



UiT Norges arktiske universitet

UiT Narvik, Institutt for bygg, energi og materialteknologi

Bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer

(Use of prefabricated exterior wall elements)

Håkon Vollstad

Masteroppgave i Integrert Bygningsteknologi BYG 3900 Mai 2021

MASTEROPPGAVE

for

Håkon Vollstad

(Studentnummer 169867)

Vår 2021

Bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer

(Use of prefabricated exterior wall elements)

Bakgrunn

Prefabrikasjon innebærer at bygningsdeler blir ferdig produsert i en fabrikk, varehus eller liknende. Bruken av prefabrikkerte elementer har blitt svært populær spesielt i betongkonstruksjoner, som f.eks hulldekkeelementer og søyler. Det finnes flere fordeler og ulemper ved bruk av prefabrikasjon, og denne oppgaven drøfter bruken av prefabrikkerte ytterveggselementer i byggeprosjekter.

Målsetningen med oppgaven vil være å drøfte hvordan prefabrikkerte ytterveggselementer kan brukes effektivt i byggeprosjekter ved å blant annet se på hvordan prefab. ytterveggselementer har blitt benyttet i byggeprosjekter utført av Consto AS, samt drøfte fordeler og ulemper ved aspekter som økonomi, produksjonsmetode, bygningsmessige løsninger mfl. I tillegg skal utfordringer ved bruk samt evt løsninger på beskrevne utfordringer presenteres.

Begrensning av oppgaven

Ingen spesielle.

Arbeidet skal omfatte (men ikke nødvendigvis avgrenses til):

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner.
2. Generelt om prefabrikkerte ytterveggselementer.
3. Erfaringer fra prosjekter der prefabrikkerte ytterveggselementer har blitt benyttet.
4. Gevinster og utfordringer ved bruk av prefab. Yttervegg.
5. Oppbyggingen av elementer, samt innfestning (bygningfysikk)
6. Egenproduksjon vs kjøpe ferdig
7. Eventuell optimalisering
8. Hva er oppgavens faglige og samfunnsmessige relevans? Har oppgaven relevans i forhold til FNs bærekraftsmål

Samarbeidspartner

Consto Nord AS

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. 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: 982 98 228 E-post: lars.johnsgards.jensen@consto.no
Veileder UiT - IVT:	Universitetslektor Erling Kristiansen Telefon: 769 66 472 E-post: erling.kristiansen@uit.no

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

Erling Kristiansen

Faglig ansvarlig/veileder

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på et 2-årig masterstudium i Integrert Bygningsteknologi. Oppgaven er skrevet ved Institutt for bygg, energi og materialteknologi, UIT Norges Arktiske Universitet avdeling Narvik, og utgjør totalt 30 studiepoeng.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Consto Nord AS. Jeg hadde sommerjobb hos Consto i sommeren 2020, og valgte dermed å skrive en oppgave om et tema som de foreslo. Valget av oppgave falt dermed på prefabrikkerte ytterveggselementer, noe som Consto har bred erfaring med.

Jeg vil rette en takk til veileder Erling i UIT for gode innspill til oppgaven. Jeg vil også rette en takk til alle intervju kandidater som har bidratt med deres erfaringer og ikke minst tid. Jeg vil også rette en takk til mine medstudenter for tilførsel av motivasjon og humør.

Til sist vil jeg rette en stor takk til ekstern veileder Lars i Consto for god oppfølging gjennom arbeidet og for innspill til innhold av oppgaven.

Sammendrag

Arbeidsproduktiviteten i bygg- og anleggsnæringen i Norge fortsetter med en negativ trend, samtidig som byggekostnadsindeksen for nybygg stiger. Næringsaktører identifiserer et betydelig forbedringspotensial i bransjen. Flere peker på standardisering og prefabrikasjon som en del av løsningen.

Consto Nord har bred erfaring med bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer, både ved innkjøp og egen produksjon. Litteraturen peker på flere fordeler ved bruk av prefabrikasjon, der reduksjon av byggetiden framheves som den viktigste. I denne rapporten har det blitt undersøkt hvordan totalentreprenør Consto har benyttet prefabrikkerte ytterveggselementer i to av deres prosjekter i Tromsø. Fagpersoner ved prosjektene Bjerkaker Sjøpark og Workinntoppen har blitt intervjuet for å undersøke hvordan prefabrikkerte ytterveggselementer har bidratt til en effektiv byggeprosess ved disse to prosjektene.

Resultatet av rapporten er at prefabrikkerte ytterveggselementer kan tette byggere raskere, noe som kan føre til en potensiell tidsbesparelse på opp til fire uker. Tidsbesparelse impliserer en reduksjon av riggekostnader. Bruk av prefabrikasjon kan føre til større miljøbelastning på grunn av lange transportveier, samt utgjøre en fare for HMS.

Abstract

Labour productivity in the Norwegian construction industry continues with a negative trend, simultaneously as the construction cost index for new construction is rising. Business actors identify a significant potential for improvement in the industry. Several actors point to standardization and prefabrication as part of the solution.

Consto Nord has extensive experience with the use of prefabricated wall elements, both in pre-purchased as well as manufactured. Literature points to several advantages of using prefabrication, where reduction of construction time is emphasized as the most important. In this report it has been investigated how Consto has used prefabricated exterior wall elements in two of their projects in Tromsø. Industry workers at Bjerkaker Sjøpark and Workinntoppen have been interviewed to investigate how prefabricated exterior wall elements have contributed to an efficient construction process for these two projects.

The result of the report is that prefabricated exterior wall elements can close off buildings faster, which can lead to a potential time saving of up to four weeks. Saving time implies a reduction in rig costs. The use of prefabrication can lead to greater environmental impact due to long transport distances and pose a danger to HSE.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Formål.....	3
1.3	Omfang og avgrensning.....	4
1.4	Oppgavens oppbygning	5
2	Metode.....	7
2.1	Strategi og Design	7
2.2	Litteraturstudie.....	7
2.2.1	Litteraturens troverdighet.....	8
2.3	Intervju.....	9
2.4	Prosjektene.....	10
3	Teori	11
3.1	Prefabrikasjon	11
3.2	Prefabrikkerte ytterveggselementer (Fasadeelementer)	12
3.2.1	Tidsforbruk.....	13
3.2.2	Kostnader	15
3.2.3	Kvalitet	17
3.2.4	HMS	18
3.2.5	Logistikk/Transport.....	19
3.3	Industrialisering av byggeprosessen.....	22
3.3.1	Lean Construction	24
3.3.2	Lean-filosofien og prefabrikkering	25
4	Resultater.....	27
4.1	«Hvorfor bruke prefabrikkerte ytterveggselementer?»	27
4.2	«Hva er de viktigste elementene knyttet til effektiv bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer?».....	28

4.3	«Hva er de største utfordringene knyttet til bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer?».....	29
4.4	«Hva er forskjellene mellom innkjøp og egen produksjon av ytterveggselementer?» 30	
5	Diskusjon.....	31
5.1	Effektivitet som følge av tidsbesparelse	31
5.2	Effektivitet som følge av kostnadsbesparelse.....	32
5.3	Miljøpåvirkning	33
6	Konklusjon	35
	Referanseliste	36
	Vedlegg A	40
	FNs bærekraftsmål	40
	Vedlegg B - Intervjuguide.....	41

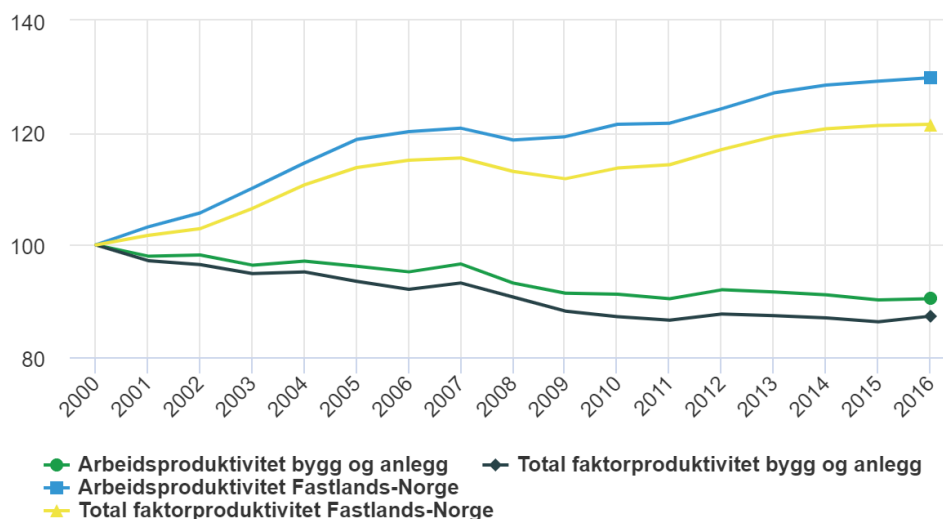
1 Innledning

1.1 Bakgrunn

«Bygge- og eiendomsbransjen kjennetegnes i dag av for liten grad av standardisering og gjenbruk av løsninger, verktøy og prosesser.»

(Bygg21, 2019)

Statistisk sentralbyrå melder om et produktivetsfall i bygg og anleggsvirksomheten. I 2018 skriver SSB at arbeidsproduktiviteten i bygg- og anleggsnæringen har falt med 10 prosent siden år 2000, samtidig som produktiviteten i privat sektor i Fastlands-Norge har økt med 30 prosent (SSB, 2018). Flere mulige årsaker for produktivetsfallet nevnes, som at økende arbeidsinnvandring kanskje byr på språkproblemer og begrenset kunnskap om norske byggemetoder. Måleproblemer nevnes også som en mulig årsak, i tillegg til at kvalitetsforbedringer ikke fanges opp tilstrekkelig av prisindeksene og at den internasjonale definisjonen av bygge- og anleggsvirksomhet kanskje er for snever (SSB, 2018). Det er interessant å merke seg at prefabrikkerte bygningselementer har sett en økning i bruk over de siste årene, men produktivetsutvikling som følge av dette inngår ikke i statistikken til byggenæringen. Statistikk i forbindelse med bruk av prefabrikkerte elementer inngår i produktivetsutviklingen til byggevareindustrien, noe som kan være med på å svekke målingen til bygge- og anleggsnæringen (Ingvaldsen, Edvardsen, 2007).

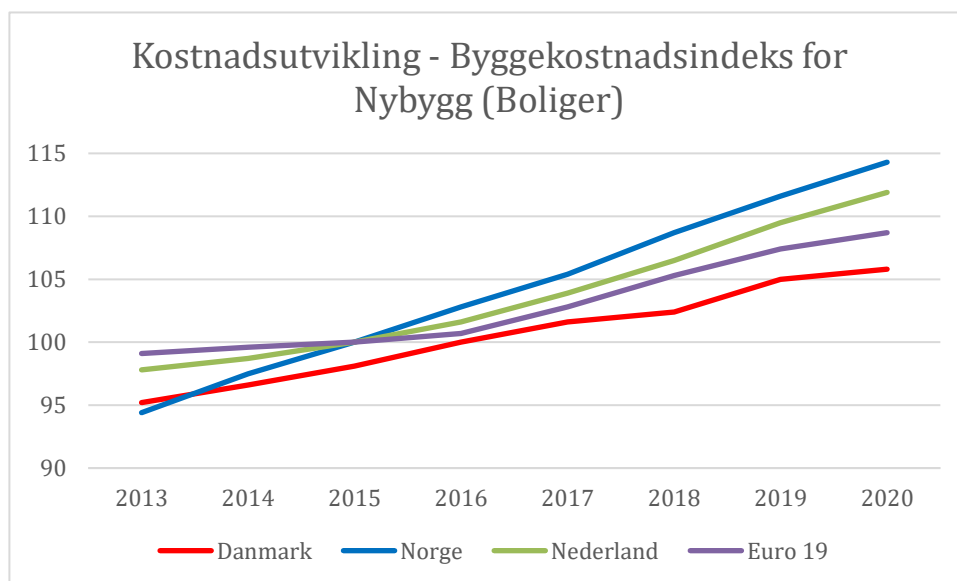


Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Figur 1: Arbeidsproduktivitet i Norge 2000-2016 (SSB, 2018)

Arbeidsproduktiviteten i bygge- og anleggsvirksomheten har også hatt en svak utvikling i andre nordiske land. Sverige har hatt størst nedgang i arbeidsproduktivitet på nesten 14 prosent i årsintervallet 2000-2016. Finland har opplevd en nedgang på tre prosent, mens Danmark har hatt en stigende produktivitetsutvikling på over ti prosent i samme periode. For EU-landene samlet er produktiviteten omtrent uendret (SSB, 2018). Selv om det diskuteres internasjonalt vedrørende validiteten til nettopp arbeidsproduktivetsmålingene, så er denne statistikken fortsatt gjeldende foreløpig.

