

Flerbrukshaller og prefabrikasjon

Kjell Erik Bakke

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juli 2015

Hovedveileder: Amund Bruland, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel: Produktivitet: Flerbrukshaller og prefabrikasjon	Dato: 10.07.2015 Antall sider (inkl. bilag): 146
	Masteroppgave <input checked="" type="checkbox"/> Prosjektoppgave <input type="checkbox"/>
Navn: Kjell Erik Bakke	
Faglærer/veileder: Amund Bruland	
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Bjørn Aas (SIAT)	

Ekstrakt:

I denne oppgaven studeres bygging av flerbrukshaller med prefabrikkerte elementer, og hvilken innvirkning det kan ha på byggeprosessen. Parametere som vurderes er kostnad, tid, kvalitet, ytre miljø, SHA, samt logistikk og transport.

Oppgaven tar for seg tre forskningsspørsmål:

1. Hvilken innvirkning på byggeprosessen har bygging med prefabrikkerte elementer?
2. Hvilke forskjeller er det mellom bygging med prefabrikkerte elementer av betong og tre?
3. I hvilken grad er flerbrukshaller egnet til bygging med prefabrikkerte elementer?

Ved bruk av prefabrikasjon flyttes store deler av verdiskapingen vekk fra byggeplass og over til et miljø hvor forholdene er bedre egnet for produksjon. Forutsatt at samarbeidet i verdikjeden fungerer bra, konkluderes det med at bruk av prefabrikkerte elementer vil bidra til å øke produktiviteten i byggeprosessen. En av de største fordelene med prefabrikasjon er mulighetene for parallell bygging.

Trematerialer har vesentlig bedre fleksibilitet sammenlignet med betong. Det vil derfor være lettere å håndtere feil eller endringer da tilpasninger i større grad kan utføres på byggeplass. Klimagassberegningene viser at treelementene er forbundet med vesentlig lavere klimagassutslipp enn betongelementene. Målt besparelse er 57 kg CO₂-ekv/m² BTA. Dersom en inkluderer trematerialenes potensiale for lagring av CO₂, vil forskjellen bli enda tydeligere.

Resultater fra både litteraturstudiet og casene viser at effektivitet kan oppnås ved å produsere standardiserte elementer i store serier. Flerbrukshaller er bygd opp med søylefrie spenn og store vegg- og takelementer uten mye vinduer og dører. Dette gjør det mulig å bygge dem opp med flere like elementer. Det er derfor konkludert med at flerbrukshaller er spesielt godt egnet for bygging med prefabrikasjon.

Stikkord:

1. Prefabrikasjon
2. Flerbrukshaller
3. Produktivitet
4. Supply Chain Management

Kjell Erik Bakke

(sign.)


Forord

I faget *TBA4935 – Anleggsteknikk, masteroppgave* ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet skal det våren 2015 skrives en oppgave som utgjør 30 studiepoeng. Faget er delt mellom anleggsteknikk og produksjonsteknikk, hvor sistnevnte er tema i denne oppgaven. Det er satt av 20 uker til arbeid med masteroppgaven. Med 8 timer pr. arbeidsdag utgjør det 800 timeverk.

Oppgaven er selvstendig utført, men skrevet i samarbeid med Senter for Idrettsanlegg og Teknologi (SIAT). Jeg ble kjent med SIAT og mulighetene for samarbeid med prosjekt- og masteroppgave etter å ha fullført faget *TBA4856 - EiT Idrettsanlegg*. Masteroppgaven ble utformet på bakgrunn av deres prosjekt om «gode idrettsanlegg». Oppgavens tema ble valgt i samråd med SIAT og veileder Amund Bruland.

Det er flere som fortjener en takk og litt oppmerksomhet for å ha hjulpet meg underveis i prosessen. Først vil benytte anledningen til å takke SIAT og spesielt overingeniør Bjørn Aas for gode innspill og samtaler underveis i prosessen. Jeg setter også pris på å få dekket reiseutgifter i forbindelse med befaringen til idrettshallen i Bodø og til fabrikken i Overhalla. Videre vil jeg takke alle informanter som har stilt opp, skaffet dokumentasjon og delt sin kunnskap. Dette gjelder Øivind Ligård ved *FAVEO*, Joakim Dørum ved *Green Advisers* og Karl Magne Grannes ved *Overhalla Betongbygg*. Til slutt fortjener Renate en stor takk som har hjulpet til i innspurten med korrekturlesning, og kommet med øvrige innspill på oppgaven.

Trondheim 10.07.2015



Kjell Erik Bakke

Sammendrag

Denne masteroppgaven er skrevet i samarbeid med *Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT)*, som har et pågående prosjekt med tittelen «Gode Idrettsanlegg». Visjonen til prosjektet er å få bygget bedre og billigere idrettsanlegg. Det er et statlig mål som går på at idrett og fysisk aktivitet skal være tilgjengelig for alle, og av den grunn er det ønskelig å bygge ut flere idrettsanlegg. Det er ofte knyttet høye kostnader og investeringer til bygging av idrettsanlegg, og prosjektene har i tillegg ulik grad av suksess. Dette gjør det svært aktuelt å se på løsninger som kan føre til økt kvalitet og effektivitet ved bygging av idrettsanlegg.

I denne oppgaven studeres bygging av flerbrukshaller med prefabrikkerte elementer, og hvilken innvirkning det kan ha på byggeprosessen. Parametere som vurderes er kostnad, tid, kvalitet, ytre miljø, SHA, samt logistikk og transport. Oppgaven begrenser seg til å omhandle bygging av flerbrukshaller med ikke-volumetriske elementer av tre og betong. Det er valgt å fokusere på byggefagene og det er ikke tatt hensyn til tekniske fag. Videre er oppgaven avgrenset til perspektivet til de utførende, og omhandler kun byggeprosessen frem til elementene er ferdig montert i råbygget. Hensikten med oppgaven er å heve kompetansen rundt bygging av idrettshaller.

Opgaven tar for seg tre forskningsspørsmål:

1. Hvilken innvirkning på byggeprosessen har bygging med prefabrikkerte elementer?
2. Hvilke forskjeller er det mellom bygging med prefabrikkerte elementer av betong og tre?
3. I hvilken grad er flerbrukshaller egnet til bygging med prefabrikkerte elementer?

Det er hovedsakelig tatt i bruk kvalitative metoder for å besvare forskningsspørsmålene. Det er utført et omfattende litteraturstudie, samt et case studie av to byggeprosjekter hvor prefabrikkerte elementer av henholdsvis tre og betong er benyttet. I forbindelse med informasjonsinnhenting i case studiet er prosjektdokumenter benyttet, i tillegg til at det er utført intervjuer og befaringer. Ved sammenligning av de ulike materialene fra casene er det blant annet utført klimagassberegninger med utgangspunkt i verktøyet fra www.klimagassregnskap.no. Beregningene er utført fra råvareutvinning, og frem til de ulike materialene blir produsert i fabrikk.

Ved bruk av prefabrikasjon flyttes store deler av verdiskapingen vekk fra byggeplass og over til et miljø hvor forholdene er bedre egnet for produksjon. Forutsatt at samarbeidet i verdikjeden fungerer bra, konkluderes det med at bruk av prefabrikkerte elementer vil bidra til å øke produktiviteten i byggeprosessen. En av de største fordelene med prefabrikasjon er mulighetene for parallell bygging. Dette vil gi en kortere byggeprosess, som videre vil medføre kostnadsbesparelser for prosjektet som helhet.

Fra case studiene kommer det frem at tid, kostnader og SHA for råbygget i liten grad vil påvirkes av materialvalget. Ved bygging med trematerialer kan montasjen i stor grad utføres med lastebilkran. Dette gir en mulig besparelse på ca. 50 000 kr/uke sammenlignet med betong, hvor det kreves bruk av mobilkran. Resultatene fra case studiene viser videre at trematerialer gir vesentlig bedre fleksibilitet sammenlignet med betong. Det vil derfor være lettere å håndtere feil eller endringer da tilpasninger i større grad kan utføres på byggeplass. Større tetthet for betong vil medføre flere begrensninger fremfor trematerialer med tanke på transport.

Klimagassberegningene viser at treelementene er forbundet med vesentlig lavere klimagassutslipp enn betongelementene. Det oppnås en besparelse på ca. 200 000 kg CO₂-ekv ved å bygge hallen i Bodø med den valgte løsningen, fremfor betongelementene fra Heimdalshallen. Dette utgjør om lag 57 kg CO₂-ekv/m² BTA. Dersom en inkluderer trematerialenes potensiale for lagring av CO₂, vil forskjellen bli enda tydeligere.

Resultater fra både litteraturstudiet og casene viser at effektivitet kan oppnås ved å produsere standardiserte elementer i store serier. Flerbrukshaller er bygget opp med søylefrie spenn og store vegg- og takelementer uten mye vinduer og dører. Dette gjør det mulig å bygge dem opp med flere like elementer. Det er derfor konkludert med at flerbrukshaller er spesielt godt egnet for bygging med prefabrikasjon.

Summary

This thesis is written in collaboration with a national research group for sports facilities and sport technologies (Senter for idrettsanlegg og teknologi), who have an ongoing project entitled "Good Sports Facilities". The vision of the project is to build better sports facilities to a lower cost. Sport and physical activity should be accessible to all. For that reason, it is desirable to develop more sports facilities. Developing sports facilities is often associated with high costs and investments, as well as a varying degree of success. Studies that could lead to improved quality and efficiency are therefore interesting.

The construction of multi-purpose sports halls with off-site production, and its impact on the construction process is studied. Parameters considered are costs, time, quality, environment, SHE, as well as logistics and transport. Elements defined in this study are non-volumetric elements of wood and concrete. The time from production of the elements to its assembly is studied. The purpose of the thesis is to increase the knowledge when it comes to the construction of multi-purpose sports halls.

Three research questions forms the basis of the thesis:

1. Which impact will off-site production have on the construction process?
2. What are the differences between prefabricated elements of concrete and wood?
3. In which way are multi-purpose sports halls suitable to build with prefabricated elements?

The findings are based on a thorough literature study. Two case studies, project documentation and interviews are the basis for comparison of wooden and concrete elements. Elements that are studied are columns, beams, walls, slabs and roofs. The research is mainly based on qualitative research methods. A quantitative study of greenhouse gases have been a part of the comparison of the prefabricated elements. The tools used for that purpose are www.klimagassregnskap.no in addition to environmental product declarations. The calculations are based on cradle to gate perspective.

When building with prefabricated elements, the value is moved further back in the value chain. The environment and conditions are better suited for production. Assumed that the cooperation in the supply chain works well, it is concluded that the use of prefabricated elements will help to increase productivity in the construction process. One of the biggest advantages of prefabrication are the opportunities for parallel construction. This will give a shorter building process, which will result in further cost savings for the overall project.

The case studies shows that there are no major impacts on parameters such as time, costs and SHE in the comparison. When building with wood, the weight allows to perform the assembly with a crane from a lorry. Assembling with concrete elements will require use of mobile cranes. This can potentially give cost savings up to 50 000 NOK/week when building with wooden elements. The results also showed that wooden elements are significantly more flexible compare with concrete. It will therefore be easier to handle project changes or elements with poor quality, as adaptations much more easily can be performed on the building site. Concrete elements will also have more restrictions due to high density.

Greenhouse gas calculations show that the wooden elements are associated with significantly lower greenhouse gas emissions than concrete elements. This yields a saving of about 200 000 kg CO₂-equivalents by building the sports hall in Bodø with the chosen solution, rather than concrete elements

from Heimdalshallen. This accounts for around 57 kg CO₂-eq/m² BTA. If one includes the storage potential for CO₂ in wood, the difference will be even more significant.

Results from both the literature study and the case studies confirm that efficiency can be achieved by producing standardized elements in large quantities. Multi-purpose sports halls are built with column-free spans, large walls and roofs, without a lot of windows and doors. This makes it possible to build them up with several similar elements. It is therefore concluded that multi-purpose sports halls are especially suitable for building prefabrication.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	III
Sammendrag	V
Summary	VII
Innholdsfortegnelse	IX
Figurliste	XI
Tabelliste	XIII
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Innføring i tema	3
1.3 Formål.....	5
1.4 Avgrensninger.....	6
1.5 Leserveiledning.....	7
1.5.1 Oppgavens disposisjon	7
1.5.2 Begrepsavklaringer	7
2 Metode.....	11
2.1 Metode og forskning	11
2.2 Litteraturstudie.....	14
2.3 Case studier	16
2.3.1 Intervju	16
2.3.2 Klimagassberegninger	18
2.4 Vurdering av metodevalg	22
2.4.1 Litteraturstudie.....	22
2.4.2 Case studier	22
3 Teori.....	25
3.1 Bakgrunnsteori	25
3.1.1 Karakteristikk av byggeprosjekter	25
3.1.2 Rammefaktorer	25
3.1.3 Verdiskaping	26
3.1.4 Prosjektstyring.....	29
3.1.5 Strategier og verktøy for styring.....	31
3.2 Flerbrukshall som bygningstype.....	36
3.2.1 Karakteristikk av flerbrukshall	36
3.2.2 Verdikjeden i et flerbrukshallprosjekt.....	38
3.2.3 Utforming og økonomi	39

3.3	Prefabrikasjon.....	42
3.3.1	Definisjon og karakteristikkk	42
3.3.2	Forutsetninger	43
3.3.3	Innvirkning på byggeprosessen	46
3.3.4	Prefabrikkerte betongelementer	54
3.3.5	Prefabrikkerte elementer av tre.....	59
4	Empiriske resultater	63
4.1	Case studie: Heimdalshallen og prefabrikkerte betongelementer	63
4.1.1	Beskrivelse av case	63
4.1.2	Beskrivelse av råbygg	64
4.1.3	Klimagassberegninger	66
4.1.4	Befaring, Overhalla Betongbygg AS.....	67
4.1.5	Intervjuer	73
4.2	Case studie: Bankgata flerbrukshall og prefabrikkerte elementer i tre	78
4.2.1	Beskrivelse av case	78
4.2.2	Beskrivelse av råbygg	79
4.2.3	Klimagassberegninger	81
4.2.4	Green Building System	83
4.2.5	Intervjuer	88
5	Diskusjon	93
5.1	Prefabrikasjons innvirkning på byggeprosessen	93
5.1.1	Produktivitet.....	93
5.1.2	Samarbeid i verdikjeden.....	94
5.1.3	Verdiskaping	95
5.2	Sammenligning av betongelementer og treelementer	97
5.2.1	Sammenligning av ulike faktorer	97
5.2.2	Sammenligning av klimagassutslipp.....	101
5.3	Flerbrukshaller og prefabrikasjon	106
6	Konklusjoner og anbefalinger.....	109
7	Videre arbeid	111
	Referanser	113
	Bilagsliste.....	119

