tre i leilighetskomplekser. Hensikten med å samle inn denne kunnskapen er å undersøke bruk av prefabrikkerte bygningselementer av tre i leilighetskomplekser med plassbygde sett opp mot effektivitet, pris, kvalitet, fleksibilitet, miljø, og planlegging. Innsamlet informasjon fra intervjuet vil bli brukt i resultatdelen av min masteroppgave, som vil bli innlevert våren 2021.

Du vil først bli spurt spørsmål om bakgrunnen din, samt hvilke erfaringer du har med prefabrikkerte løsninger. Du vil også bli spurt spørsmål knyttet til bruk av prefabrikkerte elementer, inkludert tid, kostnad, planlegging, montering, oppføring og miljøpåvirkning. Varigheten av intervjuet vil være på omtrent 30 minutter.

Bakgrunnsspørsmål

- Hva er din bakgrunn og nåværende stilling?
- Hvor lenge har du jobbet i bransjen?

Erfaringer med prefabrikasjon

- Basert på din erfaring, hva er de største fordelene ved bruk av prefabrikkerte løsninger?
- Basert på din erfaring, hva er de største ulempene ved bruk av prefabrikkerte løsninger?

Tid, kostnad, kvalitet

- Hvordan påvirker prefabrikasjon tid og kostnad utfra din erfaring?
- Hvilke faktorer påvirker kvalitet av prefabrikkerte elementer?

Planlegging, montering, transport og oppføring

- Hva tenker du er positivt/negativt ved planlegging av prefabrikkerte løsninger?
- Har du noen erfaring med bestilling og transport av prefabrikkerte elementer av tre?

- Har det hendt at fabrikk ikke har levert til estimert tid? Hvordan kan en slik situasjon eventuelt løses?
- På hvilken måte spiller beliggenhet for byggetomten inn på transporten av elementene?
- Hvordan blir prefabrikkerte bygningselementer lagret på byggeplassen?
- Har du noen forslag til forbedret bruk av prefabrikasjon?

Helse, miljø og sikkerhet

- Hvilken miljøpåvirkning kan bruk av prefabrikkerte løsninger medføre?
- Hvordan kan bruk av prefabrikasjon bedre ivareta miljø og helse/sikkerhet?


Avsluttende spørsmål

- Har du noen forslag til konkrete tiltak for å forbedre/utnytte prefabrikasjon?
- Er det noe som ikke er blitt spurt om under intervjuet som du ønsker å legge til?
- Har du noen kommentarer utover intervjuet? Annet?

Vedlegg D: Resultater fra trykktest for Bygg 3

Sammendrag hentet fra bygning 3 med best resultat:

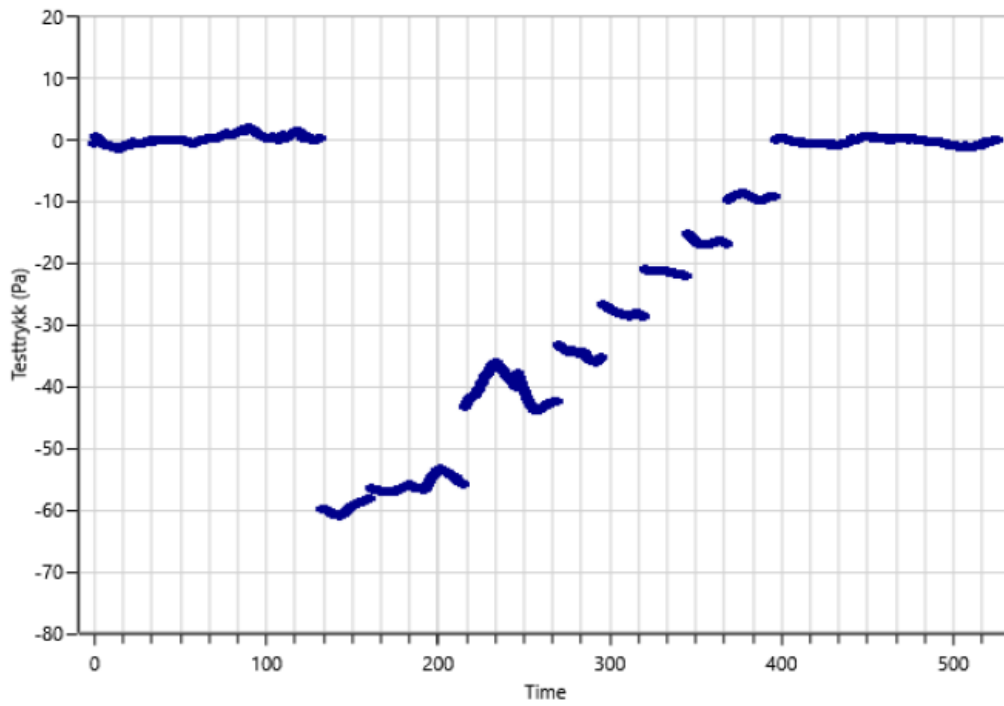
Summary

 FanTestic	version:	Firma: Massive Wood Construction as/UiT- Norges arktiske universitet
Dato: 2021-04-04	Operatør: Jonas Pedersen	
Kunde:	Masteroppgave, UiT- Norges arktiske universitet	
Building Lot Number:		
Byggets adresse:	Bukkerspranget Noresund , Viken Norge	

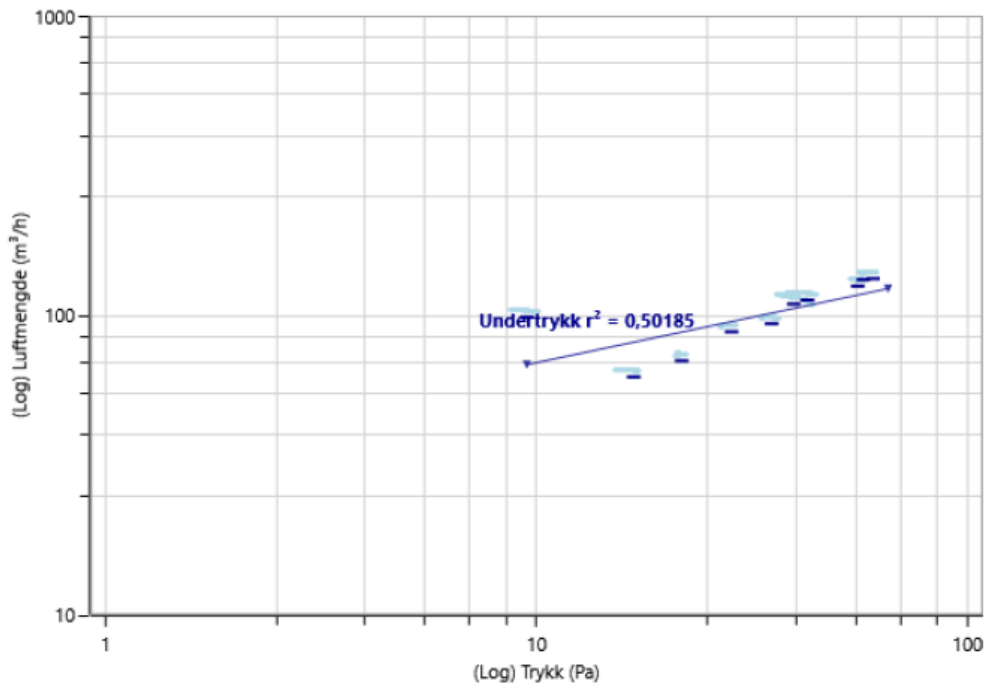
Bygningsdetaljer	
Filnavn:	
Bygningsvolum, V [m ³]:	389
Høyde over bakkenivå [m]:	7
Gulv areal [m ²]:	129
Klimaskjermareal A _{T BAT} [m ²]:	0
Høyde over havet [m]:	790
Altitude [m]:	790
Accuracy of volume measurements:	5%
Accuracy of envelope area measurements:	0%
Accuracy of floor area measurements:	5%
Number of building storeys:	1

Resultater	
Luftskifte ved 50 Pa, n ₅₀ [/h]	0,31
Luftmengde ved 50 Pa, [m ³ /h]	119,31
Luftmengde ved 10 Pa, [m ³ /h]	73,305
Luftlekkasje (envelope) ved 50 Pa, [m ³ /h/m ²]	
Luftlekkasje (floor) ved 50 Pa, [m ³ /h/m ²]	0,925
Effective leakage area at 50 Pa, [cm ²]	36,35
Specific effective leakage area (envelope) at 50 Pa, [cm ² /m ²]:	
Specific effective leakage area (floor) at 50 Pa, [cm ² /m ²]:	0,282

Bygningstrykk - Undertrykk



Luftmengde - Bygningstrykk (Undertrykk)



Vedlegg E: Kalkyle Holte SmartKalk

Kalkyle for plassbygd konstruksjon

21. Grunn og fundamenter

1. Etasje

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Timeverk	Lønn	Material	UE	Diverse	Selvkost
Ringmurselement med såleblokk h=450, 198mm - vegger	lm	100,00	127,25	50900,00	94375,70	0,00	3400,00	148675,70