Pris- og kostnadsutviklingen i BAE-næringen har vært kunstig høy de siste ti årene, sammelignet med andre næringer innenlands (Bygg21, 2018). Kostnadsutviklingen er høy i forhold til andre sammenlignbare land. Næringsaktører identifiserer et betydelig forbedringspotensial i bransjen, og peker på industrialisering av byggeprosessen som en av løsningene til å positivt påvirke verdiskapningen og kostnadsutviklingen i næringen i årene fremover (Bygg21, 2019). Det forventes at en mer industrialisert bygg- og anleggsnæring vil kunne føre til blant annet nettopp reduserte kostnader som følge av kortere byggetid, herunder mer effektive og smidige prosesser (SINTEF, 2017).



Figur 2: Utviklingen av byggekostnadsindeks for nybygg (Tall fra Eurostat årlige data)

Begrepet standardisering assosieres sterkt med industrialisering og forventning til kostnadsreduksjon. Bygg21 nevner standardisering som en av hovedelementene for industrialisering (Bygg21, 2019). Prefabrikasjon forutsetter ofte standardisering, men begrepene betyr ikke det samme. Prefabrikkering av bygningselementer er kun en liten del av puslespillet. Det betyr ikke nødvendigvis at bruk av prefabrikkering ikke vil utgjøre en stor forskjell på byggeprosjekter.

Consto er en av Norges største totalentreprenører. Selskapet har bred erfaring med bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer i byggeprosjekter. Oppgaven vil se på to leilighetsprosjekter i Tromsø der prefabrikkerte ytterveggselementer benyttes. Ved prosjektet Bjerkaker Sjøpark ble elementene kjøpt ferdig fra utlandet, mens på Workinntoppen produserte entreprenøren elementene selv.

1.2 Formål

Oppgavens overordnede problemstilling er definert som følgende:

«Hvordan kan prefabrikkerte ytterveggselementer bidra til en effektiv byggeprosess?».

Formålet med oppgaven er å drøfte hvordan prefabrikkerte ytterveggselementer kan bidra til en effektiv bygningsprosess. Effektivitet kan defineres som stor avkastning i forhold til innsatsen, særlig om arbeid og kapitalutstyr (Store norske leksikon, 2005-2007). I dette tilfellet vil effektivitet også innebære avkastning i forhold til miljømessig hensyn. Problemstillingen besvares som et bidrag til norsk litteratur om effektivisering i byggeprosjekter, gitt den negative trenden i arbeidsproduktivitet og kostnadsutviklingen tidligere diskutert. Rapporten vil drøfte sentrale funksjoner (tid, kostnad, kvalitet, etc.) ved bruk av prefabrikasjon samt forholdet mellom disse. Oppgaven vil se på hvilke utfordringer som kan oppstå ved bruk av prefabrikkerte veggelementer, i tillegg til å sammenstille innkjøp og egen produksjon av veggelementer.

For å besvare oppgaven ble det definert fire forskningsspørsmål:

1. Hvorfor benytte prefabrikkerte ytterveggselementer?

Det første forskningsspørsmålet tar for seg blant annet den grunnleggende teorien, begreper og definisjoner bak hovedemnet for rapporten. Spørsmålet har som funksjon å peke på den viktigste årsaken for hvorfor ferdig produserte veggelementer er så hyppig brukt i bygg- og anleggsbransjen. Herunder belyses også annen argumentasjon for hvorfor prefabrikkerte ytterveggselementer kan/bør benyttes i byggeprosjekter.

2. Hva er de viktigste elementene knyttet til effektiv bruk av ytterveggselementene?

Det andre forskningsspørsmålet tar for seg hvilke forhold som er avgjørende for å dra nytte av prefabrikkerte veggelementer i et prosjekt. Slike forhold kan være med på å enten skape effektivitet eller skape utfordringer.

3. Hva er de største utfordringene knyttet til bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer?

Det tredje forskningsspørsmålet tar for seg hvilke aspekter og forhold som kan føre til dårligere fremdrift i prosjektet. Spørsmålet bygger på det andre forskningsspørsmålet.

4. Hva er forskjellene mellom innkjøp og egen produksjon av elementene?

Spørsmålet ønsker å undersøke om det kan skapes et fortrinn ved å bruke den ene metoden for anskaffelse av ytterveggselementer over den andre. Spørsmålet bygger videre på det første forskningsspørsmålet.

1.3 Omfang og avgrensning

Prefabrikasjon er et vidt begrep som omfatter en rekke begreper og definisjoner. Oppgaven avgrenses til å omhandle prefabrikkerte ytterveggselementer utført i trevirke. Dette fordi prefabrikkerte yttervegger med bindingsverk av tre er mer aktuelt for oppgavens samarbeidspartner enn prefabrikkerte yttervegger utført i betong. Rapporten tar for seg elementer produsert i utlandet i tillegg til lokale produksjonshaller i umiddelbar nærhet eller på byggeplassen. Oppgaven fokuserer på to prosjekter utført av Consto Nord der prefabrikkerte ytterveggselementer har blitt benyttet. Begge prosjektene er leilighetsprosjekter, men det antas at tilegnet kunnskap og erfaringer i forbindelse med utførelsen av oppgaven vil være overførbart til andre typer byggeprosjekter.

Oppgaven skal omfatte teori som gir leseren basiskunnskap om emnet. Det skal også presenteres nasjonal og internasjonal forskning på hvordan bruk av prefabrikkerte yttervegger påvirker ulike parametere i byggeprosessen i forhold til tradisjonell plassbygging. Parametere som tid, kostnad, kvalitet og HMS og miljøpåvirkning er parametrene som ansees som mest aktuelle for sammenligning.

1.4 Oppgavens oppbygning

1. Kapittel tar for seg formålet og omfanget av oppgaven samt avgrensninger av arbeidet.

Oppgavens underliggende hovedproblemstilling presenteres samt tilhørende forskningsspørsmål. I tillegg diskuteres oppgavens oppbygning.

2. Kapittel beskriver metodene benyttet for å innhente, vurdere og analysere teori og data som fremkommer i denne rapporten. I tillegg vurderes styrker og svakheter med sentral litteratur som blir benyttet i denne oppgaven.

3. Kapittel kartlegger det teoretiske rammeverket som danner grunnlag for besvarelsen av oppgaven. Kapittelet baseres på søkemetoder presentert i kapittel to, og vil benyttes videre i kapittel fem som en forbindelse mellom eksisterende teori og innhentet data.

4. Kapittel presenterer resultatene fra gjennomførte intervju. Resultatene knyttes videre opp mot rapportens forskningsspørsmål for å besvare oppgavens underliggende problemstilling. Funn som fremkommer fra intervjuene brukes videre i kapittel fem.

5. Kapittel diskuterer resultatene som fremkommer i kapittel fire. Resultatene sidestilles med teori fra kapittel tre.

6. Kapittel sammenfatter en konklusjon basert på utført arbeid, samt presenterer forslag til videre arbeid for gjeldende tema.

2 Metode

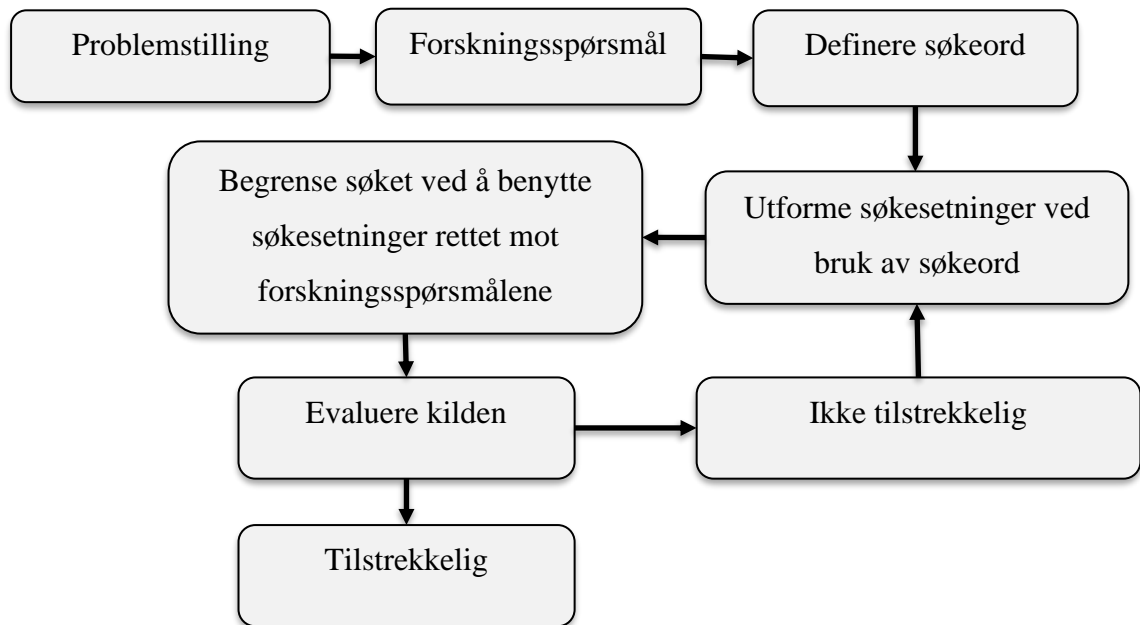
2.1 Strategi og Design

«*Hvordan kan prefabrikkerte ytterveggselementer bidra til en effektiv byggeprosess?*». I tillegg stilles underordnede forskningsspørsmål som har til funksjon å belyse den overordnede problemstillingen. I denne rapporten legges en kvalitativ forskningsmetode til grunn for oppgavens empiri. Kvalitativ datainnsamling benyttes på grunn av hovedproblemstillingens natur, som legges opp til å besvares ved bruk av erfaringer og eksisterende kunnskap. Den kvalitative datainnsamlingen vil i hovedsak benyttes i form av intervjuer. For innsamling av kvantitativ data kunne det også ha vært benyttet spørreundersøkelser.

Rapporten har en induktiv tilnærming. Oppgaven baseres ikke på foreliggende teorier, hypoteser eller antagelser. Selv om induktiv fremgangsmåte er valgt, kunne oppgaven være besvart ved bruk av deduktiv design ved å formulere teorier som eksempelvis: «*Designfasen er avgjørende for effektiv bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer i byggeprosjekter.*»

2.2 Litteraturstudie

Arbeidet med oppgaven ble innledet med et litteraturstudie. Dette ble utført for å skape en oversikt over primær og sekundærlitteratur som kan være relevant samt hensiktsmessig for å besvare de overordnede problemstillingene for oppgaven. Litteraturstudiet ble ansett som hensiktsmessig å gjennomføre tidlig i arbeidsprosessen for å oppnå en tilstrekkelig forståelse for eksisterende teori, begreper og definisjoner innenfor hovedtemaet for rapporten. Primærlitteraturen i denne oppgaven består av vitenskapelige rapporter som ser på overordnede problemstillinger, bransje- og markedsanalyser samt vitenskapelig dybdelitteratur. Ut ifra de underordnede forskningsspørsmålene ble det definert relevante søkeord. Søkestrategi vises i figur tre.