Figurliste

Figur 1.1 - Faktorer som påvirker kostnad, tid og kvalitet.	2
Figur 1.2 - Relativ vekst i arbeidsproduktivitet mellom 1992-2012	3
Figur 2.1 - Validitet og reliabilitet.....	12
Figur 2.2 - Induktiv og deduktiv fremgangsmåte	12
Figur 2.3 - Illustrasjon av den vitenskapelige metode.....	13
Figur 2.4 - Lette vs. tunge kilder	14
Figur 2.5 - Prosjektdokumenter.....	16
Figur 2.6 - Klimagassutslipp fordelt på ulike bygningsdeler.....	18
Figur 2.7 - Konseptet "vugge til port" i livsløpsanalyse	19
Figur 2.8 - Oppbygning av klimagassregnskap.no	20
Figur 3.1 - Faktorer som påvirker prosjektets rammer og hvordan de er avhengig av hverandre	26
Figur 3.2 – «Black Box»-modell som illustrerer verdiskapingen i byggeprosjektet	27
Figur 3.3 - Produksjonsprosessen i byggenæringen.....	28
Figur 3.4 - Sløsing og verdiskapende aktiviteter i produksjonsprosessen	28
Figur 3.5 - Produktenes verdikjede opp mot prosjektets verdikjede.....	34
Figur 3.6 - Funksjonsskjema og romprogram for en typisk flerbrukshall.....	37
Figur 3.7 – Alternative utkravingskonstruksjoner	38
Figur 3.8 - «Bokssystem»: Gir frie spenn og byggehøyde	38
Figur 3.9 - Ulike aktører med interesse i et flerbrukshallprosjekt	39
Figur 3.10 - Kostnadsfordeling av huskostnad for referansebygg for flerbrukshaller	41
Figur 3.11 - Prefabrikasjon: Grensesnittet mellom to kulturer	42
Figur 3.12 - Mulig kostnadsreduksjon ved bruk av gjentakende elementer.....	44
Figur 3.13 - Reduksjon i usikkerhet i startfasen som følge av fast byggesystem.	45
Figur 3.14 - Kostnader som følge av endringer i prosjektet.....	47
Figur 3.15 - Effekten av parallell bygging og reduksjon i byggetid.....	48
Figur 3.16 - Forbedringssløyfen etter NS-EN ISO 14001	51
Figur 3.17 - Logistikk ved elementmontasje	53
Figur 3.18 - Ulike transportmuligheter for elementer	54
Figur 3.19 - Sandwich-elementer produsert på Overhalla Betongbygg AS.....	55
Figur 3.20 – Saltakselementer (SDT) produsert på Overhalla Betongbygg AS.....	56
Figur 3.21 - Krysslågt massivtreplate med fem sjikt.....	59
Figur 4.1 - Heimdalshallen.....	64
Figur 4.2 - Vertikalsnitt av yttervegg, tilbygg i Heimdalshallen.....	65
Figur 4.3 - Klimagassutslipp for yttervegger i Heimdalshallen.....	66
Figur 4.4 - Klimagassutslipp for dekket i Heimdalshallen.....	67
Figur 4.5 - Klimagassutslipp for yttertak i Heimdalshallen.....	67
Figur 4.6 - Produksjonsflyt gjennom fabrikk til Overhalla Betongbygg.....	68
Figur 4.7 - Måltavler for leveranse, sikkerhet og kvalitet.....	69
Figur 4.8 - Målstyringsstruktur ved Overhalla Betongbygg AS.....	70
Figur 4.9 – Kvalitet.....	72
Figur 4.10 - Ryddighet i produksjonslokalet	73
Figur 4.11 – Bankgata flerbrukshall.....	78
Figur 4.12 - Bæresystemet i Bankgata flerbrukshall.....	79
Figur 4.13 - Prinsipptegning av veggelement	80
Figur 4.14 - Prefabrikkerte takelementer klar for montasje	81

Figur 4.15 - Klimagassutslipp for yttervegger i Bankgata flerbrukshall.....	82
Figur 4.16 - Klimagassutslipp for dekket i Bankgata flerbrukshall.	82
Figur 4.17 - Klimagassutslipp for yttertaket i Bankgata flerbrukshall.	83
Figur 4.18 - Provisorisk arbeidsstasjon for å prefabrikkere elementer.....	84
Figur 4.19 - Oppbygging av veggelementer i Bankgata flerbrukshall.....	84
Figur 4.20 - Montering av massivtreskiver i etasjeskiller.	85
Figur 4.21 - Råbygget til Bankgata flerbrukshall, ferdig montert etter seks uker	85
Figur 5.1 - Sammenligning av klimagassutslipp for yttervegger.....	102
Figur 5.2 - Sammenligning av klimagassutslipp for dekker.	103
Figur 5.3 - Sammenligning av klimagassutslipp for yttertaket.	104
Figur 6.1 - Sammenligning av klimagassutslipp fra Heimdalshallen og Bankgata flerbrukshall.....	110

Tabelliste

Tabell 1.1: Prefabrikasjons innvirkning på tid, kostnad og kvalitet	3
Tabell 1.2: Begreper og definisjoner for prefabrikasjon.	8
Tabell 2.1: Kvalitative og kvantitative metoder	11
Tabell 3.1: Faktorer som påvirker produktiviteten i byggeprosjekter.	27
Tabell 3.2: Elleve prinsipper for å designe, kontrollere og forbedre flyt i prosessene.	29
Tabell 3.3: Faktorer som har innflytelsen på suksessen i et prosjekt	29
Tabell 3.4: Usikkerhet i byggeprosjekter	30
Tabell 3.5: Kategorier av sløsing	31
Tabell 3.6: Grunnprinsipper i Lean.....	32
Tabell 3.7: Ulike perspektiver i Supply Chain Management	34
Tabell 3.8: Flatestørrelse og muligheter for flerbrukshaller	37
Tabell 3.9: Referansekostnader for ulike bygningsdeler	41
Tabell 3.10: Åtte vesentlige forhold knyttet til industrialisering	42
Tabell 3.11: Fordeler ved økt standardisering	43
Tabell 4.1: Nøkkelinformasjon Heimdalshallen.	63
Tabell 4.2: Seksjonsfordeling Heimdalshallen.	64
Tabell 4.3: Overhalla Betongbygg AS.	68
Tabell 4.4: Elementkostnader.	70
Tabell 4.5: Enhetstid for montasje av ulike elementer	71
Tabell 4.6: Informanter, Heimdalshallen.	74
Tabell 4.7: Nøkkelinformasjon Bankgata flerbrukshall.	78
Tabell 4.8: Seksjonsfordeling Bankgata flerbrukshall.	78
Tabell 4.9: Kostnader, ulike elementer.	85
Tabell 4.10: Informanter, Bankgata flerbrukshall.	88

1 Innledning

Dette kapitlet omhandler valg av tema for masteroppgaven. De første delkapitlene tar for seg bakgrunn, og gir en innføring i valgt tema. Videre avklares oppgavens formål og avgrensning. De siste delkapitlene inneholder en leserveiledning og en begrepsavklaring. Her kommenteres oppgavens oppbygning, og ord og formuleringer som er benyttet i oppgaven forklares.

1.1 Bakgrunn

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT). Formålet til SIAT er å forske, utvikle og formidle kunnskap innenfor sentrale tema knyttet til idrettsanlegg og teknologi. Ved SIAT har de gående et prosjekt med tittelen «Gode Idrettsanlegg», hvor visjonen til prosjektet er å få bygget bedre og billigere idrettsanlegg. Det skal bygges med rett kvalitet, til rett pris. Hovedmålet til prosjektet er å heve kompetansen innenfor byggeprosjektets faser; planlegging, prosjektering, bygging og drift av idrettsanlegg.

Under er noen av utdrag fra Meld. St. 26 (2011-2012) – *Den norske idrettsmodellen* gjengitt:

...tilskudd til utbygging og rehabilitering av anlegg er statens viktigste virkemiddel for å nå målet om idrett og fysisk aktivitet for alle.

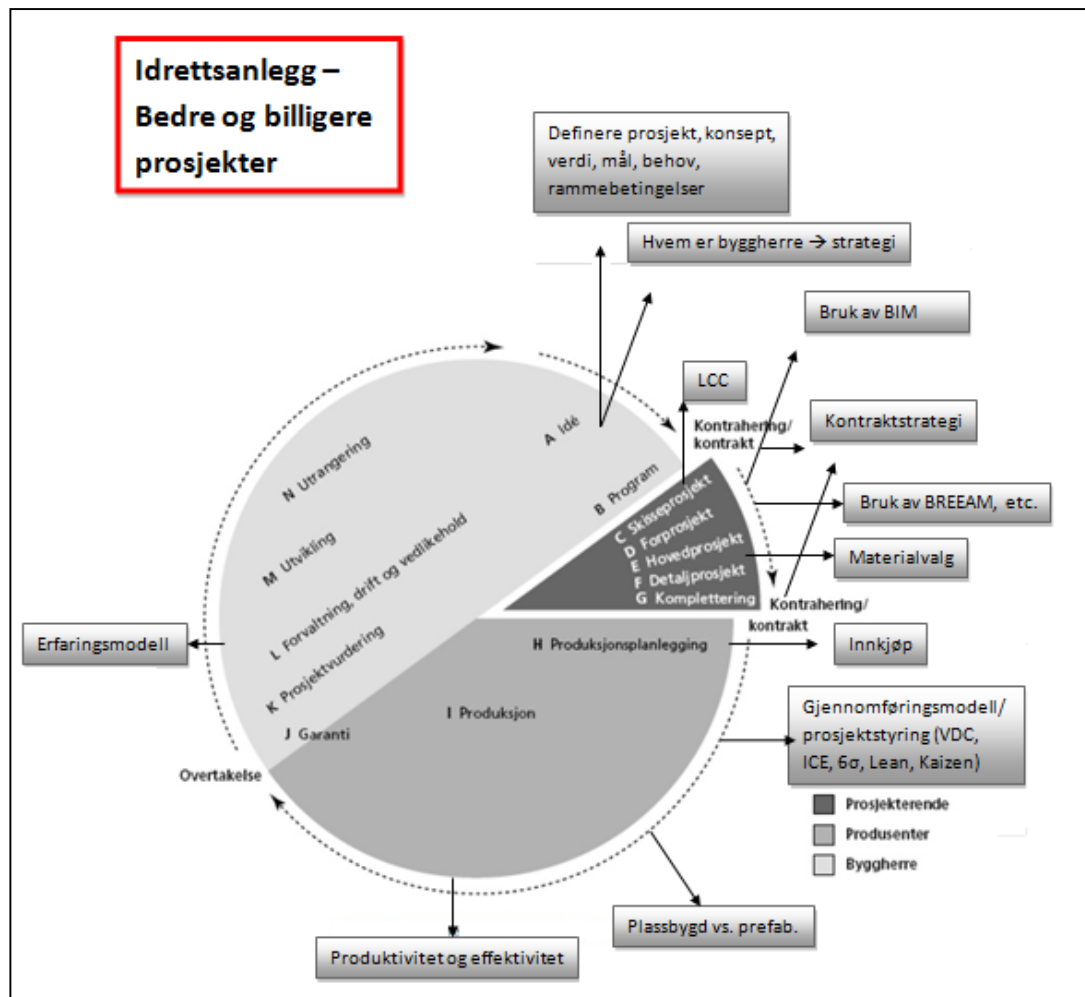
...det er en økende ubalanse mellom kommuners og idrettslags evne og vilje til å investere i idrettsanlegg, og statens mulighet til å følge opp gjennom tilskudd fra spillemidlene

Av utdragene ovenfor ser vi at det er ønskelig å bygge ut flere idrettsanlegg. Dette lar seg ikke alltid gjøre da kostnadene og investeringen i mange tilfeller blir for høy. Staten, kommunen, entreprenører og idretten vil alle ha interesser.

Det ble i 2014 søkt om spillemidler med godkjente prosjektkostnader på 17,1 milliarder kr (Asphjell, 2014). Av denne summen er det søkt om ca. 3,3 milliarder i spillemiddelstøtte. Disponible spillemidler er i 2014 satt til 861 millioner kr, og etterslepstiden er beregnet til 2,8 år. Med etterslepstid menes estimert tid til alle søknadene vil få tildelt støtte. Spillemidlene står for ca. 20 % av den totale investeringen. På bakgrunn av det kan det antas at det i 2014 ble bygget idrettsanlegg for ca. 4,3 milliarder kr.

Redusering av kostnadene for idrettsanlegg vil være av interesse både for det offentlige, idrettslagene og andre utbyggere. Det bygges i dag ut idrettsanlegg med ulik grad av suksess. Kan en redusere de totale prosjektkostnadene med gjennomsnittlig 5 %, vil dette kunne gi besparelser på over 200 millioner kr pr. år. En reduksjon i kostnadene vil også kunne være med å realisere flere idrettsanlegg.

Det er gjennomført en idémyldring som tar for seg ulike tema som vil ha innvirkning på prosjektet med tanke på kostnad, tid og kvalitet. Temaene ble koblet på en fasemodell etter når i prosjektets fase de er aktuelle. Listen over emnene er ikke endelig, og enkelte emner vil også være aktuell i flere deler av prosjektet. Resultatet er gitt i Figur 1.1.

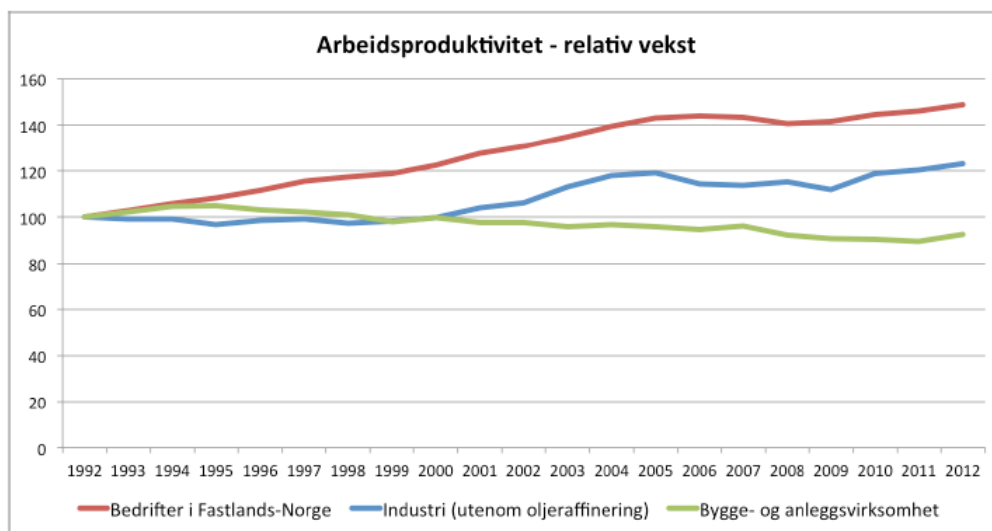


Figur 1.1 - Faktorer som påvirker kostnad, tid og kvalitet (Etter Meland 2000).