23. Yttervegger

1. Etasje

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Timeverk	Lønn	Material	UE	Diverse	Selvkost
Ytterdør av tre, i bindingsverksvegg, hvit, glass, 10x21	stk	2,00	9,69	3877,12	36492,20	0,00	0,00	40369,32
Balkongdør enkel, FG godkjent 9x21	stk	2,00	9,95	3979,20	36859,42	0,00	0,00	40838,62
Vindu, trevegg toppsving 10x8	stk	4,00	14,96	5982,08	33052,08	0,00	0,00	39034,16
Vindu, trevegg toppsving 10x12	stk	2,00	8,23	3293,44	20329,50	0,00	0,00	23622,94
Vindu, trevegg toppsving 10x8	stk	2,00	7,48	2991,04	16526,03	0,00	0,00	19517,07
Vindu, trevegg toppsving 14x11	stk	2,00	9,18	3673,28	23727,73	0,00	0,00	27401,01
Vindu, trevegg fastkarm 10x18	stk	2,00	11,67	4669,44	23093,71	0,00	0,00	27763,15

2. Etasje

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Timeverk	Lønn	Material	UE	Diverse	Selvkost
Bindingsverk av tre 48x198, 50mm påføring, dobbel vindtetting, Tømmermannspanel, skyggepanel	m ²	404,00	635,27	254107,92	399244,33	0,00	0,00	653352,25
Vindu, trevegg toppsving 10x8	stk	4,00	14,96	5982,08	33052,08	0,00	0,00	39034,16
Vindu, trevegg toppsving 10x12	stk	2,00	8,23	3293,44	20329,50	0,00	0,00	23622,94
Vindu, trevegg toppsving 10x8	stk	2,00	7,48	2991,04	16526,03	0,00	0,00	19517,07
Vindu, trevegg toppsving 14x11	stk	6,00	27,55	11019,84	71183,21	0,00	0,00	82203,05

3. Etasje

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Timeverk	Lønn	Material	UE	Diverse	Selvkost
Vindu, trevegg fastkarm 10x18	stk	1,00	5,84	2334,72	11546,88	0,00	0,00	13881,60
Vindu, trevegg fastkarm 10x14	stk	1,00	4,27	1708,32	9154,63	0,00	0,00	10862,95
Vindu, trevegg fastkarm 10x14	stk	2,00	8,54	3416,64	18309,21	0,00	0,00	21725,85
Vindu, trevegg fastkarm 10x14	stk	2,00	8,54	3416,64	18309,21	0,00	0,00	21725,85
Vindu, trevegg toppsving 11x12	stk	4,00	17,12	6849,12	41801,80	0,00	0,00	48650,92
Vindu, trevegg toppsving 10x12	stk	2,00	8,23	3293,44	20329,50	0,00	0,00	23622,94
Vindu, trevegg toppsving 10x12	stk	2,00	8,23	3293,44	20329,50	0,00	0,00	23622,94
Vindu, trevegg toppsving 10x12	stk	2,00	8,23	3293,44	20329,50	0,00	0,00	23622,94
Vindu, trevegg toppsving 10x8	stk	2,00	7,48	2991,04	16526,03	0,00	0,00	19517,07
Vindu, trevegg fastkarm 14x17	stk	4,00	20,66	8264,96	52374,59	0,00	0,00	60639,55

24. Innervegger

2. Etasje

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Timeverk	Lønn	Material	UE	Diverse	Selvkost
Bindingsverk av tre 48x98, dobbel lydvegg, trefiber og gips	m ²	103,00	151,62	60646,40	97674,90	0,00	0,00	158321,30

25. Dekker

2. Etasje

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Timeverk	Lønn	Material	UE	Diverse	Selvkost
Elementdekker, betong hulldekke, lydisolert	m ²	150,00	71,25	28500,00	159570,00	#####	0,00	707820,00

3. Etasje

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Timeverk	Lønn	Material	UE	Diverse	Selvkost
Bjelkelag av tre 48x223, fullisolert etasjeskille, ask laminat - gips	m ²	150,00	105,84	42336,00	98201,04	0,00	0,00	140537,04

26. Yttertak







1. Etasje

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Timeverk	Lønn	Material	UE	Diverse	Selvkost
Sperretak av I-bjelker, opplektet membrantekking	m ²	227,00	299,64	119856,00	282966,85	0,00	0,00	402822,85
Total (eks. mva)			1617,40	646960,08	1692215,16	#####	3400,00	2862325,24

Alternativer ✖

Timekost kalkulator

Hjelper deg med å beregne timekost og fortjeneste.