Figur 3: Søkestrategi ved litteratursøk

Litteraturstudiet ble innledet med en systematisk søkestrategi. Dette innebar søking i universitetsbiblioteket, Oria, DiVa og Google Scholar. Det ble raskt avdekket en mangel på fysisk litteratur som omhandlet oppgavens hovedtema. Suksessraten ved denne søkemethoden kan beskrives som beskjeden. En kombinasjon av usystematisk søking og kjedesøking ga bedre søkeresultat på relevant litteratur for denne oppgaven. Det ble opprettet søkeord rettet mot forskningsspørsmålene, eksempelvis *prefabrication*, *prefabrikasjon*, *industrialisering*, *lean-construction*. En svakhet ved søkestrategien var at usystematisk søk ga flere men mindre presise treff.

2.2.1 Litteraturens troverdighet

Oppgavens litteraturkilder består i stor grad av bransje- eller markedsanalyser. Spesielt markedsrapporter fra McKinsey og McGraw-Hill har blitt benyttet i stor grad som teoretisk grunnlag for sammenligning. Både McKinsey og McGraw-Hill ansees som markedsledende konsulentfirmaer, og troverdigheten kan vurderes som høy. Rapporten fra McKinsey omhandler bruk av prefabrikkerte elementer generelt, og ikke bare prefabrikkerte veggelementer. Dette er en svakhet med en av primærlitteraturkildene til oppgaven, og kan være med å svekke oppgavens validitet. Rapporten fra McGraw-Hill omtaler også prefabrikkerte elementer i en generell basis. Til forskjell fra McKinsey, presiserer McGraw-

Hill at halvparten av alle intervjurespondentene benytter prefabrikkerte veggelementer. Dette er med på å styrke oppgavens validitet. Forfatterne bak markedsrapporten bekrefter at store deler av dataene omhandler veggelementer og ikke bare prefabrikkerte elementer generelt.

2.3 Intervju

Det ble utført intervju for å innhente erfaringer om bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer. Intervju ble ansett som en hensiktsmessig metode for å innhente data, ettersom problemstillingen legges opp til å besvares med kvalitativ forskning.

Intervjuobjektene bestod av fagpersoner ansatt i Consto som har/-har hatt tilknytning til prosjektene Bjerkaker Sjøpark og Workinntoppen. Anonymisert for å unngå å behandle personlige opplysninger. Alle involverte intervjuobjekter er anonymisert gjennom oppgaven for å unngå å behandle persondata. Under intervjuene ble det derfor benyttet manuell transkribering i stedet for lydopptak. Det ble gjort totalt fem intervjuer, tre av dem tilhørende Bjerkaker Sjøpark og to med tilknytning til Workinntoppen.

Alle intervjuene ble gjennomført som semistrukturerte. En intervjuguide med forslag til spørsmål ble utformet i forkant av intervjuene, men spørsmålene i intervjuguiden ble stilt avhengig av hvilken rolle intervjuobjektet har hatt på prosjektet. Intervjuene var semistrukturerte for å skape en bedre flyt i samtalen. Inntrykket av at strukturerte intervjuer skaper låste samtaler der intervjuobjektene ikke kan få snakke fritt, ble avgjørende for valg av semistruktur. Personene tilknyttet samme prosjekt fikk ikke helt like spørsmål. Årsaken til dette var at helt like spørsmål ville mest sannsynlig skape like sett med data. Noen intervjuobjekter fikk derfor litt andre spørsmål for å skape et bredere datagrunnlag.

Datagrunnlaget på fem personer kan vurderes til å være et snevert grunnlag. Antall intervjuobjekter kunne selvfølgelig ha vært høyere. Motargumentasjon mot dette er at selv om man velger å intervju flere personer betyr det ikke nødvendigvis et bredere datagrunnlag. Flere personer på samme prosjekt vil mest sannsynlig ha samme erfaringer, og dermed gi samme svar. Intervjuobjekter fra andre prosjekter kunne ha blitt involvert for å styrke oppgaven. Prosjektene Bjerkaker Sjøpark og Workinntoppen ble valgt på grunn deres nylige prosjektslutt. Begge prosjektene ble avsluttet i år, og erfaringer sitter friskt i minne til involverte arbeidere. Dette gjør at intervjuobjektene kan gjengi erfaringer mer nøyaktig enn ved et prosjekt som ble avsluttet for eksempelvis fem år siden.

2.4 Prosjektene

Bjerkaker Sjøpark

Bjerkaker Sjøpark er et boligprosjekt lokalisert på Bjerkaker i Tromsø. Prosjektet består av seks blokker med totalt ca. 330 leiligheter. Byggestart var i 2016 og prosjektet var ferdig våren 2021. På dette prosjektet ble det kjøpt inn prefabrikkerte ytterveggselementer fra Litauen.


Workinntoppen

Workinntoppen er også et boligprosjekt lokalisert i Workinnmarka i Tromsø. Prosjektet består av 15 leilighetsblokker, fordelt på ni byggetrinn. Prosjektet startet i 2014 og var ferdig i 2021. På dette prosjektet ble det produsert ytterveggselementer lokalt på byggeplassen i en produksjonshall. Det ble produsert 1645 elementer fordelt på 15 blokker.

3 Teori

3.1 Prefabrikasjon

Det finnes flere definisjoner for prefabrikasjon. Professor Jan Vincent Thue beskriver prefabrikering som fabrikkfremstilling av større eller mindre bygningsdeler, for å redusere arbeidet på byggeplassen (Thue, 2009). Prefabrikasjon benyttes for elementer i tre, betong og stål, samt tre-betong-kompositter. Spesielt for betongbygg benyttes prefabrikasjon i stor grad, der hulldekker ofte leveres ferdigstøpt til byggeplassen, samt prefabrikkerte søyler og dragere i stål (Thue, 2009). Slik produksjonsmetode blir i litteratur hyppig referert til som off-site production, off-site fabrication, off-site manufacturing, pre-assembly m.m. Gibb og Goodier (2007) presenterer fire nivåer som angir graden av off-site arbeid utført på et element (prefabrikeringsgrad), som vist i figur fire nedenfor.



Nivå	Kategori	Definisjon
1	Komponentproduksjon og delmontering	Komponenter som oftest/alltid blir fabrikkproduisert
2	Ikke-volumetrisk produksjon	Ferdigmonterte enheter som ikke skaper bruksareal (eksempelvis tak, takstoler)
3	Volumetrisk produksjon	Ferdigmonterte enheter som skaper bruksareal og er typisk ferdig innredet (eksempelvis badekabiner)
4	Modulbygg	Ferdig monterte volumetriske enheter som utgjør en del av bygningens struktur (eksempelvis fengselsceller, hotellrom)

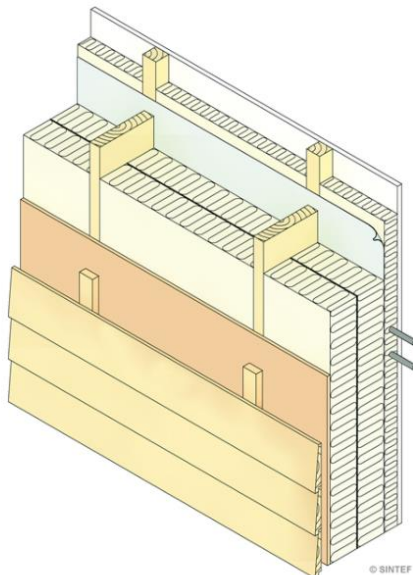
Figur 4: Prefabrikeringsgrad, gengitt fra Gibb og Goodier (2007)

3.2 Prefabrikkerte ytterveggselementer (Fasadeelementer)

Hovedtyngden til denne rapporten er rettet mot prefabrikkerte ytterveggselementer med bindingsverk utført i trevirke. Ytterveggselementene leveres til byggeplassen delvis ferdig, eller som komplette elementer med innsatte vinduer, rør- og elektroinstallasjoner (SINTEF, 2014). Noe kompletteringsarbeid vil vanligvis gjenstå etter at elementene er levert.

Hovedpoenget er at man slipper unna store deler av arbeidet lokalt på byggeplassen som reising av bindingsverk, isolering, innsetting av vinduer etc. Det mest vanlige er å prefabrikere veggelementer med bindingsverk, utvendig kledning samt isolasjon og insatte vinduer. Dampsperre, påføring, innvendig kledning, rør og kabelføringer monteres da på byggeplassen, slik at den totale elementtykkelsen er mindre gjennom transporten til byggeplassen (SINTEF, 2014).

Oppbyggingen av fabrikkfremstilte ytterveggselementer er i prinsippet den samme som for plassbygde vegger. Konstruksjonsdetaljer for sammenføring og forankring av elementene må utformes (SINTEF, 2014). Figur fem viser et eksempel på konstruksjonsoppbyggingen av et veggelement. Oppbyggingen kan variere fra prosjekt til prosjekt, og må ofte tilpasses prosjektet avhengig av f.eks. valgt standardnivå (TEK17, NS 3700, NS 3701). I tillegg må sammenkoblingsløsninger tilpasses forutsatt hvilket materiale ytterveggene, samt etasjeskillerne er laget av.



Figur 5: Oppbygging, yttervegg av bindingsverk (SINTEF, 2020)

3.2.1 Tidsforbruk

Ved bruk av prefabrikkerte yttervegger kan produksjon av elementene starte straks prosjektet er igangsatt (Bertram, et.al, 2019). Arbeidsaktiviteter kan i stor grad utføres parallelt, i motsetning til et tradisjonelt byggeprosjekt der flere av aktivitetene må utføres kronologisk. Dette gjøres ved at elementene produseres i en fabrikk samtidig som fundamentering og oppsetting av råbygget pågår. Gibb og Goodier (2007) peker på en studie der fagfolk i den britiske byggebransjen rangerer fordelene ved bruk av prefabrikasjon i byggeprosjekter. Redusert byggetid utpekes som den største fordelene spesielt blant entreprenører, der 69 prosent av deltakerne har utpekt fordelene som den viktigste.

” The biggest advantage of offsite compared with traditional construction is thought to be decreased construction time on site.” (Gibb, Goodier, 2007)

I 2019 publiserte det globale konsulentfirmaet McKinsey & Company en markedsrapport vedrørende bruk av modulbygging (prefabrikasjon, prekapp) generelt på en global basis. Det presenteres at modulbygging konsekvent har økt oppføringshastigheten av byggverk med 20-50 prosent i motsetning til oppføring ved tradisjonell byggemetode lokalt på byggeplass (Bertram, et. al, 2019). Nedkortingene av byggetiden blir et produkt av forenkling og effektivisering i hver av aktivitetene i prosjektet.

Designfasen – Det kan ta lengre tid å utvikle design ved bruk av modulbygging. Prosjektet låses tidligere i en større grad, noe som sørger for større kostnader og utfordringer ved eventuelle endringer senere i prosjektet. Utviklingen av standardiserte løsninger kan potensielt redusere designfasen for arkitekter og konsulenter. Et intervjuobjekt rapporterer en tidsreduksjon på nesten 15 prosent i designfasen gjennom gjenbruk av modulløsninger (Bertram, et. al, 2019).