1.2 Innføring i tema

Egan (1998) viser til flere forbedringsmuligheter i byggenæringen. Studier viser at 30 % av arbeidet er omarbeid, kun 40-60 % av arbeidet er effektivt, ulykker kan utgjøre 3-6 % av prosjektkostnadene og 10 % av materialene ender opp som avfall. Tema for oppgaven er bygging med prefabrikkerte elementer. Berg (2008) viser til at bruk av prefabrikasjon er økende i byggebransjen. Studier av referansekostnader viser at prefabrikkerte elementer kan utgjøre store deler av prosjektkostnadene. Ved å flytte produksjonen vekk fra byggeplass oppnår en helt andre forutsetninger for å kunne effektivisere arbeidet. Det vil blant annet være bedre muligheter for å måle og kontrollere forholdene, og dermed innføre prinsipper fra Lean.

Figur 1.2 tar for seg utviklingen i arbeidsproduktiviteten mellom 1992-2012. Produktiviteten er synkende for bygge- og anleggsvirksomheten. For industrien kan en se at produktiviteten er økende. Langlo et al. (2013) peker på at statistikken til SSB ikke fanger opp alle forholdene, og viser til at prefabrikkerte elementer vil falle under kategorien industri og ikke bygge- og anleggsvirksomheten. Flere studier viser til økt bruk av prefabrikasjon som en mulighet for å forbedre produktiviteten (Gibb, 1999; Pasquire & Connolly, 2002; Ballard & Howell, 2002).



Figur 1.2 - Relativ vekst i arbeidsproduktivitet mellom 1992-2012 (Langlo et al. 2013, gjengitt fra SSB).

Bruk av prefabrikasjon vil påvirke flere forhold utover produktiviteten i byggeprosessen. Pasquire og Connolly (2002) oppsummerer med innvirkninger i tid, kostnad og kvalitet. Disse gjengis i Tabell 1.1.

Tabell 1.1: Prefabrikasjons innvirkning på tid, kostnad og kvalitet (Pasquire & Connolly, 2002).

Innvirkning på tid:

- Reduksjon i bemanning på byggeplass, HMS risiko, koordinering av grensesnitt.
- Leverte elementer til rett tid (JIT)
- Færre aktiviteter på byggeplass
- Mindre sløsing

Innvirkning på kostnad:

- Større forutsigbarhet
- Bedre forutsetninger for effektiv produksjon

Innvirkning på kvalitet:

- Færre defekter
 - Kan kontrolleres i fabrikk
 - Økt sikkerhet i kvalitet
-

1.3 Formål

Oppgaven har som formål å heve kompetansen rundt bygging av idrettshaller. Det er grunn for å tro at mange av dem som er involverte i slike prosjekter har liten eller ingen erfaring fra tilsvarende prosjekter. Denne oppgaven har fokus på produksjonsprosessen av bygget. Innsikt i hvilke muligheter en har til å gjennomføre produksjonen på, vil kunne gi et bedre grunnlag til å planlegge og utforme prosjektene. Oppgaven kan være til hjelp for prosjektutviklere i det å utvikle mer gjennomtenkte konkurransegrunnlag, så vel som entreprenører og leverandører gjennom effektivisering av produksjonen og verdikjeden.

Tema for oppgaven er bygging av flerbrukshaller med prefabrikkerte elementer og hvilken innvirkning det har på byggeprosessen. Da det er mange forhold i byggeprosessen som påvirker hverandre, ble det valgt å se på helheten. Parametere som studeres nærmere er:

- Kostnader
- Tid
- Kvalitet
- Ytre miljø
- SHA
- Logistikk og transport

Oppgaven tar for seg tre forskningsspørsmål:

1. Hvilken innvirkning på byggeprosessen har bygging med prefabrikkerte elementer?
2. Hvilke forskjeller er det mellom bygging med prefabrikkerte elementer av betong og tre?
3. I hvilken grad er flerbrukshaller egnet til bygging med prefabrikkerte elementer?

1.4 Avgrensninger

Oppgaven tar for seg et vidt tema med mange muligheter og alternative innfallsvinkler. Tiden som er satt av til arbeidet er begrenset til ca. 20 uker. Det vil derfor være behov for å avgrense oppgavens omfang.

I oppgaven studeres bygging av flerbrukshaller. Det er valgt å fokusere på byggfagene, og det er ikke tatt hensyn til påvirkning på tekniske fag. Videre er oppgaven avgrenset til perspektivet til de utførende, og omhandler kun byggeprosessen frem til elementene er ferdig montert i råbygget. Elementenes påvirkning videre i byggets levetid vil være av stor betydning, men er i liten grad vurdert i denne oppgaven. Det er tatt utgangspunkt i bygningsdelstabellen (*NS 3451*), og elementene som er inkludert i oppgaven er bæresystem, yttervegger, dekker og yttertak. For yttervegger er det valgt å se bort fra vinduer og dører, og for dekker er gulv på grunn utelatt.

Det finnes flere varianter av prefabrikasjon. Dette er nærmere beskrevet i underkapittel 1.5.1 om begrepsavklaringer. Denne oppgaven er avgrenset til å gjelde ikke-volumetriske elementer. En har flere materialer å velge mellom i byggeløsningen. Case studiene tar for seg bygging med elementer av tre og betong. Det er derfor valgt å avgrense oppgaven til å omfatte løsningene og materialene som er benyttet der. Byggesystemet i begge casene er bygget opp av prefabrikkerte elementer. Av mangel på dokumentasjon og informasjon er det derfor ikke gjort sammenligninger opp mot tradisjonell bygging.

Som en del av oppgaven er det utført klimagassberegninger av ulike elementtyper. Ved beregningene av klimagassutslipp er det gjort noen forenklinger og avgrensninger. Det er valgt å kun studere konseptet fra «vugge til port». Det vil si utslippene i livsløpet fra råvareutvinning og frem til de ulike materialene blir produsert i fabrikk. Levetiden til de ulike materialene vil variere og er ikke vurdert i denne oppgaven. Begrensninger på verktøyet klimagassregnskap.no (KG v.5) gjorde det også nødvendig å avgrense fra vugge til port da det ikke var tilgjengelig data knyttet til ulike materialer. Her var det nødvendig å benytte seg av miljødeklarasjoner (EPD). Prinsippet «vugge til port» er beskrevet nærmere i underkapittel 2.3.2. Rønning et al. (2011) poengterer at klimagassbelastningene knyttet til drifts- vedlikehold og utviklingsfasene er vesentlig større sammenlignet med produksjonsfasen. Energikravene i bygninger blir stadig strengere og energibruket i driftstiden vil over tid gå ned. Rønning et al. viser derfor til at utslippene knyttet til produksjon, transport og bygging på sikt kan komme til å bli viktigere når livsløpet studeres.

1.5 Leserveiledning

I avsnittene under er oppgavens disposisjon presentert, og ulike formuleringer og forkortelser som er benyttet i oppgaven er forklart.

1.5.1 Oppgavens disposisjon

Kapittel 1: *Innledning* - Dette kapitlet omhandler valg av tema i masteroppgaven. De første delkapitlene tar for seg bakgrunn og gir en innføring i temaet. Videre avklares oppgavens formål og avgrensning. De siste delkapitlene inneholder en leserveiledning og en begrepsavklaring. Her kommenteres oppgavens oppbygning, og ord og formuleringer som er benyttet i oppgaven forklares.

Kapittel 2: *Metode* - I dette kapitlet blir metodene som er valgt å benytte i oppgaven beskrevet og begrunnet. I første delkapittel omhandles ulike typer metode og forskning, og det ses nærmere på hva som må tas hensyn til for at det skal oppnås god kvalitet. Videre beskrives metodene som er benyttet, før det i siste delkapittel gjøres ev vurdering av metodevalget

Kapittel 3: *Teori* - Teorien er bygget opp av tre delkapitler. Første delkapittel tar for seg bakgrunnsteori, og omhandler karakteristikker av byggeprosjekter, rammefaktorer, verdiskaping, prosjektstyring samt strategier og verktøy for styring. Neste delkapittel ser nærmere på flerbrukshaller som bygningstype. Her presenteres karakteristikker av flerbrukshaller, verdikjeden i et flerbrukshallprosjekt, samt utforming og økonomi. Siste delkapittel omhandler prefabrikasjon og tar for seg definisjon og kjennetegn, forutsetninger og innvirkning på byggeprosessen. I tillegg studeres prefabrickerte elementer av betong og tre.

Kapittel 4: *Resultater* - Dette kapitlet presenterer en oppsummering av funnene som er gjort i de to case studiene som ligger til grunn for oppgaven. Kapitlet er delt i to delkapitler, ett for hver case. Første casen tar for seg Heimdalshallen som ble bygget med prefabrickerte betongelementer. Den andre casen tar for seg Bankgata flerbrukshall som ble utført i elementer av tre. Delkapitlene gir en beskrivelse av case, råbygg, produksjon av elementer, dokumentasjon og intervjuresultater. Det er forsøkt å studere de samme forholdene i begge casene for å danne et grunnlag for å kunne sammenligne og trekke paralleller.

Kapittel 5: *Diskusjon* - I dette kapitlet diskuteres oppgavens resultater. Kapitlet er bygget opp i tre delkapitler der hvert delkapittel tar for seg en an av forskningsspørsmålene i oppgaven.

Kapittel 6: *Konklusjon* - Her oppsummeres resultatene og det trekkes konklusjoner. I likhet med diskusjonskapitlet bygges dette kapitlet også opp av oppgavens forskningsspørsmål.

Kapittel 7: *Videre arbeid* - Dette kapitlet redegjør for hvordan arbeidet med denne oppgaven kan videreføres. Etter endt studie, og av oppgavens begrensninger er det identifisert flere temaer som kan være interessant å studere nærmere

1.5.2 Begrepsavklaringer

Prefabrikasjon

Hovedtema for oppgaven er prefabrikasjon. Det finnes mange ulike begreper og definisjoner som tar for seg prefabrikasjon i byggebransjen. De ulike begrepene og hva som ligger til grunn for denne

oppgaven vil bli gjengitt videre. Tabell 1.2 gjengir ulike begreper fra litteraturen. Enkelte begreper er gjengitt på engelsk da det ikke finnes gode oversettelser.

Tabell 1.2: Begreper og definisjoner for prefabrikasjon.

<u>Begrep</u>	<u>Definisjon</u>
Industrialisert byggeproduksjon	Hovedsaken av verdiskapingen har foregått i fabrikker (Berg, 2008).
Systematisert byggeproduksjon	Entreprenørens systematiske måte å produsere deler eller hele bygg på, hvor verdiskapingen hovedsakelig skjer på byggeplassen (Berg, 2008).
Prefabrikasjon	En produksjonsprosess som vanligvis finner sted ved spesialiserte fasiliteter, hvor materialer settes sammen til komponenter som utgjør en del av den endelige installasjonen (CII, u.d.).
«Pre-assembly»	Er en prosess hvor ulike materialer, prefabrikerte komponenter og/eller forskjellig utstyr er satt sammen på en ekstern lokasjon. Sammensetningen utgjør senere en enhet til det ferdige systemet (CII, u.d.).
«Off-site production»	Praktisering hvor elementer blir fabrikkert og satt sammen både på og utenfor byggeplass, så lenge det foregår på en annen plass enn ved elementets endelige posisjon (CII, u.d.).

Gibb (2001) deler prefabrikering inn i fire kategorier:

- Komponenter: Kjenner tegner deler som alltid blir produsert på fabrikk og aldri blir vurdert til å produsere på byggeplass.
- Ikke-volumetriske elementer: Elementer som produseres og monteres i forkant, men som ikke direkte skaper bruksareal/ferdig volum til det endelige bygget.
- Volumetriske elementer: Elementer som er ferdig produsert og montert på forhånd og utgjør direkte arealer til det ferdige bygget. Disse modulene er ofte installert i et nytt eller eksisterende bygg.
- Byggmoduler: Moduler som utgjør ferdig bygg (bæresystem, gulv, vegger og tak). De fleste enhetene er ferdig utført, noe som gjør at det er behov for minimalt med arbeid på byggeplassen utover montasjen.

Denne oppgaven tar utgangspunkt i definisjonen til «off-site production» hvor verdiskapingen foregår i forkant, og på en annen plass enn der den har sin endelige posisjon. Videre baserer rapporten seg på bygging med ikke-volumetriske elementer.

Ordliste

Anskaffelsesstrategi/Kontraktstrategi: Fremskaffelse av varer og tjenester fra eksterne kilder evt. retningslinjer for hvordan arbeidsomfanget i et prosjekt inndeles i ulike kontrakter, hva kontraktene bør inneholde og hvilke kontraktstyper som skal brukes. (Rolstadås, 1997).

Benchmarking: Handler om å sammenligne nåværende praksis/utførelse opp mot den som ansees som nummer en i verden på det spesifikke området (Koskela, 1992).

Black box modell: En modell som illustrerer transformasjonen fra innsatsfaktorer til det endelige resultatet. Transformasjonen foregår i en såkalt «black box» hvor det ikke kommer tydelig frem hvilke forhold er med på å påvirke det endelige resultatet. (Ingvaldsen & Edvardsen, 2007).

BTA: Brutto areal. Sum av en bygnings bruttoarealer for alle plan (Norsk Prisbok, 2014).

BYA: Bebyggd areal, fotavtrykket til et bygg (Norsk Prisbok, 2014).

Byggekostnad: Prosjektkostnadene eksklusive spesielle kostnader (Norsk Prisbok, 2014).

Entreprisekostnad: Byggekostnadene eksklusive generelle kostnader (Norsk Prisbok, 2014).

Flyt: Det maksimale tidsrom en aktivitet kan forskyves i tid uten at dette påvirker prosjektets sluttdato (Rolstadås, 1997).

Grensesnitt: Overgang mellom fase eller fag hvor det er fare for at informasjon går tapt (Østby-Deglum et al. 2012).

Huskostnad: Entreprisekostnadene eksklusive utendørs arbeid (Norsk Prisbok, 2014).

Ikke-verdiskapende aktiviteter (også kalt sløsing): Aktiviteter som tar tid, ressurser eller plass, men som ikke genererer verdi (Koskela, 1992).

Ledetid: Tid fra en ordre mottas til den er ferdig levert.

Levetidskostnad: Den totale kostnaden som påløper et produkt eller en komponent over levetiden. (Rolstadås, 1997).

Logistikk: Betegnelse for forsyning i videste forstand (Rolstadås, 1997).

Produktivitet: Forholdet mellom inntjent verdi og faktisk forbrukte ressurser. (Rolstadås, 1997).