Timelønn	<input type="checkbox"/> Lås timelønn		<input type="text" value="199,19"/>	kr
Direkte kostnader			<input type="text" value="54,00"/>	%
Sosiale utgifter			<input type="text" value="30,40"/>	%
			<input type="text" value="400,00"/>	kr
Driftsomkostninger	<input type="checkbox"/> Inkluder		<input type="text" value="0,00"/>	kr
Timekost			<input type="text" value="400,00"/>	kr
Fortjeneste			<input type="text" value="10,0"/>	%
			<input type="text" value="40,0"/>	kr
Salgspris			<input type="text" value="440,00"/>	kr

OK Avbryt

Materielliste for begge kalkulasjoner i case

Materielliste

Prosjekt: 000002 UIT
Kalkulasjon: 27.01.2021

Varenr	Varebenevnelse	Dimensjon	Mengde	Enhet	Kostpris	Sum kostpris
21. Grunn og fundamenter						
Material						
23826282	Armeringsnett therm 397	1x50m	1,350	rul	1 711,20	2 310,30
25557521	Ringmur RU450 Jackon, h450, B250, l2400, rett element	L=2400MM	39,000	m	628,00	24 492,00
25557539	Ringmur RU450 hjørneelement, H450, B250, Jackon L2650	L=2650MM	10,000	m	628,00	6 280,00
25566720	Elementlås plastkile		88,000	stk	42,32	3 724,00
27670025	Elementlås RS rett		24,000	set	65,52	1 572,00
48390436	Fiberpuss Serpo 261	25 kg	27,000	SEK	271,20	7 322,40
51745165	Armering kamstål B 500 NC	10mm	272,000	lm	19,12	5 201,00
54339721	Såleblokk Jackon	250x540x1200 mm	84,000	m	271,20	22 781,00
	Betong, B20 levert byggeplass		16,000	m³	950,00	15 200,00
	Pukk tilkjørt.	20 - 70MM	11,000	m³	375,00	4 125,00
Festemiddel						
42543684	Fugemasse betong, grå	0,3l	6,000	Pat	228,00	1 368,00
23. Yttervegger						
Material						
11291788	Fugemasse Polyuretan	300ml	7,440	stk	292,00	2 172,48
21260179	Bunnfyllingslist 16 mm 5,5m	16mm	47,082	stk	54,32	2 557,32
21485735	Vannbrett, Plastisert stål	1400mm	2,400	stk	94,25	226,20
23100258	Vindsperre Windbreak 2,8x50m	2,8X50	3,636	rul	4 920,00	17 889,12
40131245	Gipsplateskruer bånd (eske à 1000stk)	3,5x32mm	6,818	Pak	183,20	1 249,88
41519885	Vannbrettbeslag, sort	2500mm	24,160	stk	97,60	2 358,06
41519935	Vannbrettbeslag, sort	2500mm	25,120	stk	129,60	3 255,60
41520008	Terskelbeslag, plastisert stål	1250mm	3,520	stk	75,12	264,44
47170506	Beis, olje fargeløs	9L	33,633	Spa	1 247,20	41 945,80
48144002	Vindsperre tape, Isola	75mm	11,682	rul	452,00	5 280,09
50673658	Isolasjon, proff 34	200x570x1200 mm	404,000	m²	151,20	61 084,80
52949604	Membran flexwrap for smyg i trevegg	230x23000mm	2,482	m²	3 332,00	8 268,76
Dør						
43777232	Dør, swedoor m/glass hvit	10x21	2,000	stk	15 112,00	30 224,00
44347240	Dørvrider Ytterdør		2,000	Pak	463,20	926,40
48927862	Balkongdør, hvit, Lavenergi, bryst. 55	9x21	2,000	stk	14 904,00	29 808,00
Vindu						
44313042	Vindu, toppsving, furu, hvit, Lavenergi-glass 0,8	11x12	4,000	stk	8 000,00	32 000,00
44313386	Vindu, toppsving, furu, hvit, Lavenergi-glass 0,8	14x11	8,000	stk	9 176,00	73 408,00
44314858	Vindu, toppsving, furu, hvit, Lavenergi-glass 0,8	10x12	10,000	stk	7 808,00	78 080,00
44314934	Vindu, toppsving, furu, hvit, Lavenergi-glass 0,8	10x8	14,000	stk	6 320,00	88 480,00
44317166	Vindu, fastkarm, furu, hvit, 3 lags 0,8	14x17	4,000	stk	9 848,00	39 392,00
44319694	Vindu, fastkarm, furu, hvit, 3 lags 0,7	10x14	5,000	stk	6 664,00	33 320,00
44319732	Vindu, fastkarm, furu, hvit, 3 lags 0,8	10x18	3,000	stk	8 048,00	24 144,00
Isolasjon						
22862890	Plastfolie 200my, 39m² rull	0,20mm	10,908	rul	335,20	3 656,20
50733794	Dyttestrimler, 25x60x18000mm	25x60 mm	768,800	m	7,12	5 473,85
Festemiddel						
10111482	Firkant spiker 2,0x40 VF 1kg à 700 stk	2,0x40	0,185	Bk	33,52	6,07
10111656	Spiker papp vf à 150 stk	2,0x20	27,270	Bk	35,12	958,99
23044050	Karmskrue Essve	6x80mm	1,920	Pak	383,20	735,84
23267990	Fugemasse Hvit Polyuretan		66,900	Pat	192,00	12 844,80
23687684	Karmskrue Essve A100	6x100mm	0,080	Pak	399,20	31,94
42284578	Maskinspiker kammet A500	31x90mm	21,410	Esk	167,20	3 583,72
42284597	Kammet spiker 2,8x75 à 500 stk	2,8x75	24,998	Esk	143,20	3 581,46
43133243	Spiker, maskindykkert EF 5000/pak	1,0x40	0,779	stk	263,20	205,16