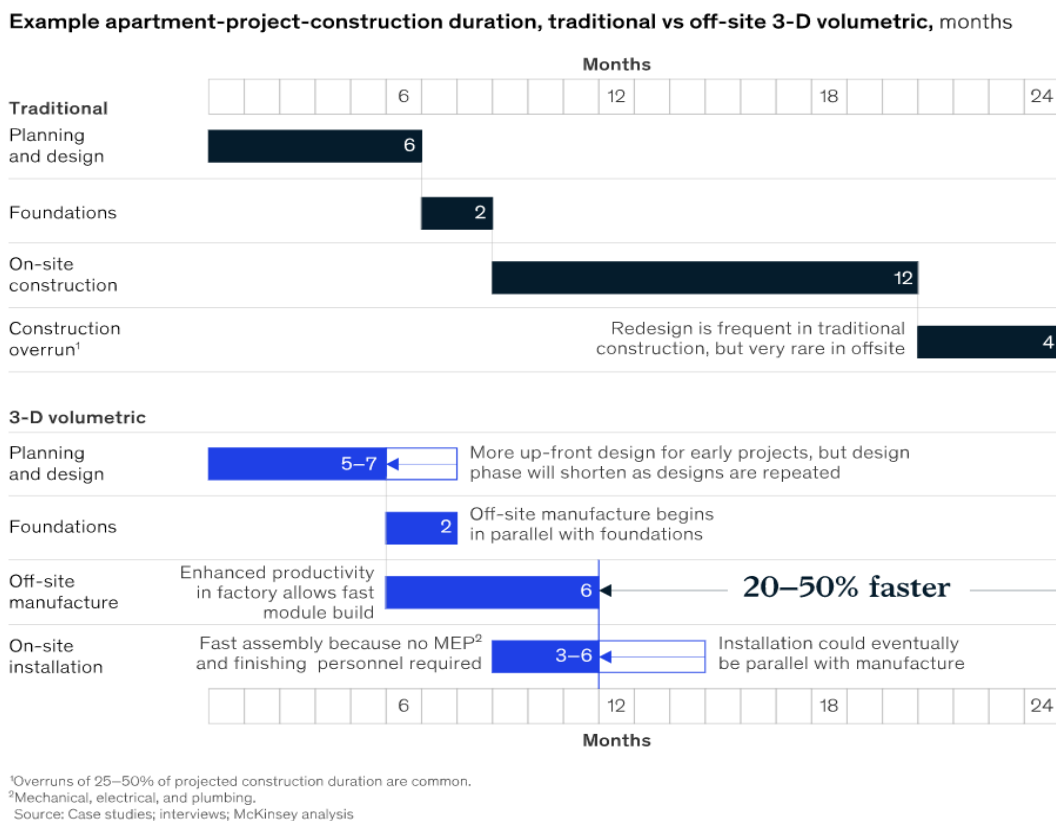
Fundamentering – Lite eller ingen tidsbesparelse fra overgangen til modulbygging.

Fabrikkproduksjon – Produksjon av elementene i kontrollerte omgivelser kan foregå betydelig raskere enn ved lokal produksjon på byggeplass. Økende grad av automatisering og repetisjon kan kutte ned produksjonstiden betraktelig. Økt produksjonskapasitet ved bruk av døgntilvarende produksjon er en mulighet dersom tilstrekkelig arbeidskraft er tilgjengelig. Produksjonen kan foregå parallelt med fundamentering og konstruksjonen av råbygget (Bertram, et. al, 2019).

Lokal montering – Konstruksjonsarbeidet lokalt på byggeplassen blir forenklet drastisk i forhold til tradisjonell bygging. Hovedarbeidet går ut på å tilkoble modulene til det eksisterende byggverket, eventuelt ferdigstilling av modulene. Bertram, et. al (2019) skriver videre at et team på fem arbeidere kan montere opp mot seks moduler hver dag. Dette tilsvarer ca 270m², en betydelig raskere oppføringshastighet enn ved tradisjonell plassbygging (Bertram, et. al, 2019).

Etterarbeid – Kvalitetssikring av elementene kan utføres enklere i kontrollerte omgivelser. Prefabrikkering kan redusere mengden etterarbeid som må utføres på prosjektet, følgelig reduseres den totale byggetiden. Ved fabrikkfremstilling kan feil, skader og mangler oppdages før elementene monteres på prosjektet, slik at man unngår unødvendige og dyre utbedringer av skader senere i prosjektet (Bertram, et. al, 2019).

Figur seks nedenfor eksemplifiserer hvordan varigheten for et leilighetsprosjekt kan nedkuttet ved bruk av prefabrikkerte volumelementer. Figuren viser betydelig tidsbesparelse som følge av at elementproduksjonen kan iverksettes straks ved planleggingsfasens slutt.



Figur 6: Eksempel tidsbesparelser ved bruk av prefabrikkerte elementer

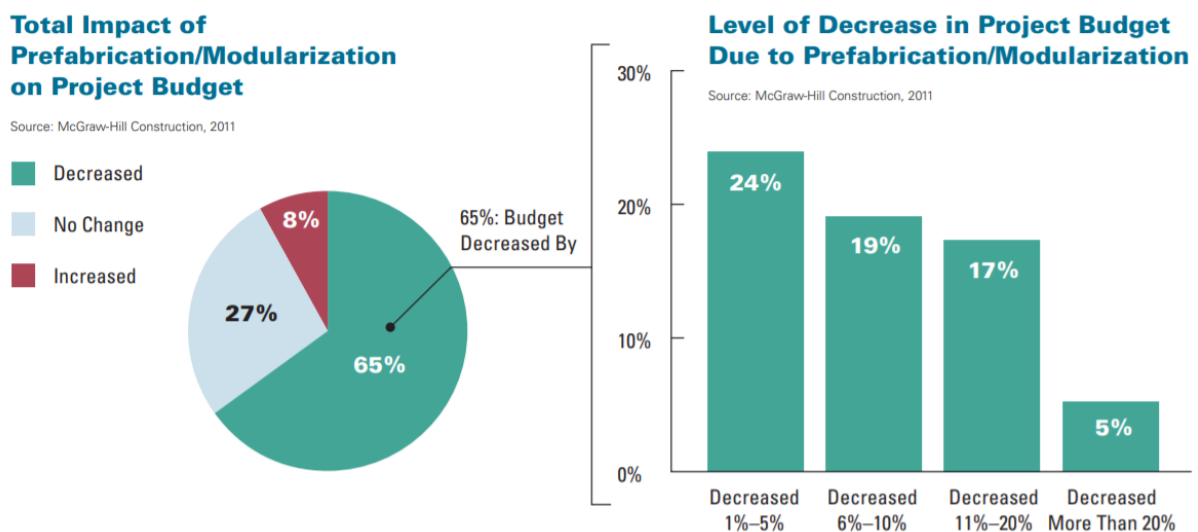
En studie utført av amerikanske McGraw-Hill Construction rapporterer at to tredjedeler av selskapene involvert i studien opplever en reduksjon i byggetiden. 35 prosent av involverte bedrifter rapporterer en reduksjon på fire uker eller mer (Bernstein, 2011). Bruk av prefabrikkerte elementer kan føre til en mer kompleks designperiode med behov for økt koordinering, noe som kan føre til en økning i tidsforbruk i denne fasen. Rapporten konkluderer med at tidsbesparelsen på selve byggeplassen mer enn gjør opp for en økning i tidsforbruk tidligere i prosjektet, og dermed reduseres den totale prosjektvarigheten (Bernstein, 2011).

Rapporten beskriver at tidsbesparelsene er størst hos de involverte selskapene som benytter BIM i prosjektene deres. Halvparten av deltakende selskaper som bruker BIM på mer enn halvparten av prosjektene deres opplevde en reduksjon på fire eller mer uker på prosjekteres totale varighet (Bernstein, 2011).

3.2.2 Kostnader

Gibb (1999) beskriver at byggekostnader for et prosjekt er direkte forbundet med prosjektets totale lengde. Ved redusert byggetid vil følgelig kostnadene for prosjektet reduseres. Tid er penger på en byggeplass, spesielt med tanke på rigg- og driftskostnader. Lønn til administrasjonen, byggestrøm, leie av brakkerigg, stillas, maskiner og utstyr vil være tidsbaserte kostnader (Fuglesang, Stenersen, A. H, 2018). I en intervjustudie utført i 2013 ble et utvalg av byggefirmaer og fagfolk utspurt om beslutningsprosessen knyttet til bruk av prefabrikasjon i prosjektene deres. Forskerne bak studien konkluderte med at flestparten av intervjuobjektene mente at verdien ved bruk av prefabrikkerte elementer skapes av en reduksjon i varigheten av de ulike aktivitetene på byggeplassen (Olsen, Ralston, 2013).

I en amerikansk studie indikerte 65 prosent av respondentene at bruk av prefabrikering (modulbygg) hadde en positiv effekt på prosjektets totale budsjett, der 41 prosent indikerte at budsjettet ble redusert med seks prosent eller mer (Bernstein, 2011). Tradisjonelle byggeprosjekter er ofte preget av ekstrakostnader som følge av f.eks. arkitekt- og byggherreendringer under byggeprosessen. Modulbygging kan bidra til å eliminere ekstrakostnader som følge av endringer senere i byggeprosjektet. Selv i prosjekter der prefabrikering ansees som kostbart, vil denne unngåelsen av ekstrakostnader ansees som verdifull, spesielt i prosjekter med ufleksible budsjetter. Denne sikkerheten ved bruk av prefabrikkerte elementer kan øke i verdi ved godt utført håndarbeid med høy kvalitet (Bernstein, 2011).

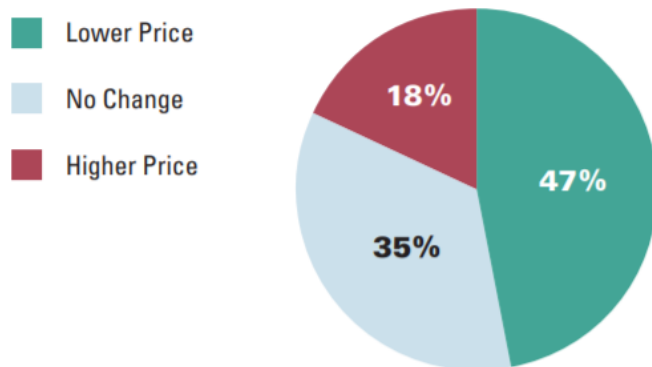


Figur 7: Reduksjon av prosjektsbudsjett (Bernstein, 2011)

Generelt vil kostnadsbesparelsene ved bruk av prefab. skapes av indirekte effekter som redusert behov for bemanning på byggeplass, reduksjon i sannsynligheten for å måtte betale overtid og andre uforutsette arbeidskostnader (Bernstein, 2011). I samme studie svarer 47 prosent av respondentene at den kombinerte innkjøpsprisen og byggekostnaden er lavere enn de totale kostnadene for innkjøp og plassbygging. Dette er viktig med tanke på oppfatningen av at prefabrikkerte materialer er dyrere. Billigere innkjøpskostnader bidrar også til den helhetlige reduksjonen av prosjektkostnader, og skapes ikke utelukkende av tidsbesparelser.

Impact of Prefabrication/Modularization on Purchase and Installation Prices for Materials

Source: McGraw-Hill Construction, 2011



Figur 8: Påvirkning på monterings- og materialkostnader (Bernstein, 2011)

Rapporten fra utført av McKinsey beskriver en potensiell kostnadsbesparelse på opp til 20 prosent ved modulbygging. Prosjektkostnadene kan derimot øke med opp til ti prosent dersom logistikk- og/eller materialkostnadene overstiger innsparelsene (Bertram, et. al, 2019). Materialkostnadene kan være vanskelig å anslå, men rapporten fra McKinsey hevder at en besparelse mellom fem og ti prosent skal være oppnåelig. En av hovedårsakene til at materialkostnadene kan variere nevnes til å være økte krav til materialkvaliteten (Bertram, et. al, 2019). En plassbygd vegg må oppnå kvalitetskrav på selve byggeplassen. En prefabrikkert vegg må konstrueres slik at den oppfyller kvalitetskrav etter transport samt løfting og forflytning med kran.