Prosjektkostnad: Summen av samtlige kostnader for prosjektet (Norsk Prisbok, 2014).

Risiko: Uttrykk for den fare som uønskede hendelser representerer for mennesker, miljø eller materielle verdier. (Rolstadås, 1997).

Råbygg: Defineres her i oppgaven som et byggs bærende konstruksjoner med veggelementer, dekker og tak.

SHA: Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø.

Tradisjonell bygging (plassbygging): Regnes som motstykket til prefabrikasjon, med bygging på plass.

Usikkerhet: Differansen mellom den informasjon som er nødvendig for å ta en sikker beslutning og den tilgjengelige informasjonen. (Rolstadås, 1997).

Variabilitet: Variabilitet handler om at ting varierer. Det uttrykker at ting ikke er ensartet. (Østby-Deglum et al. 2012)

Verdi: I hvilken grad kundens krav blir oppnådd (Koskela, 1992).

Verdiskapende aktiviteter: Aktiviteter som direkte overfører materialer eller informasjon som er overens med kundens krav (Koskela, 1992).

2 Metode

I dette kapittelet blir metodene som er valgt å benytte i oppgaven beskrevet og begrunnet. I første delkapittel omhandles ulike typer metode og forskning, og det ses nærmere på hva som må tas hensyn til for at det skal oppnås god kvalitet. Videre beskrives metodene som er benyttet, før det i siste delkapittel gjøres en vurdering av metodevalget

2.1 Metode og forskning

Vilhelm Aubert (1985) definerte metode på følgende vis: «En metode er en fremgangsmåte, et middel til å løse problemer og komme fram til ny kunnskap. Et hvilket som helst middel som tjener dette formålet, hører med i arsenalet av metoder.»

Kunnskap er viktig for samfunnet. Det ser en også gjennom hovedstrategien til NTNU; *kunnskap for en bedre verden*. Kunnskap blir til gjennom forskning. Forskning «innebærer å søke grundig etter klarhet og forståelse i et forhold eller en sammenheng» (Dalland, 2000). Kvaliteten på forskningen vil være relatert til hvorvidt det gis klarhet i det forholdet som blir studert. Viktig for all forskning er strategisk arbeid, bevisstgjøring rundt kvalitetssikring og dokumentasjon av arbeidet som er utført.

Det finnes flere ulike forskningsmetoder å velge mellom. Dalland (2000) viser til at metoden særskilt må vurderes ut ifra oppgavens tema. Den samfunnsvitenskapelige forskningen skiller mellom kvalitativ og kvantitativ forskning. Tabell 2.1 angir forskjellen:

Tabell 2.1: Kvalitative og kvantitative metoder (Etter Dalland, 2000).

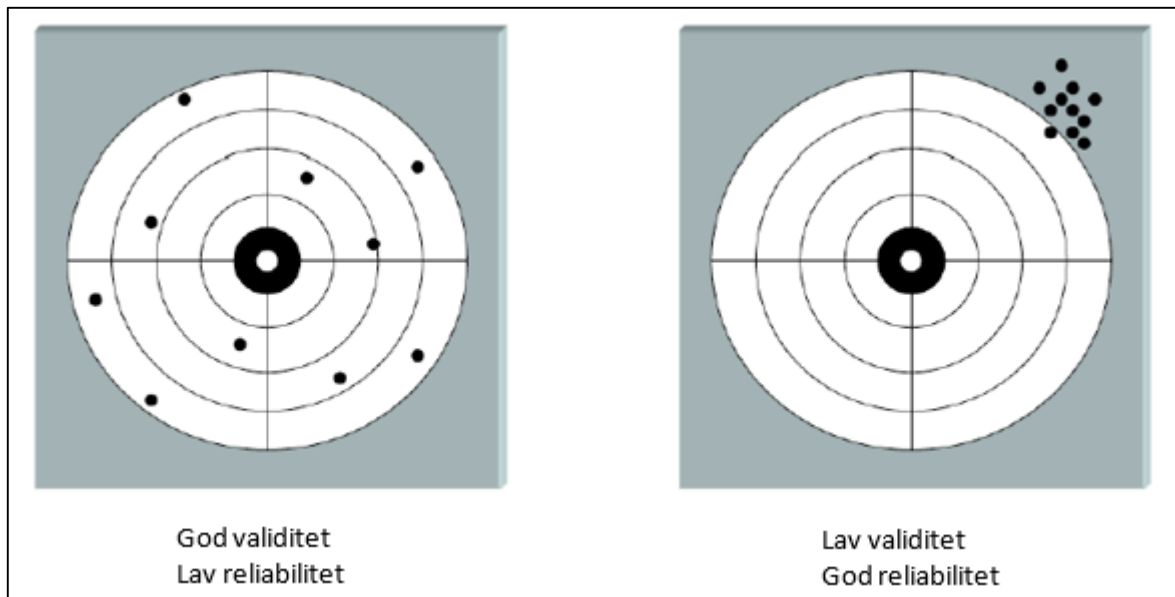
Kvalitative metoder: Sikter på å fange opp meninger og opplevelser som ikke lar seg tallfeste eller måle. Har som hensikt å gi forståelse for en prosess. Egnet til å gi svar på hva, hvordan og hvorfor.

Kvantitative metoder: Sikter på å forme informasjon om til målbare enheter. Har som hensikt å målfeste variabler ved en enhet eller prosess. Egnet til å gi svar på hvor mange/mye.

Denne oppgaven er hovedsakelig bygget opp av kvalitative forskningsmetoder. Hensikten med oppgaven er å se på hvordan bruk av prefabrikasjon vil påvirke byggeprosessen, samt om påvirkningen avhenger av materialet i de prefabrikkerte elementene. Oppgaven skal finne sammenhenger og helhet, og Dalland (2000) anbefaler at det da brukes kvalitative metoder. Ved å benytte flere metoder vil datagrunnlaget bli bedre, og i denne oppgaven er litteraturstudie, casestudie og intervju benyttet for å innhente informasjon. For å få karakteristisk data er det en fordel å benytte kvantitative metoder (Dalland, 2000). Det er gjort kvalitative vurderinger i form av tids- og kostnadsestimater for casene som oppgaven omhandler, men den eneste metoden som kan betegnes som kvantitativ er beregning av klimagasser. Metodene som er benyttet vil beskrives nærmere i de følgende delkapitlene.

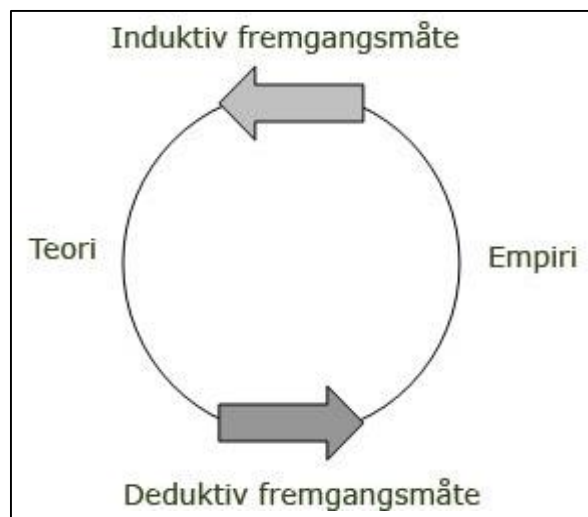
Kvaliteten på forskningen vil være avhengig av faktorer som reliabilitet, validitet og tidsbestandighet (Samset, 2008). Tidsbestandigheten vil basere seg på aktualiteten til det som blir studert. Samset definerer validitet ut ifra om det en finner samsvarer med det en ønsker å beskrive. Reliabiliteten vil

være avhengig av hvor presis informasjonen er, og dens troverdighet. Figur 2.1 illustrerer begrepene reliabilitet og validitet. I delkapittel 2.5 vil reliabilitet og validitet være med i vurderingen av metodene.



Figur 2.1 - Validitet og reliabilitet (Samset, 2008).

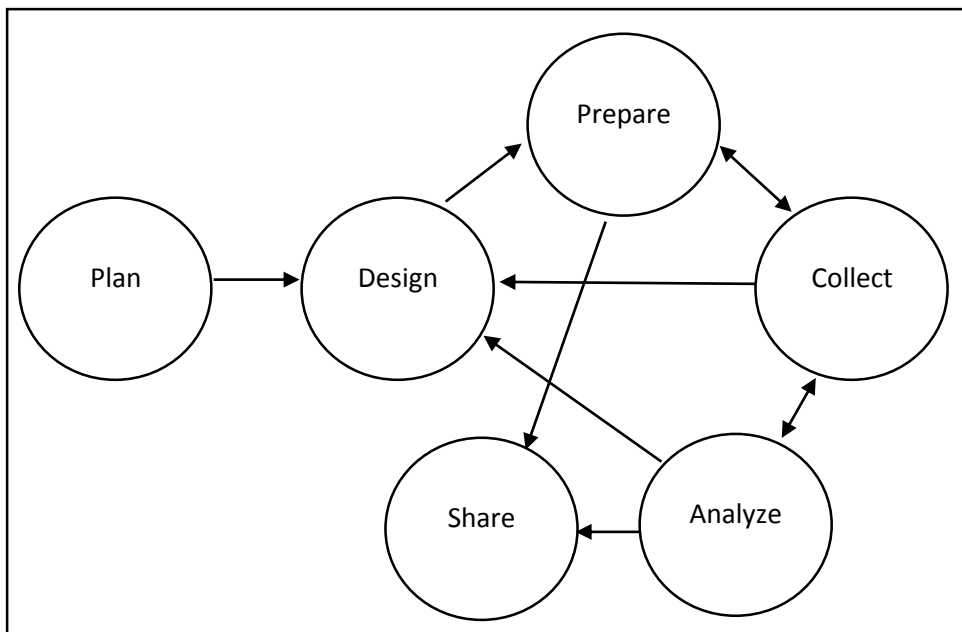
Det skilles også gjerne mellom induktive og deduktive metoder. Ved induktiv metode lages teorier ut i fra studier, mens ved deduktiv metode testes teoriene mot virkeligheten. En går fra empiri til teori i induktive studier, og fra teori til empiri i deduktive studier (Figur 2.2). Valg av perspektiv vil avgjøre hvordan problem blir formulert og hvordan situasjoner blir vurdert (Sander, 2014a).



Figur 2.2 - Induktiv og deduktiv fremgangsmåte (Sander, 2014).

Ifølge Sander (2014a) kjennetegner studier med en induktiv framgangsmåte at tidligere observasjoner benyttes for å si noe om framtiden. En ukjent virkelighet tilnærmes uten klare hypoteser, forutsetninger eller antagelser. Problemstillingen er også gjerne relativt løst formulert. Dette vil ifølge Sander gi stor fleksibilitet. En deduktiv fremgangsmåte kjennetegnes av at en bryter ned en teori i hypoteser, og videre tester teoriens holdbarhet ved hypoteseprøving. En slik fremgangsmåte krever en presis problemstilling.

Sander hevder at de fleste velger en deduktiv fremgangsmåte siden den inneholder færre usikkerhetsmomenter, har større klarhet, kan fremskaffe empirisk data, gjerne tar kortere tid og krever mindre kunnskap. I denne oppgaven er det likevel valgt å benytte en deduktiv fremgangsmåte. Dette ble valgt da det ved oppstart av oppgaven var knyttet stor usikkerhet til hva informasjonsinnhenting fra casene ville gi, og hva det videre kunne anvendes til. Dersom en hadde avgrenset oppgaven til å se på en eller flere bestemte hypoteser hadde en risikert at datagrunnlaget var for dårlig til å verifisere eller forkaste hypotesene. Begge casene som er undersøkt var ferdig bygget ved oppstart av oppgaven. Dette utelukker også mulighetene for å gjøre målinger og observasjoner underveis i prosessene. Det var derfor behov for en fremgangsmåte med stor fleksibilitet.



Figur 2.3 - Illustrasjon av den vitenskapelige metode (Yin, 2009).

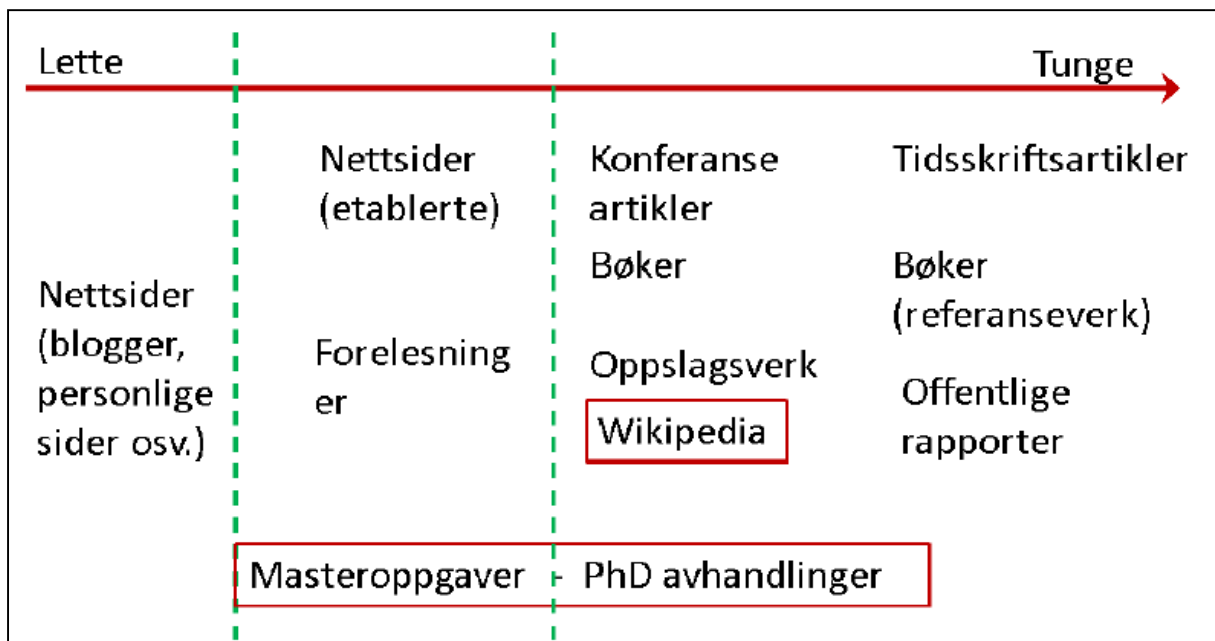
Yin (2009) beskriver forskningsprosessen som en lineær, men iterativ prosess. Han nevner seks steg; planlegge, utvikle, forberede, innhente, analysere og dele. Stegene, samt forholdene mellom dem er illustrert i Figur 2.3. Denne fremgangsmåten har vært utgangspunktet for utførelsen av oppgaven, og det er forsøkt å fokusere på stegene både hver for seg men også som en helhet.