Materialliste

Prosjekt: 000002 UIT

Kalkulasjon: 27.01.2021

Varenr	Varebenevnelse	Dimensjon	Mengde	Enhet	Kostpris	Sum kostpris
43422135	Spiker, dykkert, EF 1kg	1,7x35mm	0,008	Esk	103,20	0,84
45414861	Spiker Coil à 800 stk	2,5x65	4,973	Esk	199,20	990,02
51224142	Firkant spiker 2,0x40 à 800 stk	2,0x40	1,561	Esk	95,20	149,43
52067082	Karmskrue A100	7,5x72mm	0,160	Pak	255,20	40,84
Hjelpematerial						
45595756	Byggtape 50mm x 25m	25m	16,160	rull	119,20	1 927,08
Trelast						
42762803	Lekt, gran	48x48mm	1 090,800	lm	16,72	18 236,56
45468023	Vannbrett, gran	45x70mm	60,900	lm	25,69	1 564,23
47367505	K-virke C24 justert gran	48x198mm	1 452,600	lm	69,52	100 985,50
48338583	Vannbrett, gran	45x95mm	70,140	lm	95,36	6 688,66
49075244	Kledning, gran 19x98 mm Rekt.	19x98mm	294,140	lm	17,20	5 059,20
50955573	Kledning, gran 19x148 mm Rekt.	19x148mm	4 181,400	lm	24,40	102 026,16
53517592	Lekt, gran	23x48mm	1 363,500	lm	9,20	12 544,20
53517618	Lekt, gran	36x48mm	1 090,800	lm	13,20	14 398,56
	Lekter, furu imp	11x23mm	274,340	lm	3,47	952,73
Plate						
29465358	Gipsplate Gu 9,5x1200x2740mm	9,5mm	477,225	m ²	71,12	33 942,06
Listverk						
26279133	Karmlist, ferdig malt	12x58mm	306,590	lm	41,20	12 631,51
30120547	Eik 9x50mm feielist - lakkert	9x50mm	4,400	stk	79,92	351,64
41855675	Utforing furu, dør/vindu	21x170mm	247,170	lm	148,00	36 581,16
54120602	Utforing furu laminert	18x300mm	10,200	lm	288,56	2 943,31
24. Innervegger						
Material						
21260179	Bunnfyllingslist 16 mm 5,5m	16mm	46,968	stk	54,32	2 551,10
40131245	Gipsplateskruer bånd (eske a 1000stk)	3,5x32mm	5,150	Pak	183,20	943,48
50673624	Isolasjon, proff 34	100x570x1200 mm	206,000	m ²	76,40	15 738,40
Festemiddel						
42284578	Maskinspiker kammet A500	31x90mm	3,296	Esk	167,20	552,08
53490246	Gipsplateskruer 40mm (eske a 1000stk)	3,9x35mm	5,150	Esk	239,20	1 231,88
55584533	FUGEMASSE AKRYL HVIT/BOMULL - 300ML NCS 5 0502-Y	0,310 l	74,160	stk	111,60	8 276,26
Trelast						
42762035	K-virke C24 justert gran	48x98mm	597,400	lm	28,40	16 966,16
Plate						
10397701	Gipsplate GN, standard	12,5x1200x2400mm	212,180	m ²	46,32	9 828,26
29737103	Huntonitt trefiber hvit, vegg med fals	11x62x239	212,180	m ²	196,00	41 587,28
25. Dekker						
Material						
21293899	Hurtigtørkende primer maxit floor 4716 10L	10L	1,500	Kan	2 212,00	3 318,00
25540584	Underlag til laminatgulv	2.0mm	10,050	stk	652,00	6 552,00
43660472	Gulvsparkel Heydi Fiberplan	25 kg	306,000	SEK	212,00	64 872,00
48273400	Maling, hvit, silkematt 07	9 l	3,000	Spa	1 244,00	3 732,00
49569781	Laminatgulv eik natur	8 mm	153,000	m ²	303,20	46 389,00
50673658	Isolasjon, proff 34	200x570x1200 mm	150,000	m ²	151,20	22 680,00
Isolasjon						
22862890	Plastfolie 200my, 39m ² rull	0,20mm	4,050	rul	335,20	1 357,50
Festemiddel						
11351764	Sponplateskrue elf. ph2 à 75 stk	4,2x55 mm	24,000	Pak	503,20	12 076,50
21059829	Sponplatelim, bostik	0,3l	45,000	stk	66,40	2 988,00
42284578	Maskinspiker kammet A500	31x90mm	5,010	Esk	167,20	837,42