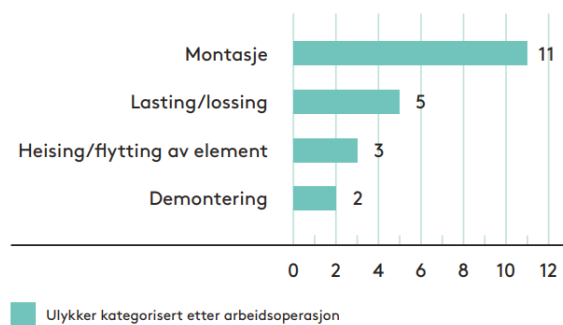
3.2.3 Kvalitet

Kvaliteten på de prefabrikkerte elementene må være tilsvarende eller bedre enn ved tradisjonell oppføring. Fabrikkmestilling åpner for økt kvalitetsgrad fremfor in-situ konstruksjon grunnet flere forhold som automatisering, kvalitetskontroll og beskyttelse fra vær og vind. Gjentakende prosesser og aktiviteter er med på å øke standardiseringen av elementkonstruksjonen, med god hjelp av bedre verktøy og tyngre maskiner. McKinsey (Bertram, et. al, 2019) hevder at prefabrikkert bygging kan øke kvaliteten. Ved å flytte byggeaktiviteter til et skjermet og nøye kontrollert miljø, er det mulig å direkte forbedre kvaliteten på elementene som produseres (Bertram, et al, 2019). Kvalitetskontroll kan gjennomføres kontinuerlig med bedre tid til å oppdage avvik og skader, samt bedre tid til utbedring av skader (Gibb, 1999).

Gibb og Goodier (2007) gjennomførte en markedsundersøkelse over de største fordelene som aktører opplever ved bruk av prefabrikering i den britiske byggebransjen. Økt kvalitet var blant de fordelene som de deltagende bedriftene opplevde i størst grad sammen med redusert byggetid.

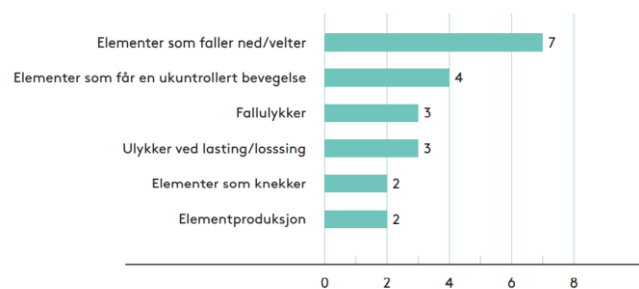
3.2.4 HMS

Chaiuhan, et al.(2019) lister opp økt sikkerhet og ergonomi som en fordel ved bruk av prefabrikasjon. Ifølge arbeidstilsynet (2020) finnes det lite forskning på sikkerhet i forbindelse med bruk av prefabrikasjon. Arbeidstilsynet skriver også: «*Det er en utbredt oppfatning at bruk av prefabrikasjon er mer sikker enn bruk av tradisjonelle metoder i bygg og anlegg, men at det er lite støtte i forskningen til påstanden.*» (Arbeidstilsynet, 2020). I 2020 kartla arbeidstilsynet skader på byggeplasser som skjedde i forbindelse med bruk av prefabrikasjon. Figur ni viser skader som skjedde i forbindelse med ulike arbeidsoperasjoner,



Figur 9: Skader kategorisert etter arbeidsoperasjon (Arbeidstilsynet, 2020)

Arbeidstilsynet analyserte 21 ulykker som skjedde i forbindelse med bruk av prefabrikasjon. Fire av de ulykkene var dødsulykker, spesielt de ulykkene når elementer faller ned eller velter som har stort skadepotensial (Arbeidstilsynet, 2020). I flere av de andre type ulykkene var det også alvorlige skader som hodeskader, bruddskader i hender og føtter og noen bløtvevsskader. Over halvparten av skadene skjedde i forbindelse med montering av elementene (Arbeidstilsynet, 2020). Figur ti viser skadene beskrevet i mer detaljerte hendelser.

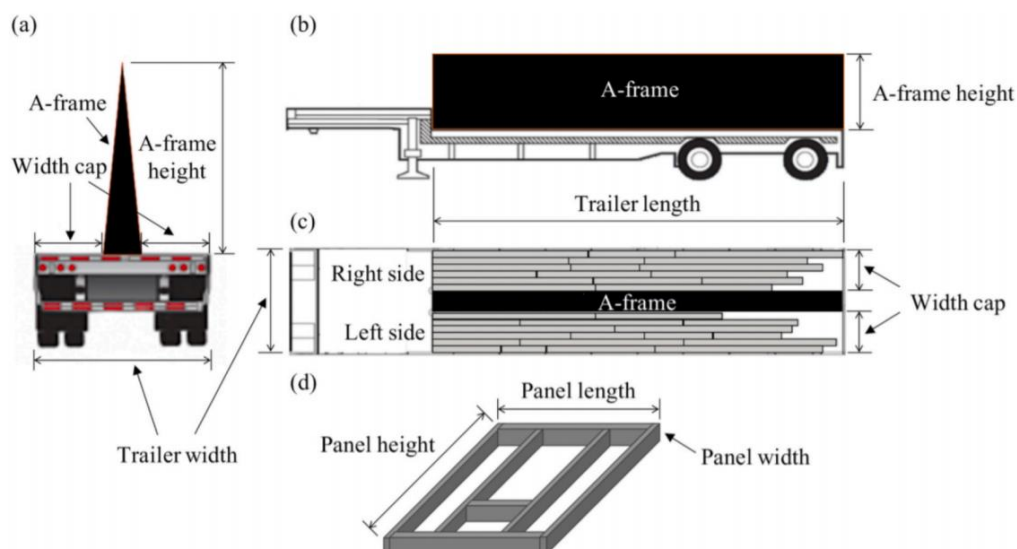


Figur 10: Ulykker kategorisert etter hendelser (Arbeidstilsynet, 2020)

3.2.5 Logistikk/Transport

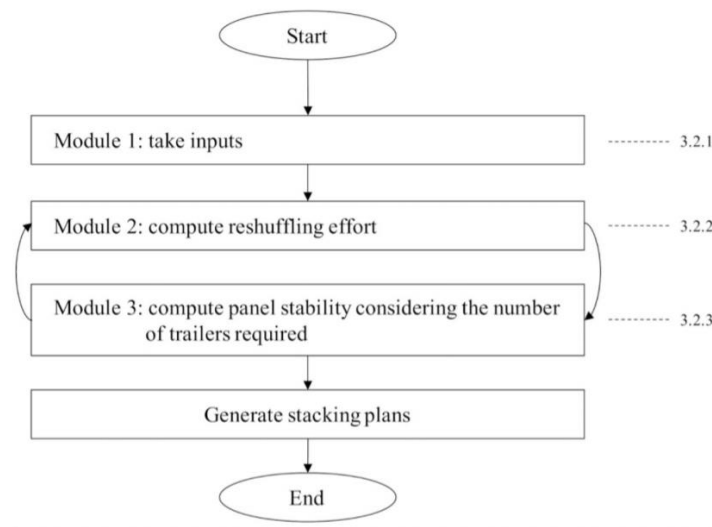
I denne rapporten har det blitt pekt på gevinster ved bruk av prefabrikkerte elementer som tidsbesparelse, reduksjon i arbeidskostnader samt forutsigbar kvalitet. Det ligger derimot en risiko for økte logistikkostnader ved bruk av prefab, noe som kan gjøre alternativet ugunstig i forhold til lokal produksjon på byggeplass. Logistikkostnader utgjør omtrent fem prosent av kostnadene for et amerikansk byggeprosjekt utført med konvensjonelle byggemetoder, men ifølge McKinsey vil prosjekter risikere en økning av logistikkostnader på opp mot ti prosent ved bruk av prefab (Bertram, et.al, 2019). Høye logistikkostnader i form av transport, installasjon, forflytting innad på byggeplass kan fungere som en barriere for aktører (Lee, et al, 2021). Derfor er det viktig å effektivisere transporten av elementene for å skape et konkurransefortrinn i prosjektkostnadene.

Logistikkostnadene kan påvirkes av flere forhold. En studie utført på transport av prefabrikkerte yttervegger identifiserer at antallet lastebiler til transport av elementene har størst påvirkning på logistikkostnadene (Lee, et al, 2021). Følgelig kan kostnadene reduseres ved å benytte minst mulig antall lastebiler for transporten. Forskerne undersøkte hvilken transportmetode som var vanligst for transport av ytterveggselementer. Fra studiet identifiserte forskerne at ytterveggene ble stablet opp vertikalt mot en A-ramme under transporten. Av garantiårsaker stables veggene vertikalt ettersom innsatte vinduer og kledning tilfører ekstra vekt. Ved horisontal stabling øker risikoen for skade på elementene på grunn av trykk (Lee, et. al, 2021).



Figur 11: Eksempel elementtransport Amerika (Lee, et.al, 2021)

Samme studie diskuterer bruk av en matematisk modell for å minimere byggarbeidernes arbeid med tanke på forflytning av veggelementer. En digitalisert stablingsplan kan utarbeides for å minimere antallet lastebiler for transport, utnytte maksimalt tilgjengelig plass i hver lastebil, i tillegg til å øke produktiviteten ved å plassere elementene hensiktsmessig i forhold til tidspunktet elementene skal monteres på prosjektet (Lee, et al, 2021). Dette for å hindre unødvendig forflytning av elementene innad på byggeplassen. Ideelt sett bør et element lastes av lastebilen, og monteres direkte på byggverket.



Figur 12: Skript for stablingsplan (Lee, et.al, 2021)

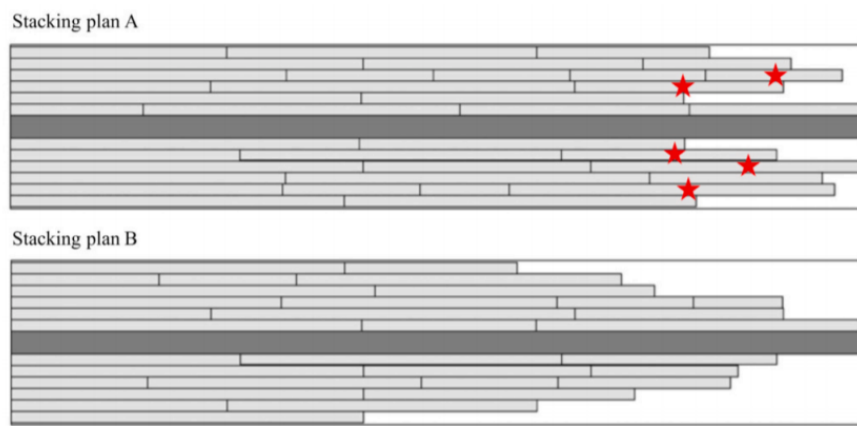
For å generere en stablingsplan defineres det faktorer som «reshuffling effort» (omstokking) samt elementstabilitet. Reshuffling effort blir definert som antall tilleggsbevegelser for å omorganisere gjenstander (f.eks. esker, containere, i dette tilfellet veggelementer) for å finne den rette til å laste av. Forskerne definerer begrepet følgende:

$$\text{Reshuffling effort} = \text{Total number of movements} - \text{Optimal number of movements.}$$

Verdien benyttes som et tall på bortkastede bevegelser ved montering. Unødvendig omstokking kan utgjøre en sikkerhetsrisiko for arbeiderne, påføre skade på elementene samt i skape forsinkelser i arbeidet, i tillegg til at begrenset plass kan komplisere arbeidet. (Lee, et al, 2021). Hver tur for å laste av et element og flytte det til installasjonsområdet, eller sidesette det defineres som en bevegelse. Det optimale antallet bevegelser bør være likt antall veggelementer, ettersom hvert element bør kun kreve en tur fra lastebil til installasjonsområdet (Lee, et al, 2021). I tillegg defineres elementstabilitet som:

$$\text{Stability of the } i^{\text{th}} \text{ panel (\%)} = \frac{\text{Overlapping area of inner panel(s) and } i^{\text{th}} \text{ panel}}{\text{Area of the } i^{\text{th}} \text{ panel}} \times 100$$

Veggelementene må være stabile under transporten. Stabiliteten av elementene kvantifiseres som forholdet mellom arealet av to tilstøtende elementer. Brukerne bestemmer hvilken stabilitetsprosent de ønsker for hvert panel, som f.eks. 80%. Dersom valgt prosent gir behov for en ekstra lastebil, senkes ønsket stabilitet siden hovedmålet med stablingsplanen er å minimere antall lastebiler (Lee, et al, 2021).