2.2 Litteraturstudie

Via et litteraturstudie finner en ut hva andre har forsket på før og hvilke områder det er behov for videre forskning på. Litteraturstudiet legger grunnlaget for teorikapitlet som resten av oppgaven bygger på, og det er derfor viktig at det gjennomføres på en grundig og systematisk måte.

Litteratur

Figur 2.4 illustrerer hva slags litteratur som finnes, og skiller mellom lette og tunge kilder.



Figur 2.4 - Lette vs. tunge kilder (Bichao & Tilseth, 2014).

Ved å hele tiden ha oppgavens omfang i bakhodet kan en raskt avgjøre kildens relevans og vurdere den opp mot andre kilder en har funnet. Litteraturens tittel, sammendrag og innholdsfortegnelse forteller ofte nok om kilden til at en kan vurdere om det er en god kilde eller ikke. I de tilfellene det oppsto usikkerhet rundt litteraturens egnethet ble forfatteren eller tittelen søkt opp andre steder for å se om en kunne spore opp en bokomtale eller et sammendrag.

Det er tidkrevende å sette seg inn i all litteraturen en finner. Utvalget bør derfor bestå av en blanding mellom lette og tunge kilder, samt en balanse mellom kortere tidsskrifter og lengre bøker (Bichao & Tilseth, 2014). I denne oppgaven er det bøker, forskningsartikler og enkelte tidsskrifter som er de viktigste kildene til informasjon, men også flere andre litteraturformater er benyttet.

Databaser og søkemetoder

Det eksisterer en rekke databaser en kan bruke for å finne litteratur. Via intranettet på NTNU får en tilgang til flere av dem, og litteraturen som finnes der. På fagsidene til VIKO (veien til informasjonskompetanse) og universitetsbiblioteket til NTNU finner en relevante databaser for byggfag. Litteraturstudiet i denne oppgaven er i hovedsak utført med søkemotorene *Google Scholar* og *Oria*. *Google Scholar* er en fritt tilgjengelig web-søkemotor med akademisk litteratur i ulike formater og innenfor en rekke fagfelt. *Google Scholar* gir metadata og/eller fulltekst når en søker etter litteratur. *Oria* er en database som anbefales av VIKO. I *Oria* søker en i samlingene til alle norske universitet- og høyskolebibliotek, inkludert en del elektronisk materiale. Det ble lagt vekt på å gjøre seg kjent med de

ulike databasene før selve søkeprosessen startet. Blant annet ble det undersøkt hvilken litteratur som fantes der, hvilket språk en burde søke på og hvilke søketeknikker det var mulig å benytte seg av.

I tillegg til søk i databaser er det utført kjedesøk. Kjedesøk vil si å søke etter litteratur i kildelistene til annen sentral litteratur. Denne metoden førte til flere funn av nyttig litteratur som ikke ble funnet i de opprinnelige søkene, og i tillegg gav det flere nye søkeord.

Søkeprosessen

Det finnes mye litteratur tilgjengelig på Internett, og kvaliteten varierer stort. Det er derfor viktig å være kritisk under hele søkeprosessen. Samtidig må en være åpen slik at ikke meninger en har gjort seg opp på forhånd påvirker hvilken litteratur en velger å inkludere i oppgaven.

Når en søker etter litteratur vil en som regel alltid finne noe. Hvor mye en finner vil være avhengig av hvor mye en generaliserer søket. For å oppnå best mulig validitet på kildene er det søkt så spesifikt som mulig opp mot problemstillingen. Ved dårlig treff er det nødvendig å generalisere søket mer og mer, helt til en blir fornøyd. For å få de beste treffene i alle databasene, er det prøvd å etablere et hierarki over søkekombinasjoner med stigende grad av generalisering. Hvor mye en må generalisere søket før en får treff forteller noe om hvilket potensial som ligger i oppgaven.

For å dekke oppgavens omfang har det vært behov for å finne litteratur om flere ulike temaer. Dette har ført til en omfattende søkeprosess. Det er søkt på både norsk og utenlandsk litteratur om temaer som prefabrikasjon, industrialisering, standardisering, Lean, Supply Chain Management, klimagassberegninger, med mer. Det har her vært fokus på å benytte de korrekte oversettelsene av fremmedord og faguttrykk for å sikre kildenes relevans.

Gjennom hele søkeprosessen er det lagt vekt på å dokumentere og systematisere arbeidet. En av fordelene med å vektlegge dette er at hvis det oppstår behov for mer litteratur kan en enkelt finne frem til hvilke søkeord og teknikker er benyttet tidligere.

2.3 Case studier

Ifølge Dalland (2000) er hensikten med case studier å gi innsikt og forståelse. Yin (2009) beskriver case studier som en metode som skal prøve å belyse beslutninger; hvorfor de ble tatt, hvordan de ble gjennomført og hva resultatet ble. Case studier egner seg derfor til bruk av *hvordan-* og *hvorfor-*spørsmål, hvor forskeren har liten kontroll over utfallet og retter fokus mot samtiden. Slike studier blir ofte benyttet når det finnes flere variabler av interesse enn det eksisterer data for. Dette er derfor ansett til å være en egnet metode for å løse denne oppgaven.

Denne oppgaven har tatt utgangspunkt i to case studier. Ved flere case studier anbefaler Yin (2009) at det legges en strategi for hva en skal dokumentere. På denne måten kan resultatene benyttes til å sammenligne de studerte forholdene i casene. Case studiene i denne oppgaven tar for seg to flerbrukshaller som er bygget opp av prefabrikkerte elementer, i henholdsvis tre og betong.

Etter anbefaling fra Yin (2009) er det utført en omfattende gjennomgang av litteraturen før forskningsspørsmålene ble utarbeidet. Det har vært fokus på å i størst mulig grad beskrive forholdene slik de er. For å svare på forskningsspørsmålene er det viktig at datagrunnlaget gjenspeiler virkeligheten. I tråd med anbefalinger fra Dalland (2000) er det lagt vekt på at datagrunnlaget er basert på et systematisk utvalg. Valg av data er sentralt for utfallet av studiet. Det er derfor vært fokus på nøytralitet, og å unngå å lete etter bekreftelser på egne teorier. Sporbarhet har vært viktig gjennom hele prosessen.

I case studiene vil mye av datagrunnlaget være basert på prosjektdokumenter. Figur 2.5 presenterer ulike prosjektdokumenter som kan gi informasjon. Det er i stor grad benyttet «as built» dokumenter. I tillegg har dokumenter som konkurransegrunnlag, kontrakt, arbeidstegninger og møtereferater vært tilgjengelig.

Prosjektdokumenter (dokumenter for byggherrens prosjekt som helhet)								
Tidligfase-dokumenter	Prosjekterings-dokumenter	Konkurransegrunnlag		Kontraks-dokumenter	Byggefase-dokumenter	Som-bygget-dokumenter	FDVUS-dokumenter	Drifts-dokumenter
Skisseprosjekt, forprosjekt, konsesjons-søknad, prosjektsstrategi osv.	Grunnlags- og resultat-dokumenter for prosjekteringen, beregninger osv. som ikke nødvendigvis går videre til entreprenør.	Konkurranse-beskrivelsen (iht. NS 3450)	Kontraks-grunnlaget (iht. NS 3450)	Oppdeling iht. aktuell kontraks-standard og prosjektet.	Arbeids-tegninger, arbeids-beskrivelser, møtereferater, rapporter o.l.	Diverse	Diverse (NS 3456)	Diverse

Figur 2.5 - Prosjektdokumenter (Standard Norge, 2014).

2.3.1 Intervju

Intervju benyttes for å forstå forhold fra intervjuobjektens side. Det er et møte mellom mennesker, og begge parter vil ha forventinger til intervjuet (Dalland, 2000). Intervju anses som en god metode for å innhente data i kvalitative studier. Det finnes ulike måter å gjennomføre intervju på. De kan utføres kvalitativt eller kvantitative, samt strukturert eller ustrukturert. Kvalitative intervju kjennetegnes ved at de baserer seg på en intervjuguide, mens de kvantitative intervjumetodene benytter seg av spørreskjema med forhåndsdefinerte spørsmål og svaralternativer. De kvantitative intervjumetodene baserer seg på strukturerte intervjuer, mens kvalitative baserer seg på ustrukturerte (Sander, 2014b).

I et strukturert intervju benyttes forhåndsbestemte og lukkede spørsmål, gjerne i en bestemt rekkefølge. Strukturerte intervju sikrer at spørsmålene blir stilt på samme måte til hvert intervjuobjekt, og muliggjør bruk av dataanalyser når materialet skal bearbeides. I et ustrukturert intervju benyttes åpne spørsmål som gjerne stilles spontant utfra intervjuets gang (Sander, 2014b). Dersom formålet med intervjuene er å undersøke en persons opplevelser innenfor et emne hevder Kvale (1997) at en halvstrukturert gjennomføring vil være godt egnet. Halvstrukturerte intervjuer kalles også gjerne for semistrukturerte intervjuer. Ulempen med semistrukturerte intervjuer er at materialet er vanskelig å strukturere og sammenligne i etterkant. Imidlertid gir de rom for et dialogpreget intervju og oppfølgingsspørsmål. Dette vil heve kvaliteten på intervjuet.

I denne oppgaven er det hovedsakelig benyttet kvalitative metoder, men i forbindelse med intervjuene er det også spurt spesifikt etter kvantitativ informasjon. Ved gjennomføring av intervjuene ble en intervjuguide benyttet for å holde en viss struktur, og forsikre at alle temaer ble tatt opp. Det var imidlertid fokus på at intervjuene skulle være en dialog der de relevante temaene ble diskutert, og intervjuobjektet i størst mulig grad hadde ordet. Metoden benyttet i intervjuene er derfor klassifisert som semistrukturert. Den benyttede metoden ble ansett til å være mest hensiktsmessig for formålet med intervjuene.

Intervjuguiden ble sendt til intervjuobjektene i forkant av intervjuet. Dette gir intervjuobjektene en mulighet til å stille godt forberedt, og finne frem nødvendige tall og data. Videre vil dette bedre validiteten og reliabiliteten til intervjuene. Intervjuguiden ble åpent utformet slik at intervjuobjektene i størst mulig grad kunne dele erfaringene sine uten å bli begrenset av guiden. For oppfølgingsspørsmålene ble det utarbeidet en mer utfyllende guide. Intervjuguidene er lagt ved som Bilag B1-B3.

Når en skal bestemme spørsmålene til et intervju er det viktig å ha fokus på problemstillingen. Dalland (2000) skriver: «Et godt intervju gir oss verdifullt materiale som på en relevant måte kan belyse problemstillingen.» Hensikten med intervjuene var å få innsyn i erfaringer og hente informasjon knyttet både spesielt til casene, og generelt om oppgavens tema. I tillegg til å innhente ny informasjon direkte, førte intervjuene også til en dypere forståelse av dokumentasjonsstudiene.

Aktuelle intervjuobjekter i denne oppgaven vil være byggherre, arkitekt, entreprenør og leverandører. Fordelen ved å intervju fagpersoner er at materialet ofte trenger mindre bearbeiding etterpå. Svarene en får er gjerne gjennomtenkte, og intervjuer og intervjuobjekt snakker gjerne «samme språk» noe som gir lavere risiko for misforståelser (Dalland, 2000). I denne oppgaven var det ønskelig å intervju aktører og fagfolk i hele verdikjeden. Det ble utført intervjuer av arkitekt, byggherre, byggeleder og leverandører.

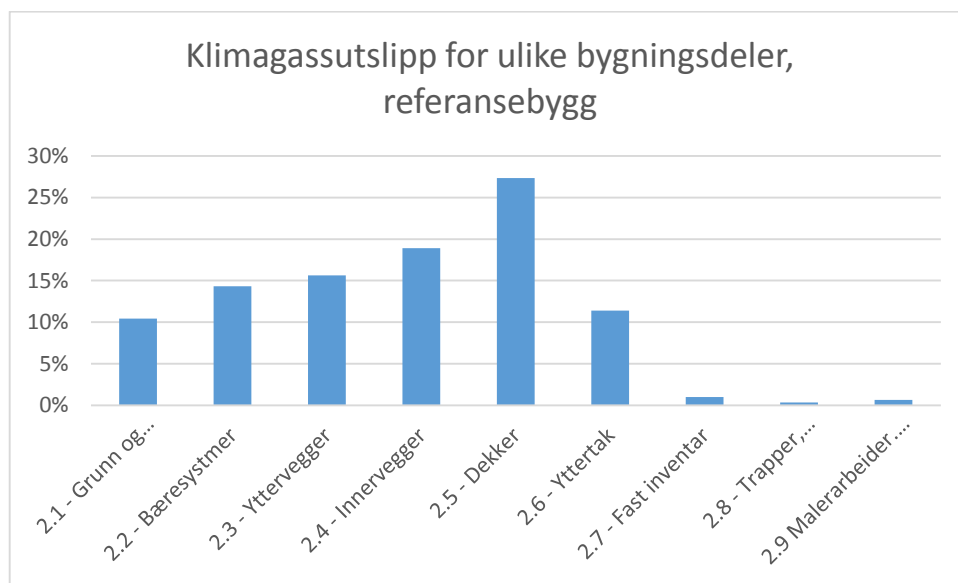
Alle intervjuene ble gjennomført ansikt til ansikt. Dette anbefales da en oppnår bedre kvalitet på intervjuene. For å unngå hyppig notatskriving, og dermed kunne vie størst mulig oppmerksomhet til intervjuobjektet ble intervjuene tatt opp med lydopptaker. En får da en større mulighet til å få inntrykk av objektets kroppsfaktorer. Rett etter intervjuet var gjennomført ble det lagt vekt på å skrive ned inntrykkene fra intervjuet.

Selve intervjuene ble gjennomført sent i arbeidet med rapporten. Dette gjorde det mulig å opparbeide seg gode forkunnskaper om temaet. På denne måten er en bedre rustet til å utarbeide gode spørsmål, samt gi bedre forståelse av svarene og videre bedre egnet til å kunne stille gode oppfølgingsspørsmål. I etterkant ble det samlet inn kontaktinformasjon for eventuelle etterfølgende spørsmål. Alle

intervjuobjekter var informert om hva oppgaven skulle brukes til. Det ble også spurt om nødvendigheten av å underskrive taushetserklæring i forkant. Det er forsøkt å presentere resultatene i størst mulig grad slik de ble fremstilt. Resultatene ble så videre sendt til intervjuobjektene for eventuelle korreksjoner eller tilbakemeldinger.

2.3.2 Klimagassberegninger

Det er utført klimagassberegninger for begge case studiene. Av oppgavens avgrensning er det gjort beregninger på bæresystem, yttervegger, dekker og yttertak. Etter å ha tatt utgangspunkt i et referansebygg fra en idrettshall utgjør disse bygningsdelene et utslipp på nesten 70 % av prosjektets totale klimagassutslipp (Norsk Prisbok, 2014). Klimagassutslippene for ulike bygningsdeler er illustrert i Figur 2.6. Bakgrunnen for klimagassberegninger som metode og verktøyet som er benyttet beskrives videre.