Materialliste

Prosjekt: 000002 UIT
Kalkulasjon: 27.01.2021

Varenr	Varebenevnelse	Dimensjon	Mengde	Enhet	Kostpris	Sum kostpris
42284597	Kammet spiker 2,8x75 à 500 stk	2,8x75	1,995	Esk	143,20	285,00
Hjelpematerial						
45595756	Byggtape 50mm x 25m	25m	6,000	rull	119,20	715,50
Trelast						
42762020	K-virke, gran C24, justert	36x223mm	66,150	lm	58,32	3 858,12
48247061	K-virke C24 justert gran	48x223mm	300,000	lm	71,92	21 576,00
53517603	Lekt, gran	30x48mm	429,000	lm	10,00	4 290,00
Plate						
20004866	Plate, Sponplater gulv, vannfast	22 mm	157,500	m ²	188,00	29 610,00
22064174	Trinnlydplate trefiber silencio m/fals	36mm	157,500	m ²	207,20	32 634,00

26. Yttertak

Material						
22206353	Helsveiset membran, Isola	1x10m	238,350	rul	181,52	43 266,20
43241955	Huntonit I - bjelke HI 300 T-24	70x300 mm	499,400	m	153,60	76 707,84
50673874	Isolasjon, proff 34 I-profil	300x600x1200 mm	227,000	m ²	255,20	57 930,40
Isolasjon						
22862890	Plastfolie 200my, 39m ² rull	0,20mm	6,129	rul	335,20	2 054,35
Festemiddel						
42284578	Maskinspiker kammet A500	31x90mm	10,442	Esk	167,20	1 745,63
42284597	Kammet spiker 2,8x75 à 500 stk	2,8x75	3,019	Esk	143,20	431,30
48716061	Treskrue inv. 4,2x60 elfz. A200 elforsinket	4,2x60mm	31,780	Esk	127,20	4 042,87
51937514	Varmforsinket pappspiker 2,8x35mm	2,8x32mm	13,620	Pak	167,20	2 276,81
Hjelpematerial						
45595756	Byggtape 50mm x 25m	25m	9,080	rull	119,20	1 082,79
Trelast						
42762803	Lekt, gran	48x48mm	385,900	lm	16,72	6 451,34
53517603	Lekt, gran	30x48mm	649,220	lm	10,00	6 492,20
Plate						
53110222	Plate, X-finer, taktro - innvendig tak	15x2440x1220 mm	238,350	m ²	191,20	45 572,52
Taktekking						
24176513	Undertak isola, pro super	1,5x50m	5,675	rul	6 152,00	34 912,60

Sum ressurstype	Selvkost
Material	584 240,67
Dør	60 958,40
Vindu	368 824,00
Isolasjon	12 541,90
Festemiddel	59 240,86
Trelast	322 089,62
Plate	193 174,12
Listverk	52 507,62
Taktekking	34 912,60
Hjelpematerial	3 725,37
Total:	1 692 215,16

Vedlegg F: Energiberegning av leilighetskompleks brukt i case

Energiberegningen av leilighetskomplekset er gjort i TEK-sjekk Energi, som baserer seg på krav i TEK17 og NS 3031. Det er valgt standardiserte verdier og enkle u-verdi beregninger i kalkulasjonen for å se om bygningen potensielt kan tilfredsstillere krav i TEK17. Resultatet viser at bygningen kan tilfredsstillere krav i henhold til TEK17 fullstendig kontroll, med et spesifikt energibehov med luftlekkasjetall på 0,6 luftskiftninger per time på 91 kWh/(m²/år), med et varmetap på 0,51 (W/K)/m². Resultatet er vist under.