Figur 13: Eksempel stablingsplan med dårlig og stabilitet (Lee, et.al, 2021)

3.3 Industrialisering av byggeprosessen

Den Norske byggebransjen er preget av mye manuelt arbeid knyttet til blant annet prosjektering, planlegging, bestilling og dokumentasjon knyttet til prosjekter. Dette gir større rom for menneskelig feil som feilbestillinger, feilfaktureringer, varer som leveres for sent og kan skape større forsinkelser i byggeprosjektene (Bygg21, 2019). Lite standardisering og gjenbruk av løsninger og prosesser er en gjenganger blant norske aktører, og ifølge tall fra SSB har bygg og anleggsproduktiviteten falt med ti prosent siden 2000-tallet (SSB, 2018).

Begrepet industrialisering er knyttet til flere positive effekter og forventninger som potensielt kan styrke den norske bygg- og anleggsnæringen. Bygg21 definerer begrepet industrialisering i forbindelse med bygge- og eiendomsnæringen som:

«Industrialisering av byggeprosjekter er å planlegge og gjennomføre en prosess som i størst mulig grad gjentar bruk av standardiserte løsninger, industrielle metoder og digitale verktøy. Hensikten er å sikre høy produktivitet og kvalitet gjennom effektive innkjøp, rask produksjon og god dokumentasjon.» (Bygg21, 2019)

Industrialisering har blitt satt høyt på agendaen hos flere norske aktører på grunn av forventningene som knyttes til begrepet. De mest vesentlige forventningene beskriver SINTEF som:

- Kortere byggetid
- Mer effektive prosesser
- Reduserte kostnader
- Økt konkurransekraft
- Bedre kontroll
- Færre arbeidsulykker
- Renere bygg
- Bedre kvalitet og færre byggskader
- Økt levetid

For å kunne bringe industrialiseringsprosessen inn i bygg- og anleggsnæringen er det viktig å skape en enighet om hva utsagnet «industrialisering av byggeprosessen» innebærer. Bygg21 har definert fem dimensjoner som må være tilstedet for å kunne definere en industriell byggeprosess.

Organisering-Flyt-Standardisering-Automatisering-Teknologibruk

Organisering av den industrielle byggeprosessen beskrives som den første dimensjonen. Her skilles det ofte mellom organisering av industriell byggeprosess og industriell byggproduksjon. Byggeproduksjon kan betegnes som «Engineer to order» (ETO) eller «Make to order» (MTO) litt avhengig av valgt entrepriserform. Totalentrepriser kan klassifiseres som ETO der entreprenøren står ansvarlig for prosjektering, bygging og anskaffelser (Kalsaas, 2017). For at gjennomføringen av en industrialisert byggeprosess skal være vellykket kreves tettere samarbeid mellom aktørene samt opparbeiding av felles mål og intensiver (Bygg21, 2019).

Lean-basert tankegang står sentralt i industriell tenkning, der det legges vekt på produktets flyt fra idé til bruksfasen (SINTEF, 2017). Flere av Lean-prinsippene har som intensjon å skape en konstant flyt i produksjonen fra en verdiskapende aktivitet til den neste. Konsekvent bruk av BIM gjennom hele prosjektet kan også bidra til god flyt i en industrialisert byggeprosess (Bygg21, 2019).

Standardisering og skreddersøm er to begreper som ofte trekkes frem i diskusjonen om produktivitet ved industrialisering. En reduksjon av variasjon knyttet til kvalitet, kvantitet og timing fremheves som et suksesskriterium for økt produktivitet (SINTEF, 2017).

Standardisering blir knyttet til akkurat dette, og skal føre til kostnadsreduksjon. Skreddersøm antas å føre til det motsatte, nemlig en økning i variasjon. Begrepene fremstilles som svart og hvitt, noe som ikke nødvendigvis blir helt korrekt (SINTEF, 2017). Standardisering knyttes sterkt til kostnadsreduksjon, og innebærer repetisjon, utskiftbarhet og kvalitetssikring.

Bygg21 beskriver eksempler på produktrelatert standardisering som:

- Produktstandardisering - Ferdighus fra kataloger.
- Grensesnittstandardisering – GS1-standardene
- Kravstandardisering – Produktkrav (brann m.m) og funksjonskrav (universell utforming (m.m))

Produktstandardisering har en tendens til å assosieres med reduserte valgmuligheter, monotone bygg og lav standard. I et norsk marked som etterspør fleksibilitet, valgmuligheter og individuell tilpasning, har kanskje produktstandardisering gitt industrialisering et dårlig rykte (SINTEF, 2017). Parallelt fremheves produktstandardiseringen som en av faktorene for å løse boligmangelen i flere norske byer, samt redusere høye inngangsprisen for førstegangskjøpere inn i et boligmarked preget av sterk prisvekst (SINTEF, 2017).

3.3.1 Lean Construction

Lean-betegnelsen har opprinnelse fra den japanske bilindustrien, og ble karakterisert som et samlebåndsystem med minimalt lagerhold (Kalsaas, 2017). John Krafcik beskrev at samlebåndproduksjon uten buffere sikrer kontinuerlig produksjonsflyt (Krafcik, 1988). Byggeplassproduksjon ble ansett som lite forutsigbar, og overmoden for fornyelse. Inspirert av den japanske bilindustrien, ble lean-tilnærmingen videreført og tilpasset byggenæringen av sentrale skikkelser som blant annet Lauri Koskela og Glenn Ballard (Kalsaas, 2017).

Koskelas (2000) teori om produksjon kalt TFV-teorien (Transformasjon-Flyt-Verdi) står sentralt i lean-tilnærmingen. Transformasjon betegner transformasjon av materialer til sammensatte komponenter og var hovedfokuset tidligere i kjent produksjonsteori (Kalsaas, 2017). Lean-tilnærmingen utvider hovedfokuset til å omfatte flytperspektivet som inkluderer det som skjer mellom transformasjonene, eksempelvis lagring, rydding og rigging. Flytfokuset står meget sentralt i lean-tilnærmingen og i følge Koskela (2000) det legges vekt på å:

- Fjerne sløsing
- Redusere ledetiden i forsyningskjeden
- Redusere variasjon
- Forenkle forsyningskjeden
- Øke fleksibiliteten
- Øke gjennomsiktigheten (visuell ledelse)
- Forbedre prosessene kontinuerlig

Hovedpoenget med flytfokuset er å redusere sløsing, fordi det forventes å ha en positiv effekt på de øvrige punktene. Det kan også sees på motsatt, ved å innføre en standardisert måte å gjennomføre prosjektet på, vil man redusere variasjon og dermed også sløsing (Kalsaas, 2017). Det kan skilles mellom flyt som prosess (produktflyt) og flyt som operasjon (arbeidsflyt), herunder benyttes henholdsvis begrepene ressurseffektivitet (produktflyt) og flyteffektivitet (arbeidsflyt). Ressurseffektivitet fokuserer på utnyttelse av maskiner og arbeidskraft som ressurs, mens flyteffektivitet fokuserer på at flytenheten beveger seg raskt og kontinuerlig, altså med minimalt hindring (Kalsaas, 2017).

Lean Construction Institute lanserte fem hovedideer om hvordan bygg- og anleggsprosjekter bør organiseres og gjennomføres på et overordnet nivå. LCI hevder at ideene er underbygd av et solid historisk grunnlag, og ble utviklet i forbindelse med bygging av et sykehus i California (Kalsaas, 2017). Ideene er som følge i uprioritert rekkefølge:

1. Forbedre den sosiale relasjonen mellom partene
2. Optimaliser helheten, ikke delene (unngå suboptimalisering)
3. Prosjektet er et nettverk av forpliktelser (alle er forpliktet overfor hverandre og avhenger av hverandre)
4. Samarbeid tett fra design til og med gjennomføringen
5. Etabler tett kobling mellom handling og læring (kontinuerlig forbedring kan lettere oppstå når disse elementene kombineres)

3.3.2 Lean-filosofien og prefabrikking

Litteraturen har foreslått flere tilnærminger og metoder for skape en mer industrialisert bygg- og anleggsnæring. Eksempler på dette er blant annet adaptasjon av den japanske bilindustriens dynamiske læringssystem (lean-construction) (Gann, 1995), og bruk av prefabrikasjon (Gibb, 1999). Lean fokuserer på eliminering av sløsing og verdiskapning, mens prefabrikasjon ansees som en måte til å skape struktur og redusere kompleksitet og sløsing på grunn av variasjon (Hóök, Stehn, 2005). Hóök og Stehn (2005) skriver at i tillegg til å redusere noen typer kompleksitet i bygg, kan bruk av prefab. introdusere andre typer på grunn av nye roller til aktørene og et skifte i fokus til produksjon.

4 Resultater

4.1 «Hvorfor bruke prefabrikkerte ytterveggselementer?»

-Effektiv bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer fører til kortere total byggetid

Fra intervjurunden fremkommer det at egenproduksjon av prefabrikkerte ytterveggselementer i Consto startet for ca. 8-9 år siden. Prosjektene Kræmer Brygge Bolig og Kræmer Brygge Næring i Tromsø var svært travle prosjekter fremdriftsmessig. Bedriften ble dermed nødt til å tenke prefabrikasjon for å imøtekomme den travle fremdriftsplanen. Det var ikke snakk om å kjøpe fra utlandet, og bedriften hadde ingen fornuftige leverandører av prefabrikkerte veggelementer. Bedriften valgte dermed å produsere ytterveggselementer i et gammelt bygg tilknyttet prosjektets område.

Gjennom intervju av flere fagpersoner ble det avdekket et enstemmig svar på dette spørsmålet. Samtlige intervjuobjekter svarte at den største fordelen ved bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer var kortere byggetid. Nedkortingen av byggetiden er et resultat av tidlig lukking av byggverket. Taktekkingen kan igangsettes så snart fasadene på byggverket er lukket. I tillegg vil man kunne starte med det innvendige arbeidet tidligere, og dermed også starte uttørkningsprosessen av byggfukt tidligere. Så snart bygget blir tett reduseres væravhengigheten, og man trenger ikke å forholde seg like mye til regn og vindforhold. Fra intervjuene anslås det at bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer kan kutte ned inntil én måned av total byggetid sammenliknet med tradisjonell plassbygging.

Siden byggekostnader er direkte avhengig av timesforbruk, fremkommer det fra intervjuene at det foreligger en kostnadsbesparelse ved bruk av prefabrikkerte yttervegger. Det presiseres at det er billigere å flytte timeverk til andre steder av byggeplassen slik at man oppnår mest mulig parallelt arbeid. Lavere riggekostnader enn ved tradisjonell plassbygging ble framhevet i intervjuene. Lifter og stillas står i lengre tid ved tradisjonell plassbygging, følgelig øker riggekostnadene i takt med timesforbruket.

Gjennom erfaringer tilegnet fra intervjuene identifiseres det en mulig miljøgevinst ved bruk av prefabrikkerte veggelementer. Intervjuobjekter erfarer at bruk av veggelementer fører til mindre avfall på byggeplassen. Materialer brukt i produksjon blir prekappet slik at sløsing minimeres. Langdistansetransport av elementene antas av et intervjuobjekt til å ha en negativ miljøpåvirkning på grunn av høye klimagassutslipp.

4.2 «Hva er de viktigste elementene knyttet til effektiv bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer?»

-Detaljert planlegging fra tidlig fase. RIB må få med alt av detaljer i BIM-modell. Gode og detaljerte beskrivelser av arbeid som skal utføres, ikke minst HMS-beskrivelser.

Fra intervjuene fremkommer det at planleggingen er avgjørende for hvor stor nytte man får ut av prefabrikkerte yttervegger. For å lykkes med effektiv bruk prefabrikkerte ytterveggselementer må det planlegges og prosjekteres tidlig i prosjektet. Flere intervjuobjekter presiserer også at utarbeidelsen av en detaljert BIM-modell er avgjørende for prosjektets gang dersom ytterveggselementer skal benyttes. RIB-en må få med alt av tekniske gjennomføringer som sprinkler og ventilasjon i BIM-modellen, i tillegg til detaljer som bolter, stålsammenføyninger, vinkler, balkongdører og gjennomføringer til balkonger. Det påpekes også at det er nødvendig at alle involverte parter i prosjektet har satt seg godt nok inn i modellen.