Figur 2.6 - Klimagassutslipp fordelt på ulike bygningsdeler (Etter Norsk Prisbok, 2014).

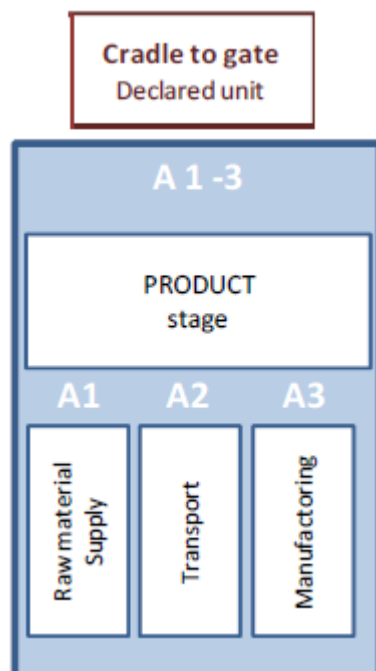
Livsløpsanalyse og EPD

Det rettes stadig mer fokus på miljøprestasjoner i byggebransjen (Vold et al. 2005). Ifølge Rønning et al. (2011) vil bygningers miljøprestasjon være avhengig av faktorer som byggets utforming, hva den er laget av, hvor den er plassert og hvordan den brukes. Bygget vil påvirke miljøet gjennom hele levetiden. For å få innsikt i hvilken belastning de ulike materialene har på miljøet brukes ofte miljødeklarasjoner for ulike produkter (EPD). Rønning et al. beskriver EPD som: «...en miljødeklarasjon som gir kvantifiserte miljødata ved bruk av forutbestemte parametre og ytterligere miljøinformasjon der det er relevant».

Ifølge Vold et al. (2005) vurderes miljøprestasjonene for hvert ledd gjennom hele verdikjeden fra uttak av råvarer, videreforedling, produksjon, bruk, sluttbehandling, og alle transportledd. Bruk av EPD vil være til hjelp i form av å velge materialer på bakgrunn i en helhetlig vurdering. Vold et al. viser til at det er en kompleks prosess å vurdere miljøpåvirkningene bakover i verdikjeden. For å løse dette er det utarbeidet ISO standardiserte metoder for å fremskaffe og dokumentere miljødata. Disse blir videre strukturert i et felles og forenklet format. For å kunne sammenligne ulike materialer er det utviklet

ulike produktkategoriregler (PCR). Her har bransjen gått sammen om å utvikle et felles sett med regler for å vurdere miljøpåvirkningene. Et eksempel på dette kan være funksjonelle enheter. Dette defineres som «kvantifisert prestasjon for et produktsystem til bruk som referanseenheter» (Rønning et al. 2011). For å sikre troverdigheten til systemet hevder Vold et al. at deklarasjonen må verifiseres av et uavhengig kompetent organ.

Rønning et al. (2011) viser til ulike stadier i livsløpsanalysen og beskriver prinsipper som «vugge til port», «vugge til grav» og «vugge til vugge». Disse perspektivene vil basere seg på hvor langt ut i livsløpet det velges å studere. Denne oppgaven er begrenset fra «vugge til port». Det vil si livsløpet til ulike materialer frem til de skal leveres til byggeplass. Konseptet «vugge til port» er illustrert i Figur 2.7.



Figur 2.7 - Konseptet "vugge til port" i livsløpsanalyse (utklipp fra Rønning et al. 2011).

Klimagasser

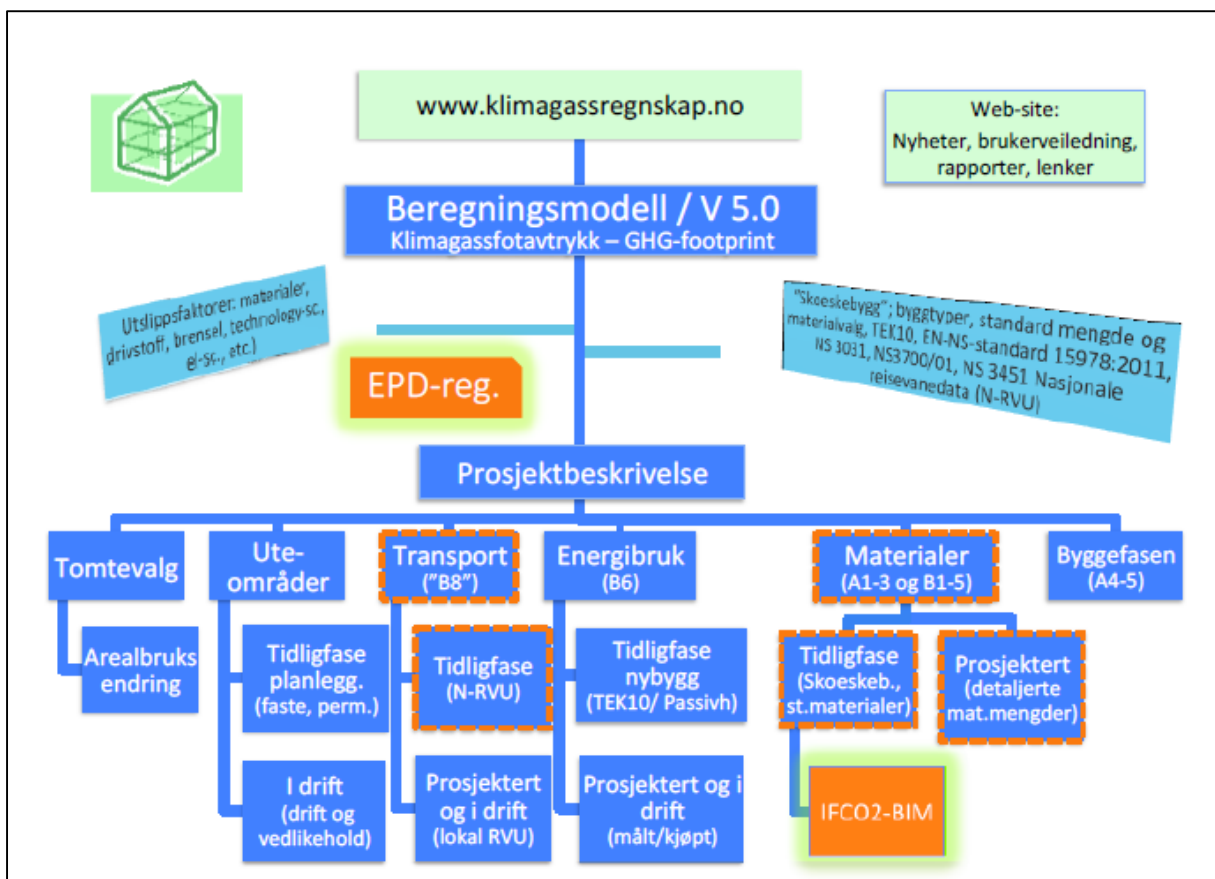
Etter at alle miljøpåvirkninger bakover i kjeden er kartlagt må de klassifiseres og karakteriseres (Rønning et al. 2011). Når de ulike utslippene er systematisert må de måles ut ifra hvilken styrke de vil ha i forhold til en gitt referanse. Ifølge Rønning et al. er det vanlig å måle de opp mot hvilken påvirkning de har på global oppvarming. Til dette er det vanlig å regne de om til CO₂-ekvivalenter. CO₂ er referansen med styrke 1, og ulike klimagasser vurderes i forhold til den. Som eksempel blir det vist til at metan og lystgass har en styrke på henholdsvis 25 og 298. Bruk av energi blir også omgjort til CO₂-ekvivalenter. Utslippene vil variere med hvilken kilde energien kommer fra. Ved bruk av elektrisitet vil utslippet variere etter hvor elektrisiteten stammer fra. I Norge stammer mesteparten av elektrisiteten fra vannkraft og kommer derfor bedre ut hvis en sammenligner med andre land i Europa.

Det er mange materialer å velge mellom i et bygg. Rønning et al. (2011) viser til flere studier og oppsummerer med at det er flere forhold som det må tas hensyn til ved valg av byggevarer. Det bør legges vekt på å studere byggevarens påvirkning på byggets totale energibruk i hele driftsfasen. Studier viser at klimabelastningen er størst i denne fasen. Videre bør det tas hensyn til byggets og materialets

levetid. Utskiftninger og krav til vedlikehold kan gi høyere utslipp gjennom livsløpet. Til slutt vil det være avgjørende for klimagassregnskapet om materialet er gjenvinnbart eller ikke. Jomfruelige materialer vil ha vesentlig høyere utslipp enn resirkulerte.

Klimagassregnskap.no

Klimagassregnskap.no er en modell for klimagassberegninger fra livsløpet til et bygg. Modellen er en gratistjeneste som er finansiert av *Statsbygg* og er tatt i bruk av forskjellige aktører i byggebransjen. Verktøyet er basert på livsløpstenking av produkter fra vugge til grav. Det er bygget opp av ulike moduler og kan brukes i både tidligfase, og etter at bygget er prosjektert. I den tidlige fasen kan det hentes ut erfaringer fra referansebygg og en kan utføre eventuelle tilpasninger. På denne måten kan en vurdere klimagassutslipp knyttet til ulike alternativer før bygget er prosjektert. I prosjektert fase kan modellen benyttes til å beregne de faktiske klimagassutslippene. Modellen er enkelt bygget opp ved at det legges inn materialmengder som inngår i ulike bygningsdeler. Materialene kan justeres etter forventet levetid, og er tilknyttet ulike utslippsfaktorer. Denne oppgaven tar kun utgangspunkt i materialmodulen og tar heller ikke hensyn til levetiden på ulike materialer. Verktøyet forbedres gjennom flere versjoner. Denne oppgaven tar baserer seg på femte versjon og forkortes videre KG v.5. Verktøyets oppbygning er illustrert i Figur 2.8.



Figur 2.8 - Oppbygning av klimagassregnskap.no. Oppgaven tar utgangspunkt i materialmodulen (Statsbygg, 2014).

Grunnsteinen i verktøyet består av en materialdatabase som tar for seg tilhørende klimagassutslipp. Databasen inneholder 120 ulike materialvalg fordelt på 11 hovedkategorier (Statsbygg, 2012). Utslippene knyttet til materialene er hentet fra EPD'er som beregner utslipp fra vugge til port. Det er

denne materialdatabasen som ligger til grunn for beregningen av deler av klimagassutslippene i denne oppgaven. For de materialene som ikke lå i databasen ble det tatt utgangspunkt i EPD'er.

2.4 Vurdering av metodevalg

2.4.1 Litteraturstudie

Litteraturen som er benyttet i oppgaven har god tilgjengelighet og er referert i kildehenvisningen. Ved flere påstander er det innhentet informasjon fra flere kilder. Dette vil gi god sporbarhet og troverdighet. Enkelte delkapitler er bygget opp på litteratur som er utgitt og sponset av interesseorganisasjoner i ulike bransjer. Det er benyttet litteratur utgitt fra *Norsk Betongforening*, *Betongelementforeningen*, *Trefokus* og *Treteknisk*. Det antas at forskningen er kommet lengst i disse miljøene. Resultatene gjengis slik de er presentert, og benyttes videre med forsiktighet. Der interesseorganisasjoner er medvirkende i kilden er dette henvist tydelig.

Det er i stor grad benyttet førstehåndskilder. Eventuell sekundærlitteratur er hentet fra troverdige forfattere. I tillegg til norsk litteratur er det hentet inn både engelskspråklig og svensk litteratur. Ved bruk av utenlandsk litteratur vil det være en liten risiko for at informasjon blir tapt ved oversettelsen. Informasjon kan også feiltolkes da en ikke har samme innsikt i temaet eller studiet som forfatteren. Denne oppgaven bygger på litteratur om flere ulike temaer. Dette kan utgjøre en risiko for at en ikke har fått dekket alt det vesentlige på alle områder.

Et bredt utvalg av litteratur er undersøkt. De fleste kildene har bestått av bøker eller forskningsartikler, hvor forfatterne er anerkjente innenfor sitt fagfelt. Av litteraturen som er benyttet, var det ingenting å finne om bygging av flerbrukshaller opp mot det aktuelle tema. Det var derfor behov for å generalisere søket til å gjelde andre typer bygg. Mye av litteraturen som er funnet er knyttet opp mot boligbygg. Litteraturen tar i stor grad for seg bygging med prefabrikasjon på et generelt grunnlag. Hvorvidt disse studiene baserer seg på bygging av én type materialvalg kommer ikke alltid klart frem. Mye av litteraturen som presenteres består av kvalitative vurderinger. Dette vil redusere validiteten noe.

2.4.2 Case studier

Dokumentasjon

Vurderinger og resultater fra case studier tar ofte utgangspunkt i kvalitative beskrivelser av ulike forhold. Forhold kan endres og oppfatninger kan være feil. Det har vært fokus på sporbarhet gjennom hele prosessen, og arbeidet er blitt dokumentert etter hvert som det er utført. Case studiene vurderes derfor til å ha god etterprøvbarehet.

De kvantifiserte resultatene er i flere tilfeller bygget på et svakt datagrunnlag, og dette svekker reliabiliteten. For å kunne beskrive forholdene i casen er det avgjørende å få tilgang til nødvendige prosjektdokumenter. Det vil alltid være en fare for at informasjon er feilaktig, eller at noe holdes tilbake. Mye av datagrunnlaget er ansett til å ha høy reliabilitet gjennom at det tar utgangspunkt i kontraktsfestede dokumenter. I tillegg til å være avhengig av prosjektdokumenter, er det også nødvendig å basere resultater på informasjon som er innhentet via samtaler og intervjuer. Dette vil medføre redusert sporbarhet.

Informasjon om case studiene er hentet inn etter at prosjektene er fullført. En ulempe ved dette er at det ikke er mulig å utføre målinger eller kontroller i faktisk tid. Begge casene er nylig ferdigstilt, så det antas at en har fått dekket det mest vesentlige.

Casene som er studert i oppgaven er godt egnet til å svare på oppgavens forskningsspørsmål. Det er også sett på flere ulike måter å bygge med prefabrikasjon på, noe som gir et bra grunnlag for den generelle teorien. Av prosjektdokumentene er det hovedsakelig benyttet «as-built»-dokumenter. Disse vurderes til å være en kilde med god validitet og reliabilitet.