Inndata:

1: GENERELT		Beskrivelse av bygning:	TEK17 standard enebolig	Kunde / byggherre / referanse:				
Type beregning		Bygningskategori:	Småhus: Firemannsbolig	Beregning utført av firma:	UIT			
		Type kontrollberegning:	TEK17 §14 fullstendig kontroll (alle bygg)	Beregningen utført av person:	Jonas Pedersen			
		Beregningen omfatter:	Hele bygningen	Lokalt klima:	Oslo			
Tilleggsinfo.		Antall boenheter i bygget:	4	Byggeår:	2021			
		Ev. matrikkelinfo:		Ytre klima	Vindeksposering: Landlig Lave trær / boligstrøk / jordbruk Jordart: Sand og grus			
2: BYGNINGEN								
Dimensjoner		Oppvarmet del av bruksareal, BRA	426 m ²	BRA for bygningskomplekset er	426 m ²			
		Oppvarmet luftvolum	1085 m ³		(107 m ³ /bolig)			
		Ekspontert omkrets	52 m					
Bygningskropp		Normalisert kuldebroverdi, ψ	0,05 W/(m ² K)					
		Lekkasjetall (lekkasjetest), n_{50}	0,6	Luftomsetninger / time, ved 50 Pa				
		Bygningens varmekapasitet	32 Wh/(m ² K)					
Ventilasjon		Ventilasjonsprinsipp	Mek. balansert					
		Luftmengde, dagtid	1,2 (m ³ /h)/m ² = 520 m ³ /h.	Spesifikk vitteeffekt (SFP), dagtid:	1,5 kW/(m ³ /s)			
		Luftmengde, natt / helg	som over	Spesifikk vitteeffekt (SFP), natt / helg:	som over kW/(m ³ /s)			
		Varmegjenvinning, virkningsgrad	80 %	Oppgitt virkningsgrad gjelder for:	Varmeveksleren (EN 308)			
		Varmegjenvinner, frostsikring	-10 °C					
Klimatisering		Styring av tiluftstemperatur	18°C	Driftsdata (driftstid, internlast, settpunkter)	standard			
		Type kjøling (mekanisk eller lufting)	Vinduslufting	Arealandel vinduer som kan åpnes:	60 %			
		Nattsenkning (utenom driftstid)	Nei					
Belysning		Styring av belysning	Vanlig manuell					
		Ønsket lysstyrke	300 Lux					
					1,95 W/m ²			
3: KONSTRUKSJONSTYPER								
Konstruksjonstype	Beskrivelse	U-verdi W/(m ² K)	Ekstra motstand +ΔR, (m ² K)/W	Type kledning (hulrom, farge)	Dokumentasjon / kommentar			
Yttervegg mot friluft	_TEK 2017 energitiltak, vegg	0,170	-	Ventilert, lys	(U-verdien endret. Rediger beskrivelse?)			
Golv på grunnen	_TEK 2017 energitiltak, golv	0,090	(+jord)	-	Inkludert jordmotstand blir U-verdi som i forskriften			
Skråtak (>20°) mot friluft	_TEK 2017 energitiltak, tak	0,130	-	Ventilert, mørk	U-verdi fra forskriftstekst			
4: TYPER VINDU / DØR								
Vindus-/dørtype	U-verdi W/(m ² K)	Lysåpning F, %	Glass lystransmisjon / solfaktor LT% / g %	Solskjerming type	Solskjerming Te% / Re%	Vindussmyg \downarrow [;↔; [;->]]	Dokumentasjon / kommentar	
_TEK17 energitiltak, vindu inkl. karm	0,800	80 %	72/51	Ingen	-	0.1/1;0.1/1	U-verdi fra forskriftstekst	
_TEK17 energitiltak, vindu inkl. karm+solskjerming	0,800	80 %	72/51	Manuell (ute)	07/47	0.1/1;0.1/1	U-verdi fra forskriftstekst	
Ytterdør, nyere isolert, 0% glass	0,800	0 %	-	-	-	-	U-verdi fra forskriftstekst	
5: FASADER / BYGNINGSKROPPEN								
Beskrivelse	Konstruksjonstype	Himmelretning (grader fra N.)	Bruttoareal m ²	Vindus-/dørtype	Vindu/dør m ²	Horisonten grader	Utspring \uparrow [;-↔; [;->]]	Dokumentasjon / kommentar
VeggN	Yttervegg mot friluft	N (0°)	120	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	4,50	10°	0	
				Ytterdør, nyere isolert, 0% glass	2,00	-	-	
VeggS	Yttervegg mot friluft	S (180°)	120	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	27,00	10°	0	
VeggØ	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	82	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	12,00	10°	0	
VeggV	Yttervegg mot friluft	V (270°)	82	_TEK17 energitiltak, vindu inkl. ka	12,00	10°	0	
Golv	Golv på grunnen	-	160	-	-	-	-	
Tak	Skråtak (>20°) mot friluft	NNØ (23°)	225	-	-	10°	0	
6: ENERGIFORSYNING								
Systemtype (grunnforsyning øverst listen, topplast-forsyning nederst)	Andel last dekket	Dokumentasjon / kommentarer						
Elektrisitet	4kW	COP=3.9 ved 10/35°C. Virkningsgrader er faste verdier						
Elektrisitet	rest	SINTEF Byggforsk						