Et intervjuobjekt presiserer også viktigheten av leveransen av elementene som kjøpes inn og transporteres til byggeplassen. Forsinkede leveranser vil skape forsinkelser i monteringen av elementene. I leveransen av elementene var det lagt til én dags slakk for å forhindre forsinkelser i elementleveransen. Lastebilene kom altså én dag før elementene skulle monteres. Intervjuobjektet forklarer også at for å sikre best mulig fremdrift ved montering, utarbeides det en lasteplan av elementfabrikken. Lasteplanen skal sørge for at avlastningen av elementene blir så uproblematisk som mulig. Elementene blir da lastet og skrudd sammen med treverk slik at man kan laste av et element uten at de andre faller. Det aller siste elementet må følgelig støttes opp før de siste elementene kan lastes av.

HMS-fokuset er generelt høyt på byggeplassene til bedriften. Detaljerte arbeidsbeskrivelser nevnes også som nødvendig av intervjuobjektene i sammenheng med montering og håndtering av ytterveggselementene. Elementene avstives tilstrekkelig ved mellomlagring, og elementene styres med styretau under løfting. Andre viktige HMS-beskrivelser som nevnes er trekking av midlertidig rekkverk langt inn på hulldekker for å forhindre fall, avsperringer av arbeidsområder og god kommunikasjon mellom kranfører og arbeidere på bakken ettersom montasje ofte foregår i områder skjult for kranførers synsfelt. Et intervjuobjekt anslår at bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer kan føre til mer alvorlige skader, der klemfare antas mest sannsynlig.

4.3 «Hva er de største utfordringene knyttet til bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer?»

-Ytre værpåvirkning kan forlenge byggetid. Ufullstendig planlegging kan også skape utfordringer.

Fra gjennomgangen av intervjuene var det en spesifikk utfordring som skilte seg ut. Værproblematikk kan påvirke den totale byggetiden ved å forlenge tiden det tar å montere elementene. Vind kan skape farlige situasjoner som eksempelvis klemfare, ettersom det er snakk om løfting av store, tunge elementer. Et av intervjuobjektene forklarer at det ikke er mulig å løfte elementene i vind over 7-8 m/s. Ingen av intervjuobjektene kunne rapportere om noen farlige hendelser i forbindelse med elementløfting i mye vær.

Ufullstendig planlegging eller dveling på avgjørelser kan også skape uforutsette utfordringer senere i prosjektet. Alt av tekniske føringer, bærekonstruksjoner osv. må være ferdig prosjektert før man kan begynne å produsere elementene. Alt må være med på BIM-modellen når prosjekteringen av elementene starter. Detaljtegninger og tegninger av elementene må utføres med korrekte mål og høyder. Avvik kan føre til store uforutsette kostnader og ekstraarbeid.

Intervjuobjekter fra Bjerkaker Sjøpark beskriver en utfordring de opplevde ved montasje av veggelementene i det første byggetrinnet. Veggelementene var prosjektert til å gå fra overkanten av hulldekke til underkant av neste dekke. Dette skapte en mer omfattende tettejobb, i tillegg til mer forarbeid før montering av elementene. Detaljtegningene av veggelementene ble endret for de siste byggetrinnene, der hovedendringene var at veggelementene ble forlenget til å gå fra overkant av hulldekke forbi overkanten av neste hulldekke. I tillegg nevnes en fallulykke under montasje av elementene på første byggetrinn, der en person falt fra en stige. Intervjuobjektet presiserte at de lærte av hendelsen, og endret måten de utførte arbeidet på.

En annen utfordring som nevnes er hvordan valutakursen kan øke kostnadene i prosjektet. Dette vil kun gjelde for innkjøp av elementer fra utlandet.

4.4 «Hva er forskjellene mellom innkjøp og egen produksjon av ytterveggselementer?»

-Flere likheter. Kapasitet og ressursmessige forskjeller. Potensielt miljømessige forskjeller.

Intervjuobjekter fra Workinntoppen påpeker at tilstrekkelig kapasitet på bemanning er en forutsetning for å produsere elementer selv. Prosjektets størrelse må vurderes, i tillegg til at tilgjengelig plass på byggeplassen vil være en avgjørende faktor. Egenproduksjon av elementer behøver en stor ledig flate, noe som ikke er tilgjengelig ved flere byggeplasser. På mindre, trange byggeplasser vil også montering av innkjøpte elementer være en utfordring.

Intervjuobjektene fra begge prosjektene bekrefter at de dro nytte av fremdriftsfordelene ved bruk av prefabrikkerte veggelementer. På Bjerkaker Sjøpark forklarer et intervjuobjekt at hele D-blokken (siste byggetrinn) ble tettet på tre uker. Planlagt tid på samme operasjon var fire uker. Det begrunnes ved at bra vær og lite vind tillot kontinuerlig produksjonsflyt uten stopp, noe som resulterte i en betydelig tidsinnsbeparelse. Et intervjuobjekt fra Workinntoppen beskriver også montasjen og produksjonen av elementene som generelt uproblematisk med lite korreksjonsarbeid. Intervjuobjekter fra begge prosjektene beskriver en kontinuerlig forbedring utover i prosjektene, slik at prosjektene kunne gå på skinner. Med bra vær kunne 25 veggelementer monteres på Workinntoppen i løpet av en dag.

På begge prosjektene beskrives kvaliteten på elementene som god. Elementene på Bjerkaker hadde lite skader, og ingen skader som kunne tilskrives transporten. Et intervjuobjekt fra Workinntoppen forklarte at elementene stod tørt i produksjonshallen og ble kontrollert med fuktmåler før lukking for å sikre høy kvalitet.

5 Diskusjon

5.1 Effektivitet som følge av tidsbesparelse

Resultatene fra intervjuene indikerer at bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer kan redusere den totale byggetiden med opp til en måned i slike leilighetsprosjekter. Rapporten fra McGraw-Hill (Bernstein, 2011) indikerte en potensiell tidsbesparelse på fire uker. Resultatene fra intervjuene og rapporten fra McGraw-Hill samsvarer meget godt, og validiteten til resultatet på det første forskningsspørsmålet kan vurderes som god. Det er uten tvil at prefabrikkerte ytterveggselementer kan medføre en tidsbesparende effekt ved nøye planlegging og prosjektering. Et intervjuobjekt fra Bjerkaker Sjøpark kunne beskrive en tidsbesparelse på en uke ved tetting av siste leilighetsblokk. Gjennomføringen av intervjuene i tillegg til litteraturstudiet gjør det mulig å avgjøre den største gevinsten ved bruk av prefabrikkerte yttervegger, nettopp en reduksjon i byggetid. Resultatet er forenlig med utsagnet til Gibb og Goodier (2007) nevnt i kapittel tre. Et intervjuobjekt ved Workinntoppen nevnte at 25 elementer kunne monteres på en dag med godt vær. McKinsey (Bertram, et.al, 2019) skriver i deres rapport at et team på fem personer kan montere seks moduler i løpet av en dag. Det store avviket kan forklares ved at McKinsey ikke presiserer hvilke typer elementer som monteres. Det ble heller ikke presisert i intervjuet hvor stor bemanning som monterte elementene på Workinntoppen. Det konkluderes med at begge prefabrikkerte ytterveggselementer bidrar til effektivitet i begge prosjektene, i form av tidsbesparelse.

På Bjerkaker beskriver intervjuobjektene leveransen av ytterveggselementene som problemfri med lite mellomlagring. Prosjekter der veggelementene kjøpes inn er likevel avhengige av at leveransene kommer til planlagt tid. På Workinntoppen beskrives også leveringsprosessen fra produksjonshallen som uproblematisk, og kapasiteten til å sikre jevn produksjon gjennom hele prosjektet var tilstrekkelig. Her må fordelene gis til prosjektet på Workinntoppen, ettersom de har større kontroll på deres egen kapasitet til å levere elementene i tide. Ved antydning til forsinkelser i levering av elementene, kan de raskt øke bemanningen for å forhindre forskyvninger i fremdriften.

5.2 Effektivitet som følge av kostnadsbesparelse

Kostnadsaspektet rundt bruken av prefabrikkerte yttervegger ble lite diskutert i intervjuene, og uten spesifikke kvantitative data blir det vanskelig å sammenligne kostnader fra involverte prosjekter med eksisterende litteratur. Kostnader og kalkyler har ikke blitt presentert i oppgaven med hensyn til taushetsplikten som forfatteren har forpliktet seg til.

I intervjuene med fagpersoner fra Workinntoppen ble det diskutert en del rundt egen produksjon av veggelementer. Fra litteratursøket ble det avdekket overraskende lite informasjon som omhandler egen produksjon av veggelementer av utførende entreprenører. På dette området har Consto tilegnet seg verdifull kunnskap over flere år. For å sammenligne innkjøp og egen produksjon av veggelementer, sammenfattes erfaringer fra de to prosjektene som fremkommer i intervjuene.

Bjerkaker Sjøpark og Workinntoppen har sammenstilt prosjektene selv, og altså kommet frem til at prisen per element ble omtrent det samme ved innkjøp og egen produksjon av ytterveggselementer. Selv ved innkjøp og oppsetting av egen produksjonshall i tillegg til ekstra bemanning, endte pris per element på omtrent samme sum, forutsatt at eurokursen lå på ti kroner. Et intervjuobjekt anslår prisen på å etablere en produksjonshall til å ligge på omtrent en halv million kroner. I tillegg kommer lønn til alle produksjonsarbeiderne. Ifølge McKinsey kan transportkostnader komme helt opp i 10 prosent av prosjektkostnadene ved bruk av prefabrikkering (Bertram, N. *et.al*, 2019). Prisen per element ved innkjøp antas dermed til å drives opp av transportkostnader, spesielt når elementene må fraktes fra fabrikker i Øst-Europa. Til fordel for egen produksjon av veggelementene, kan produksjonshallen flyttes til et annet prosjekt og benyttes videre. Slik kan den initielle investeringskostnaden per kvadratmeter reduseres. Dette har også Consto valgt å gjøre, ved å flytte produksjonshallen fra Workinntoppen til det nye prosjektet på Fløyliia. Produksjonshallen kan supplere veggelementer til andre nærliggende prosjekter ved eventuell ledig kapasitet i produksjonshallen, slik at investeringskostnaden per kvadratmeter kan reduseres ytterligere. Fra intervjuene kan man konkludere at det er liten kostnadsmessig forskjell mellom innkjøp og egenproduksjon av ytterveggselementer. Potensialet til å skape kostnadsbesparelser er større ved egen produksjon av elementene.

Et verdifullt punkt som fremkommer fra intervjurunden som ikke kommer like godt frem i litteratur er hvordan markedsvariasjon kan påvirke prosjektkostnadene. Svingninger i valutakursen kan gjøre innkjøp fra utlandet dyrere enn planlagt. Kontinuerlig overvåkning av valutakursen kan være lurt med tanke på å minimere utvekslingskostnadene mellom to valutaer. Markedet kan være uforutsigbart og uforutsette enkelthendelser som koronapandemien kan være med på å vippe valutakurser i en ugunstig retning.

5.3 Miljøpåvirkning

Et intervjuobjekt ved Bjerkaker Sjøpark antar at innkjøp av prefabrikkerte veggelementer kan ha en negativ miljøpåvirkning på grunn av lange transportdistanser. Lastebiler og trekkvogner har ifølge SSB (2016) et gjennomsnittlig utslipp på 788 gram per kilometer ved fri flyt i 100 km/h. Forbruket vil være enda høyere ved lavere hastigheter og mye trafikk. Ved å anta produksjonssted for elementene til å være Vilnius i Litauen, vil korteste avstand til Tromsø være ca. 2000 km. Utslipet for én transport én vei gitt det laveste mulige forbruket vil da utgjøre ca 1,5 tonn CO₂. Dette utgjør et betydelig utslipp i en byggenæring som stadig prøver å utforme mer bærekraftige løsninger. For at veggene skal bli kvalitetsmessig godkjent, er det vanlig at blant annet vinduer og dører med korrekte sertifiseringer sendes fra Norge til fabrikken for montering. Utslipet som følge av denne transporten kommer i tillegg som det utslippet tidligere diskutert. Det kan dermed argumenteres for at egen produksjon i umiddelbar nærhet av byggeplassen vil ha en fordel med hensyn til miljøavtrykk sammenlignet med innkjøpte elementer transportert fra utlandet.