Intervju

Reliabiliteten fra intervjuene knyttet til Bankgata vurderes som god. Intervjuobjektet har god innsikt i hele prosjektet da han har hatt rollen som arkitekt, prosjekteringsleder og byggeleder. Resultatene fra intervjuet samsvarte også godt med inntrykkene som entreprenøren og byggherreombudet ga. For Heimdalshallen lyktes det ikke å få i stand intervjuer med entreprenøren, da de var opptatt med andre prosjekter. Her kan noe informasjon ha gått tapt. Det ble gjennomført et intervju med prosjektlederen fra Overhalla Betongbygg (leverandøren), som også hadde ansvaret for produksjonen og montasjen av råbygget. Ved befaringen på Overhalla ble også gjennomført intervjuer som tok for seg generelle forhold ved prefabrikasjon. I tillegg er det gjennomført et samtaleintervju med byggherreombudet fra Heimdalshallen. På bakgrunn av dette vurderes informasjonen knyttet til både prosjektet og generelle forhold ved prefabrikasjon til å være god. Det ble sendt ut intervjuguider på forhånd. Dette vil kunne være med å bedre reliabiliteten ved at intervjuobjektene kan forberede svar og eventuelt hente inn nødvendig data.

Intervjuene er gjennomført i etterkant av prosjektet. En svakhet med dette er at vesentlig informasjon kan gå tapt eller at intervjuobjektet vil skjule deler av sannheten. En mulig styrke ved å gjennomføre intervjuer i etterkant, kan være at informantene har hatt tid til å reflektere og etterkalkulere ulike forhold. Reliabiliteten fra intervjuene kan vurderes som god da påstandene i stor grad samsvarer med funnene fra litteratursøket. Intervjuene ble gjennomført sent i prosessen. Intervjuguiden og spørsmålene var derfor utformet på et godt grunnlag, og det var mulig å kunne stille kvalifiserte oppfølgingsspørsmål. Dette var også anbefalt av Yin (2009). Intervjuobjektene hadde lang erfaring når det gjaldt bygging med prefabrikerte elementer. De hadde også erfaringer ved bygging av flerbrukshaller. Intervjuene vurderes derfor til å ha god validitet.

Klimagassberegninger

Ifølge Statsbygg (2014) vil klimagassberegninger for et byggeprosjekt være basert på flere mer eller mindre usikre forutsetninger. Modellen tar for seg flere forenklinger i beregningen. Det vil være usikkerheter knyttet til selve systemet og til hvordan verktøyet blir brukt. Statsbygg (2012) hevder at hensikten med klimagassregnskap.no (KG v.5) ikke er å gi ut et nøyaktig resultat, men at den er ment for å gi indikasjoner med høy sannsynlighet over hvilke klimagassutslipp de ulike valgene medfører. En av svakhetene til metoden har vært at utslippene har vært beregnet på grunnlag av gammel og utdatert informasjon. Statsbygg informerer om at materialdatabasen stadig oppdateres og at grunnlaget for mer korrekte beregninger bedres. Klimagassberegningene er utført delvis ved bruk av KG v.5 og delvis ved bruk av EPDer. Etter å ha studert både EPDer og beregnet klimagasser i KG v.5 er inntrykket at utslippene i EPDene ofte er lavere enn om de hadde blitt kalkulert i KG v.5. Selv om det er en rekke usikkerheter knyttet til metoden, vil resultatet likevel gi indikasjoner på hvilken grad de ulike alternativene belaster miljøet. Klimagassberegningene i denne oppgaven tar ikke hensyn til verken materialenes levetid eller hvilken funksjon de har i det endelige bygget. Det er heller ikke sett på utslipp knyttet til energi i driftsfasen. Ifølge Rønning et al. (2011) er denne dominerende over byggets levetid. Reliabiliteten til klimagassberegningene vurderes som tilfredsstillende i fasen frem til bygging, men innvirkningene for bygget senere i levetiden bør vurderes.

3 Teori

Teorien er bygget opp av tre delkapitler. Første delkapittel tar for seg bakgrunnsteori, og omhandler karakteristikken av byggeprosjekter, rammefaktorer, verdiskaping, prosjektstyring samt strategier og verktøy for styring. Neste delkapittel ser nærmere på flerbrukshaller som bygningstype. Her presenteres karakteristikken av flerbrukshaller, verdikjeden i et flerbrukshallprosjekt, samt utforming og økonomi. Siste delkapittel omhandler prefabrikasjon og tar for seg definisjon og kjennetegn, forutsetninger og innvirkning på byggeprosessen. I tillegg studeres prefabrikerte elementer av betong og tre.

3.1 Bakgrunnsteori

3.1.1 Karakteristikk av byggeprosjekter

Definisjonene på hva som kjennetegner et prosjekt er mange. Østby-Deglum et al. (2012) tar for seg flere og oppsummerer: *«Et prosjekt har begrenset varighet og er summen av en unik prosjektorganisasjon, et unikt produkt, samt ytelsene og prosessene som leder fram til dette produktet.»*

Et prosjekt vil variere i omfang og størrelse. Alle prosjekter har forskjellig innhold og krever unik planlegging. Rolstadås (1997) gir følgende karakteristikker av byggebransjen:

- *Det er en oppgave som utføres én gang.*
- *Det er rettet mot fremskaffelse av ett produkt (vare eller tjeneste) som er unikt.*
- *Det kan deles opp i en samling arbeidsoppgaver som hver har en ansvarlig organisatorisk enhet.*
- *Det krever ressurser for å gjennomføres.*
- *Det er knyttet begrensninger til gjennomføringen med hensyn til tid og kostnader.*

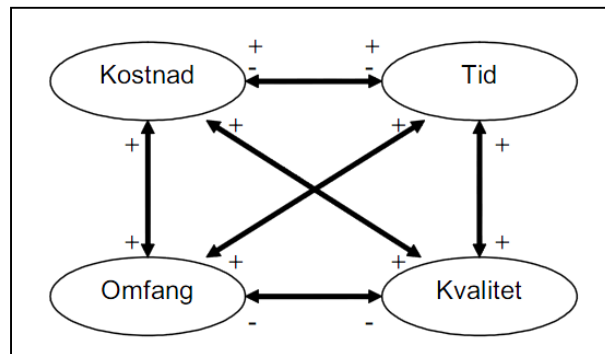
Videre nevner Rolstadås en del andre karakteristikker som behov for tverrfaglig kompetanse, utførelse av en midlertidig organisasjon, og at det er kunden som setter kravene til løsninger og gjennomføring.

Byggebransjen skiller seg fra andre virksomheter på flere områder. Ved produksjon i fabrikk er teknologien og løsningene globalt standardiserte. Ifølge Picchi (2000) vil de i byggenæringen variere i stor grad mellom land, regioner, typer bygg og hvem som utfører jobben. Videre beskriver Picchi bransjen som kompleks. Det endelige produktet kan bygges opp av et stort antall ulike materialer og byggeteknikker. Dette vil igjen medføre ulike prosesser, grensesnitt, arbeidsoperasjoner, entreprenører og leverandører. Vrijhoef og Koskela (2000) trekker også frem kontrastene mellom produksjon på byggeplass og i fabrikk; fabrikk masseproduserer begrensede varer til mange kunder, mens byggeprosjekter leverer ett unikt produkt til én bestemt kunde.

3.1.2 Rammefaktorer

Prosjektets rammer vil være påvirket av faktorene kostnad, tid, kvalitet og omfang. De fire faktorene vil hver for seg være avhengige av hverandre, og kan være utslagsgivende for utfallet av prosjektet. Overskrides rammene som er satt for enten tid eller kostnad, kan det medføre store konsekvenser. Sammenhengen mellom dem er illustrert i Figur 3.1. Rammene bør avklares tidlig og rangeres etter

viktighet slik at prosjektorganisasjonen kan styre prosjektet i tråd med byggherrens ambisjoner (Lædre, 2009).



Figur 3.1 - Faktorer som påvirker prosjektets rammer og hvordan de er avhengig av hverandre (Lædre, 2009).

Rammene i figuren over vil være relatert til hvert enkelt prosjekt og er påvirkelige. I et prosjekt vil det også være rammer som er upåvirkelige i det korte eller lange løp. De kan være av stor betydning og sette begrensninger for byggherrens ambisjoner. Enkelte ganger kan forholdene være så avgjørende at prosjektet ikke lar seg gjennomføre. Hansen (u.d. referert i Østby-Deglum, et al. (2012)) omtaler de upåvirkelige rammene som «ytre rammer». De ytre rammene er delt inn i tre ulike forhold:

Stedsavhengige forhold:

- Lokalisering med forhold som klima, grunnforhold, infrastruktur og marked
- Reguleringsplaner og forhold knyttet til lokale bestemmelser slik som byggeskikk, vernehensyn
- Politiske føringer i forhold til blant annet kommuneplaner og prioriteringer

Tidsavhengige forhold:

- Finansmarked, rentenivå og sysselsetting

Uavhengige forhold:

- Plan- og bygningsloven med tilhørende forskrifter
- Andre lover og forskrifter: blant annet Byggherreforskriften, arbeidsmiljøloven og forurensningsloven
- Standarder og normer

3.1.3 Verdiskaping

Produktivitet

Verdiskaping og produktivitet er nært knyttet til hverandre. Ingvaldsen og Edvardsen (2007) definerer produktivitet som produkt dividert på innsatsfaktorer. Produktivitetsstudier baserer seg på å måle hvem som er best, finne ut årsaken og bruke kunnskapen til læring og forbedring. Albriksen (1989) påpeker at effektivitet og produktivitet ofte faller sammen. En bedrift med høy produktivitet er ofte effektiv. Effektivitet blir beskrevet som et mål i forhold til noe annet, mens produktivitet sier noe om innsatsfaktorer. Ingvaldsen & Edvardsen beskriver effektivitet som evnen til å disponere ressursene «lurt» under prosessen med å fremstille et gitt produkt eller bygg. For å måle produktivitet er en avhengig av kvantifiserbare målinger som kr, kg, m², tid, antall, etc.

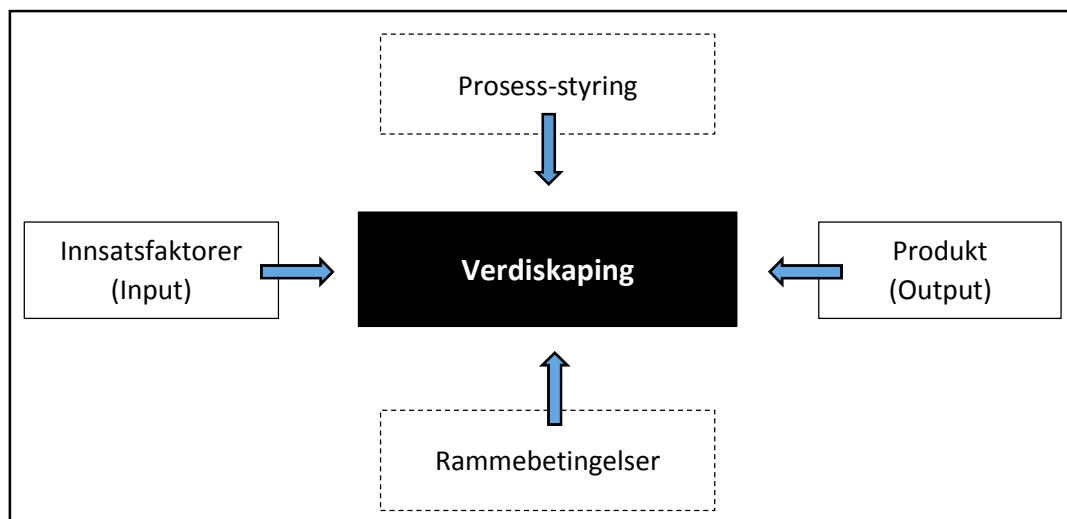
«To measure is to know. If you can not measure it, you can not improve it.» – sitat: Lord Kelvin

Av Figur 1.2 **Feil! Fant ikke referanse-kilden.** kom det frem at arbeidsproduktiviteten i BA-næringen hadde sunket de siste årene. Forbes og Ahmed (2011) hevder at 40-60 % av arbeidsdagen går med til å utføre planlagt arbeid. De resterende 40-60 % er uproduktive. Videre viser de til flere studier som har identifisert ulike faktorer som påvirker produktiviteten i byggeprosjekter. Faktorene er gjengitt i Tabell 3.1.

Tabell 3.1: Faktorer som påvirker produktiviteten i byggeprosjekter (Forbes & Ahmed, 2011).

- Ineffektiv byggeledelse
- Stort fokus på kontroll
- Økende grad av spesifikasjoner i prosjekter
- Uklare eller omfattende utførelsesstandarder
- Vekst i bruk av underentreprenører
- Treg innføring av innovative løsninger
- Mangel på benchmarking (kunnskap om beste praksis)
- Mangel på arbeidskraft
- Unike prosjekter
- Teknologiske innvirkninger
- Lønnsutvikling
- Utilstrekkelig arbeidere med høy ferdighet

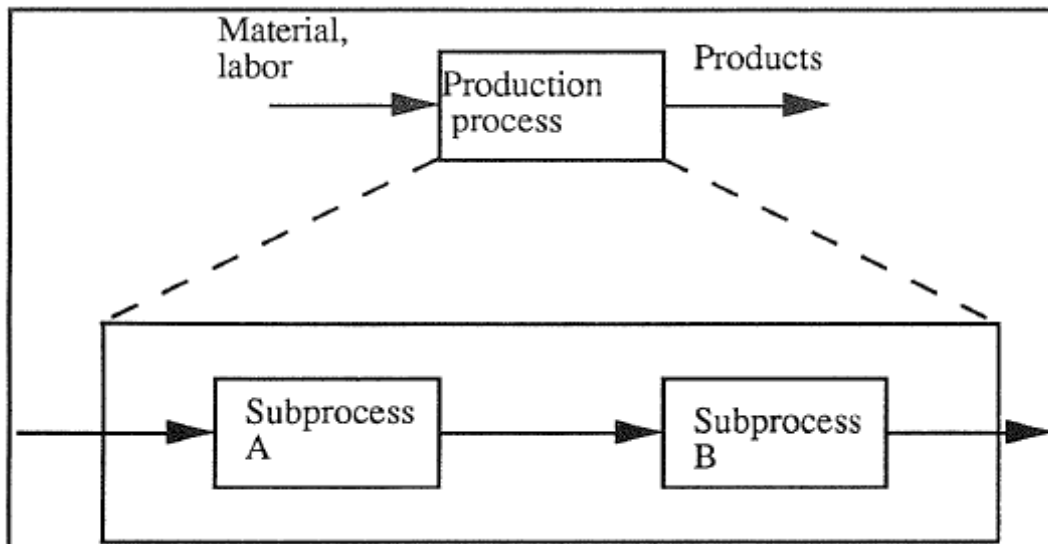
Ingvaldsen og Edvardsen (2007) beskriver verdiskapingen på byggeplassen som en funksjon av mange variabler. Produksjon = f (ressursbruk, rammer, styring) * effektivitet. For å beskrive transformasjonen fra innsatsfaktorer til ferdig produkt er det utviklet en «black box»-modell. Prosess-styring og rammebetingelser er antatt å være av betydning for det endelige resultatet. Modellen er gjengitt i Figur 3.2.