Resultat:

Bygning / prosjekt: TEK17 standard enebolig.
 Type beregning: TEK17 §14 fullstendig kontroll (alle bygg). Hele bygningen (småhus: firemannsbolig) er beregnet.

NETTO ENERGIBEHOV (normalklima)

Energipost	Energibehov kWh/år	Spesifikt behov kWh/(m²år)
Romoppvarming	11072	26,0
Ventilasjonsvarme	746	1,8
Varmtvann	12688	29,8
Vifter	1866	4,4
Pumper	-	-
Belysning	4851	11,4
Teknisk utstyr	7464	17,5
Romkjøling	-	-
Ventilasjonskjøling	-	-
Sum denne bygning:	38687	91
Krav i TEK17 §14-2(1) ≤	-	104

VARMETAPSBUDSJETT

Varmetapspost	Netto areal m²	U-verdi [W/m²K]			Varmetap [(W/K)/m²]	
		Denne bygning	TEK17 §14-2(2) energiltak	TEK17 §14-3(1a) minstekrav	Denne bygning	TEK17 §14-2(2) krav
Vegger	344,7	0,170	0,18	0,22	0,138	0,126
Tak	225,0	0,130	0,13	0,18	0,069	0,069
Gulv	160,0	0,079	0,10	0,18	0,030	0,038
Vinduer & dører	59,3	0,800	0,80	1,20	0,111	0,200
Kuldebro	426,0	ψ=0,05	ψ=0,05	-	0,050	0,050
Infiltrasjon	-	n ₅₀ =0,6	n ₅₀ =0,6	n ₅₀ =1,5	0,035	0,035
Ventilasjon	-	n ₅₀ ≈79,9%	n ₅₀ ≈80%	-	0,079	0,079
Bygningens varmetapstall, H* [(W/K)/m²]:					0,510	0,600
					-	-

ENERGIFORSYNING (normalklima)

Energivare	Lvert energi kWh/år	Spesifikk lvert kWh/(m²år)	Dekningsgrad varmebehov
Direktevirkende el.	39940	94,0	100,0 %
El. til VP & solenergi	-	-	-
Olje	-	-	-
Gas	-	-	-
Fjernvarme	-	-	-
Biobrensel	-	-	-
Annen fornybar	-	-	-
Sum denne bygning:	39940	94	100,0 %
-	-	-	-

Tilleggsinfo, dekningsgrad pr energisystem (normalklima)

Energisystem	Dekning av netto energibehov, kWh/år						Dekningsgrad av egen last	Systemvirkningsgrad
	Romoppv.	Ventvarme	Varmtvann	Romkjøling	Vent.kjøl.	El.spesifikt		
Elektrisitet	-	-	12688	-	-	-	100 %	0,98
Elektrisitet	11072	746	0	-	-	14181	67 %	0,96
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total behov:	11072	746	12688	-	-	14181	-	-

SAMMENDRAG

Inndata: Bygningen har muligens for lite vegg-/skråtakareal mot Sør i forhold til Nord (100% mer mot Nord).
 Bygningen har muligens for lite vegg-/skråtakareal mot Vest i forhold til Øst (59% mer mot Øst).
Energi: Boligen må ha skorstein, ettersom den mangler vannbåren oppvarming (romoppvarming/ventilasjonsvarme), og 28 Wh/m²år oppvarming overskrider passivhus-kravet på ≤ 15 Wh/m²år, jf. TEK17 §14-4(4).
 ► Boligen oppfyller kriteriene i TEK17 §14 fullstendig kontroll (alle bygg).