6 Konklusjon

Resultatene viser hvordan prefabrikkerte ytterveggselementer potensielt kan bidra til en mer effektiv byggeprosess, dette i form av potensiell tidsbesparelse, kostnadsbesparelse og kvalitetsforbedring. Tidlig tetting av bygg kan føre til en tidsbesparelse på opp til fire uker, avhengig av blant annet planlegging, prosjektets størrelse og værforhold. Resultatene viser også at begge prosjektene hadde omtrent samme kostnad per element, og omtrent lik kvalitet på elementene.

Tidlig tetting av bygget, konsekvent kvalitet og kostnadsreduksjon er alle funn som stemmer overens med tidligere forskning. Innkjøp av prefabrikkerte veggelementer kan potensielt skape veldig stor miljøbelastning i forhold til lokal produksjon av veggelementer, med utslipp på over 1 tonn CO₂ en vei gitt at elementene er produsert i Litauen. Interessant er også motsetninger angående HMS i prosjekter med prefabrikasjon. Chaiuhan, et al.(2019) lister opp økt sikkerhet som en fordel ved bruk av veggelementer, mens arbeidstilsynet går imot påstanden ved å henvise til skadestatistikker. Ingen av intervju kandidatene nevnte økt sikkerhet som en fordel ved bruk av veggelementer heller.

Det bør gjøres en grundigere analyse av miljøaspektet ved bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer. Når byggebransjen vender seg mot bærekraftig bygging, er det ikke forenlig å skape et større miljøtrykk.

For Consto sin del kommer de ikke til å tenke plassbygging på noen prosjekter. Det skal være høyt fokus på bruk av prefabrikkerte veggelementer, og de har potensielt mange prosjekter i kjølvannet som ligger til rette for bruk av elementer.

Referanseliste

Arbeidstilsynet, 2020, Ulykker i bygg og anlegg-Rapport 2020, tilgjengelig 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

Bernstein, H.M, 2011, Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry, SmartMarket Report, tilgjengelig fra:

<https://www.nist.gov/system/files/documents/el/economics/Prefabrication-Modularization-in-the-Construction-Industry-SMR-2011R.pdf>

Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strube, G., Woetzel, J., 2019, Modular construction: From projects to products, Rapport, tilgjengelig fra:

<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products#>

Bygg21, 2018, Enkelt og persist-nødvendig kunnskap om bygg og eiendomsnæringens

utvikling, tilgjengelig fra: [https://bygg21.no/wp-](https://bygg21.no/wp-content/uploads/2021/03/33018_interaktiv_arb.gr_2_hovedrapport.pdf)

[content/uploads/2021/03/33018_interaktiv_arb.gr_2_hovedrapport.pdf](https://bygg21.no/wp-content/uploads/2021/03/33018_interaktiv_arb.gr_2_hovedrapport.pdf)

Bygg21, 2019, Industrialisering av byggeprosjekter, tilgjengelig fra: [https://bygg21.no/wp-](https://bygg21.no/wp-content/uploads/2021/03/00000_interaktiv_arb.gr_5_hovedrapport_industrialisering.pdf)

[content/uploads/2021/03/00000_interaktiv_arb.gr_5_hovedrapport_industrialisering.pdf](https://bygg21.no/wp-content/uploads/2021/03/00000_interaktiv_arb.gr_5_hovedrapport_industrialisering.pdf)

Chauhan, K., Lavikka, R., Peltokorpi, A., Seppänen, O., 2019, Deciding Between

Prefabrication and On-Site Construction: A Choosing-by-Advantage Approach, tilgjengelig

fra:https://www.researchgate.net/publication/334363444_Deciding_Between_Prefabrication_and_On-Site_Construction_A_Choosing-by-Advantage_Approach

Eurostat, 2021, Construction cost (or producer prices), new residential buildings-annual data, tilgjengelig fra:

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sts_copi_a/default/table?lang=en (sist oppdatert 27.04.2021)

FN, 2021, FN's bærekraftsmål, tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>

(sist oppdatert 19.04.2021)

Gann, D.M., 1996, Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan, *Construction Management and Economics* 14 (5), s. 437-450, tilgjengelig fra:

<https://www.researchgate.net/publication/24077213> Construction as a manufacturing process Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan

Gasparri, E., Lucchini, A., Mazzucchelli, E.S., 2016, Prefabricated CLT Façade Systems for Fast-Track Construction and Quality Assurance, tilgjengelig fra:

<https://www.researchgate.net/publication/308114382> PREFABRICATED CLT FACADE SYSTEMS FOR FAST-TRACK CONSTRUCTION AND QUALITY ASSURANCE

Gibb, A.G.F., 1999, Off-site fabrication: prefabrication: prefabrication, pre-assembly and modularization, Whittles Publishing, Skottland

Goodier, C.I., Gibb, A.G.F, 2007, Future opportunities for offsite in the UK, tilgjengelig fra:

<https://www.researchgate.net/publication/24078040> Future opportunities for offsite in the UK

Grimstad, E., 2015, Positive effekter ved bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer i leilighetskomplekser, masteroppgave, NTNU

Höök, M., Stehn, L., 2005, Connecting lean construction to prefabrication complexity in Swedish volume element housing, Luleå, Sverige, tilgjengelig fra:

<https://www.researchgate.net/publication/228905733> Connecting lean construction to prefabrication complexity in Swedish volume element housing

Höök, M., Stehn, L., 2008, Lean principles in industrialized housing production: The need for a cultural change, Luleå, Sverige, tilgjengelig fra:

<https://www.researchgate.net/publication/228433776> Lean principles in industrialized housing production The need for a cultural change

Ingvaldsen, T., Edvardsen, D. F. (2007). Effektivitetsanalyse av byggeprosjekter, SINTEF-rapport

Kalsaas, B.T., 2017, *Lean Construction: Forstå og forbedre prosjektbasert produksjon*, Fagbokforlaget, Bergen, Norge

Koskela, J. L., 2000, *An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction*, VTT Publications, Finland, tilgjengelig fra:

https://www.researchgate.net/publication/35018344_An_Exploration_Towards_a_Production_Theory_and_its_Application_to_Construction

Koskela, J. L., Ballard, G., Tommelein, I., 2002, *The foundations of lean construction*, tilgjengelig fra:

https://www.researchgate.net/publication/28578914_The_foundations_of_lean_construction

Krafcik, J.F., 1988, *Triumph of the Lean Production Systems*, Sloan Management Review, 30 (1) s. 41-52, tilgjengelig fra:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5373958/mod_resource/content/4/krafcik_TEXTO_I_NTEGRAL.pdf

Lee, Y., Kim., J.I., Flager, F., Fischer, M., 2021, *Generation of stacking plans for prefabricated exterior wall panels shipped vertically with A-frames*, Automation in Construction 122, tilgjengelig fra:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580520310876?via%3Dihub>

Olsen, D., Ralston, W, 2013, *Utilizing Prefabrication in Lean Construction: A Reasoned Decision or an Educated Guess?*, Auburn, Alabama, tilgjengelig fra:

<http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2013/paper/CPGT93002013.pdf>

Pasquire, C., Gibb, A.G.F., Blismas., N., 2005, *What should you really measure if you want to compare prefabrication with traditional construction?*, tilgjengelig fra:

https://www.researchgate.net/publication/279891220_What_should_you_really_measure_if_you_want_to_compare_prefabrication_with_traditional_construction

SINTEF, 2017, *Industrialisering av byggeprosessene Status og trender*, Oslo, Norge, tilgjengelig fra: [https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-](https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2467928/Fag45.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[xmlui/bitstream/handle/11250/2467928/Fag45.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2467928/Fag45.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

SINTEF, 2020, *Byggdetalj 523.255 Yttervegger av bindingsverk. Varmeisolering og tetting.*

SSB, 2016, Drivstofforbruk og utslipp per kjørte kilometer for et utvalg av trafikksituasjoner og kjøretøygrupper. 2016. g/km, tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/318322/drivstofforbruk-og-utslipp-per-kjorte-kilometer-for-et-utvalg-av-trafikksituasjoner-og-kjoretoygrupper.2016.g-km>

SSB, 2018, Produktivitetsfall I bygg og anlegg, tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/artikler-og-publikasjoner/produktivitsfall-i-bygg-og-anlegg>

SSB, 2020, Statistisk sentralbyrås tall på utviklingen for Norge innen bærekraftsmålene, tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/sdg/baerekraftsmalene#header>

Thue, J. V., 2009, Prefabrikasjon, tilgjengelig fra: <https://snl.no/prefabrikasjon> , [Oppdatert 17.7.19] [Sist lest: 28.1.21]

Vedlegg A

FNs bærekraftsmål

«FNs bærekraftsmål er verdens felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030.»

(FN, 2021)

FNs bærekraftsmål består av 17 hovedmål og 169 delmål (FN, 2021). Målene har som funksjon å fungere som en felles global retning for land, næringsliv og sivilsamfunn (FN, 2021). Norge har som nasjon oppfylt mange av målene allerede, selv om det gjenstår en del arbeid (SSB, 2020). Mange av bærekraftsmålene som omhandler eksempelvis likestilling, fred, fattigdom etc. vil ha svært lite relevans i forhold til oppgaven. Bærekraftsmål 11. Bærekraftige byer og lokalsamfunn er det eneste målet som vurderes til å kunne settes i sammenheng med oppgaven. Målet går ut på å blant annet redusere klimautslipp og forurensning fra byene, samt fokusere på god avfallshåndtering og bærekraft. Prefabrikasjon kan legge til rette for god avfallshåndtering samt flytte støyforurensning innendørs. Transport av elementer fra utlandet slipper ut store mengder CO₂ ut i atmosfæren. Oppgaven vurderes til å ha relativt lite relevans i forhold til FNs bærekraftsmål.

Vedlegg B - Intervjuguide

Forslag til intervjuguide – Bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer

Intervjuet gjennomføres i forbindelse med masteroppgave M-IB, våren 2021. Resultatene fra intervjuet vil benyttes i resultatdelen av oppgaven.

Intervjuobjektet

- Kan du beskrive din rolle i prosjektet?
- Hvor lenge har du jobbet på dette prosjektet?

Prosjektet

- Hvilken prosjekttype er prosjektet?
- Hvor lang er byggetiden?

Erfaringer

- Tror du prefabrikkerte ytterveggselementer kommer til å ta over for tradisjonell byggemetode?
- Hva mener du er den største fordelen ved bruk av prefabrikkerte yttervegger?
- Hva synes du er den største utfordringen ved bruk av prefabrikkerte veggelementer?
- Kan du nevne en forutsetning for å lykkes med bruk?
- Hvordan vil du beskrive monteringsprosessen?
- Har dere opplevd noen farlige situasjoner ved bruk av prefab?
- Hvordan tror du fremtiden ser ut for videre bruk av prefabrikkerte yttervegger?
- Opplevde der mange skader på elementene?

Effekter ved bruk

- Hvordan påvirkes totalkostnadene ved bruk av prefabrikkerte ytterveggselementer?
- Hvilken påvirkning har prefabrikkerte ytterveggselementer på byggetiden?
- Hvilken påvirkning har prefabrikkerte ytterveggselementer på kvaliteten?
- Hvordan påvirkes HMS ved bruk av prefabrikkerte veggelementer?
- Hvordan påvirkes avfall på byggeplassen?
- Hvordan påvirkes miljøet ved bruk av prefabrikkerte veggelementer?
- Hvordan påvirkes andre forhold som f.eks. fleksibilitet i prosjektet?