Figur 3.2 – «Black Box»-modell som illustrerer verdiskapingen i byggeprosjektet (Ingvaldsen & Edvardsen, 2007).

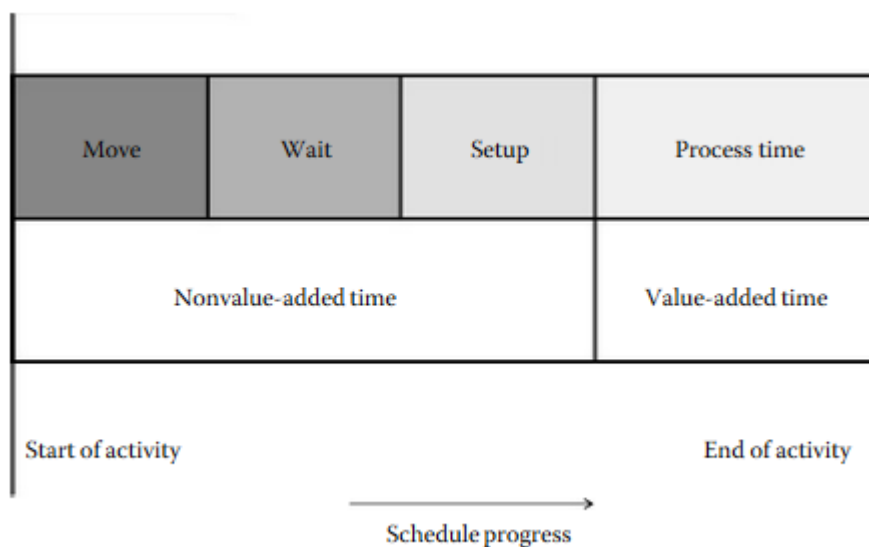
Produksjonsteori

Koskela (1992) ser også på produksjonen på byggeplass som en transformasjonsprosess. Innsatsfaktorer er materialer og arbeidskraft, og produktene blir til gjennom en produksjonsprosess. Produksjonsprosessen kan igjen deles inn i flere delprodukter og delprosesser som vil kreve sine respektive materialer og arbeidskraft. Dette er illustrert i Figur 3.3.



Figur 3.3 - Produksjonsprosessen i byggenæringen (Koskela, 1992).

Videre beskriver Koskela begreper som flyt og sløsing. Produksjon handler om flyt av materialer og/eller informasjon helt fra råmaterialer og frem til sluttproduktet. Produktet blir skapt gjennom flere verdiskapende prosesser. Flyt vil foregå mellom delprosessene og betegnes som ikke-verdiskapende. Koskela viser til transport, venting og inspeksjon som eksempler på ikke-verdiskapende aktiviteter. Sløsing er en annen betegnelse for ikke-verdiskapende aktiviteter. Dette illustreres i Figur 3.4. Flytprosessene kan relateres til tid, kostnader og verdi.



Figur 3.4 - Sløsing og verdiskapende aktiviteter i produksjonsprosessen (Forbes & Ahmed, 2011).

Koskela skiller mellom to syn på effektivitet i et byggeprosjekt. Først nevner han effektivitet direkte på byggeplassen i form av teknologinivå, ferdigheter, motivasjon, etc. Den andre metoden for å effektivisere prosjektet ligger i valg av byggesystem og i redusering av ikke-verdiskapende aktiviteter frem til det endelige produktet. For å utvikle denne prosessen har Koskela identifisert elleve prinsipper. Disse er gjengitt i tabell Tabell 3.2.

Tabell 3.2: Elleve prinsipper for å designe, kontrollere og forbedre flyt i prosessene (Koskela, 1992).

1. Redusere andelen ikke-verdiskapende aktiviteter.
 2. Øke sluttverdien gjennom systematiske vurderinger av kundens behov.
 3. Redusere variabilitet.
 4. Redusere ledetid.
 5. Forenkle ved å minimere antall steg, deler og ledd.
 6. Øke sluttproduktets fleksibilitet.
 7. Øke gjennomsiktigheten i prosessene.
 8. Fokusere på prosessen som helhet.
 9. Bygge kontinuerlige forbedringer inn i prosessen
 10. Balansere forbedringer i flyt med forbedringer i transformasjon
 11. «Benchmarking» (Beste praksis)
-

3.1.4 Prosjektstyring

Prosjektstyring er et relativt nytt fagområde og fikk først vitenskapelig grunnlag i 1950-årene da det var behov for store og komplekse prosjekter (Rolstadås, 1997). Rolstadås definerer prosjektledelse som: «...anvendelse av kunnskap, ferdigheter, verktøy og teknikker på prosjektaktiviteter for å imøtekomme eller overgå interessenters behov og forventninger til prosjektet.»

Prosjekters suksess

Slevin og Pinto (1987) trekker frem ti faktorer som har innflytelse på suksessen i et prosjekt. Disse er gjengitt og beskrevet i Tabell 3.3.

Tabell 3.3: Faktorer som har innflytelsen på suksessen i et prosjekt (Slevin & Pinto, 1987).

<u>Faktorer</u>	<u>Beskrivelse</u>
Prosjekt mål	Veldefinerte mål danner grunnlag for planlegging og styring.
Støtte fra toppledelsen	Ledelsens engasjement til å bistå med nødvendige ressurser og autoritet for å sikre suksess.
Prosjektplanlegging	Detaljert planlegging av tid, kostnad, omfang, organisasjon, etc.
Godt forhold til kunden	Samarbeid og god kommunikasjon vil redusere risiko for eventuelle uenigheter.
Personell	Rekruttering, utvelgelse og opplæring er nødvendig for å kunne nå prosjektmål og holde seg innenfor rammene. Gode relasjoner i prosjektteamet er viktig.
Tekniske oppgaver	Innsikt i teknisk omfang vil bidra til å involvere rett kompetanse i organisasjonen.
Godkjenning fra kunden	Eieren og brukerne må overbevises om at prosjektet tilfredsstillende behøver.

Overvåkning og kontroll	Kontinuerlig oppfølging vil legge grunnlag for styring av usikkerhet og evne til å gjøre tilpasninger underveis.
Kommunikasjon	Er avgjørende for å sikre god flyt i prosjektet. Dette kan være informasjonsdeling, leveranser, produksjon, etc.
Evne til å håndtere problemer	Problemer eller avvik oppstår alltid. Reserver i prosjektet vil føre til at eventuelle avvik blir mindre kritisk.

Usikkerheter og risiko

Rammefaktorene som ble omtalt i underkapittel 3.1.2 vil utgjøre variabler som påvirker styringen av prosjektet. Styringsvariablene vil representere usikkerhet og bidra til risiko i prosjektet. For å beskrive usikkerhet og risiko som påvirker prosjekter skiller Eikeland (1999) mellom ytre- og prosjektinterne forhold. Videre skiller han mellom produkt, organisasjon og prosess. Resultatet er gjengitt i Tabell 3.4.

Tabell 3.4: Usikkerhet i byggeprosjekter (Eikeland, 1999).

<u>PROSJEKTET</u>	<u>YTRE FORHOLD</u>	<u>PROSJEKTINTERNE FORHOLD</u>
PRODUKTET påvirkes/defineres av:	<ul style="list-style-type: none"> • Markedets etterspørsel og betalingsvillighet • Konkurrerende produkter • Produktkrav og rammer fra eksterne aktører • Tomt, grunnforhold, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prosjekt mål • Kostnads mål • Suksesskriterier • Kravspesifikasjoner • Teknisk løsning/design • Kompleksitet i design og produksjon
ORGANISASJONEN påvirkes/defineres av:	<ul style="list-style-type: none"> • Tilgjengelige bransjeressurser • Myndighetenes rolle • Naboer • Institusjoner 	<ul style="list-style-type: none"> • Organisasjonsstruktur • Kontrakter og avtaler • Ansvar og risikofordeling • Instruksjoner og rutiner
PROSESSEN påvirkes/defineres av:	<ul style="list-style-type: none"> • Endringer som virker inn på krav til produkt (marked, teknologi, osv.) eller organisasjon • Off. planleggings- og godkjenningsprosesser • Aksjoner og konfliktprosesser • Avhengigheter til andre prosesser/prosjekter 	<ul style="list-style-type: none"> • Fremdriftsmål og planer • Beslutningsprosesser • Ledelse og samspill • Interne konfliktprosesser • Læring, innsikt og forståelse • Avhengigheter mellom delprosessene og aktiviteter

Alle byggeprosjekter inneholder usikkerheter. I noen prosjekter er risikoen mer åpenbar enn i andre. Lædre (2009) peker på at risikoen bør tilfalle den parten som er best egnet til å håndtere den. Videre påpekes det at usikkerhet i prosjekter ikke bare handler om risiko og økte kostnader. Usikkerhet kan

også forbindes med muligheter for å kunne redusere kostnadene. God styring av usikkerheter kan spare både tid og penger. Ashworth (2010) poengterer at risikoen må tas hensyn til gjennom hele prosjektet, og viser til ulike måter å håndtere risiko:

- Unngå risiko
- Redusere risiko
- Overføre risiko
- Dele risiko
- Beholde risiko

3.1.5 Strategier og verktøy for styring

Moore (2007) viser til flere ulike verktøy en kan implementere når det gjelder å forbedre produksjonen. Disse kan betegnes som verktøy, metoder, teknikker, teknologier, prosesser, praksis, systemer, osv. Ifølge Moore vil metodene som helhet fungere, men peker på at det er for mange variabler til at en direkte kan peke på hva som er utslagsgivende. Erfaringene viser at flere oppnår forbedringer i starten, men at mange etter hvert faller tilbake til gamle vaner. Nøkkelen ligger i å endre holdninger i hele organisasjonen.

Lean prinsipper

Lean er et konsept som stammer fra Japan. Bruksområdet er stort og det kan karakteriseres som målsettinger, prinsipper, metoder eller verktøy (Forbes & Ahmed, 2011). Det startet med at representanter fra Toyota hadde vært i USA og hentet inspirasjon fra bilindustrien. Der ble det identifisert mye sløsing og potensial for effektivisering av prosessen. Resultatet ble syv ulike former for sløsing i produksjonssystemet og er gjengitt i Tabell 3.5 (Forbes og Ahmed refererer til Ohno, 1988).

Tabell 3.5: Kategorier av sløsing (Etter Forbes & Ahmed, 2011).

<u>Kategori</u>	<u>Beskrivelse</u>
Overproduksjon	Produksjon av større mengder enn markedet har behov for. Vil hindre jevn flyt og gi lang ledetid for varene.
Venting	Tid tapt mellom prosesser i produksjon og medfører tapt arbeidskraft. Kan innebære venting på varer, arbeidere, beslutninger, informasjon, etc.
Transport	Frakt av produkter fra en plass til en annen medfører økte energikostnader. En bør tilstrebe å transportere korteste vei og i nøyaktige mengder.
Overprosessering	Bygger på dårlig utnyttelse av teknologi og arbeidsteknikker som krever mer innsatsfaktorer enn nødvendig for å produsere resultatet.
Unødvendig varelager	Innebærer utstyr og materialer som ikke er nødvendig og gir merkostnader. Eventuelle feil på vil ikke oppdages før de hentes frem.
Unødvendig bevegelse	Arbeidere har bevegelsesmønstre som er ineffektivt. Bygger på dårlige arbeidsforhold.
Defekter	Medfører direkte kostnader. Må rettes opp i før en får betalt fra kunden.

Womack og Jones (2003) definerer en åttende kategori av sløsing gjennom design som ikke tilfredsstillende kundens krav eller behov. Tankegangen til Toyota utviklet seg etter hvert til et system som kalles Toyota Production System (TPS) (Forbes & Ahmed, 2011). Kjennetegnet var høy kvalitet og lave kostnader. Begrepet «Lean» ble først omtalt av Womack og Jones og bygger på TPS. Det er fokus på kundens verdi gjennom hele kjeden og i størst mulig grad eliminere ikke-verdiskapende aktiviteter. Womack og Jones definerer fem grunnleggende prinsipper for Lean, og disse er gjengitt i Tabell 3.6.

Tabell 3.6: Grunnprinsipper i Lean (Etter Womack & Jones, 2003).

<u>Nøkkelord</u>	<u>Prinsipp</u>
Verdi	Kundens verdi må være spesifisert til alle involverte. Leveransene må utføres på bakgrunn av dette fremfor hva som er enklest for den utførende part.
Verdistrøm	Hele verdikjeden for hvert produkt og tjeneste må kartlegges. Gjennom samarbeid må alle involverte tydeliggjøre verdiskapende aktiviteter og bidra til å eliminere sløsing.
Flyt	Leveransen blir mer effektiv når produktene arbeides med kontinuerlig gjennom alle ledd, med få eller ingen hindringer.
«Pull»	Innebærer evnen til å utvikle og levere kundens eksakte behov til rett tid. En skal ikke lage noe før det er behov, og da skal det lages så fort som mulig. Motstykket er masseproduksjon («push»).
Perfeksjonering	Omfatter kontinuerlig arbeid mot forbedringer i alle ledd og tilstrebe å levere et sluttprodukt med størst mulig verdi til kunden. Dette kan oppnås gjennom standardisering av prosesser.

Lean i byggebransjen blir omtalt som Lean Construction. Ifølge Ballard & Howell (1998) har en to ulike tilnærminger å implementere Lean i byggenæringen. Første mulighet er å kreve større verdiskaping i fabrikk, hvor forholdene er bedre egnet for Lean. Andre tilnærming er å utvikle teknikker som tilpasser seg etter byggebransjens dynamiske produksjon. For å få til det pekes det på behov for standardisering.

5S

5S er et fem-stegs planleggingsverktøy som stammer fra japanske tilnærminger for å forbedre operasjoner (Forbes & Ahmed, 2011). Verktøyet tatt i bruk vil bidra til å organisere produksjonsforholdene og legge til rette for innføring av Lean. Begrepet 5S kommer fra de japanske ordene «Seiri», «Seiton», «Seiso», «Seiketsu» og «Shitsuke». I oversettelsen til norsk blir ordene sortere, systematisere, skinne, standardisere og sikre benyttet.

A3

A3-rapporter er et system for å implementere kontinuerlige forbedringer i organisasjonen (Forbes & Ahmed, 2011). Begrepet A3 kommer av at rapporten har dette formatet. Dette vil føre til at informasjon enkelt kan viderefremmes, og eventuelle problemer eller beslutninger kan løses raskt og samtidig på et godt grunnlag. Forbes & Ahmed hevder at de vanligste bruksområdene for A3-rapporter er til problemløsning, komme med forslag eller rapportere status.

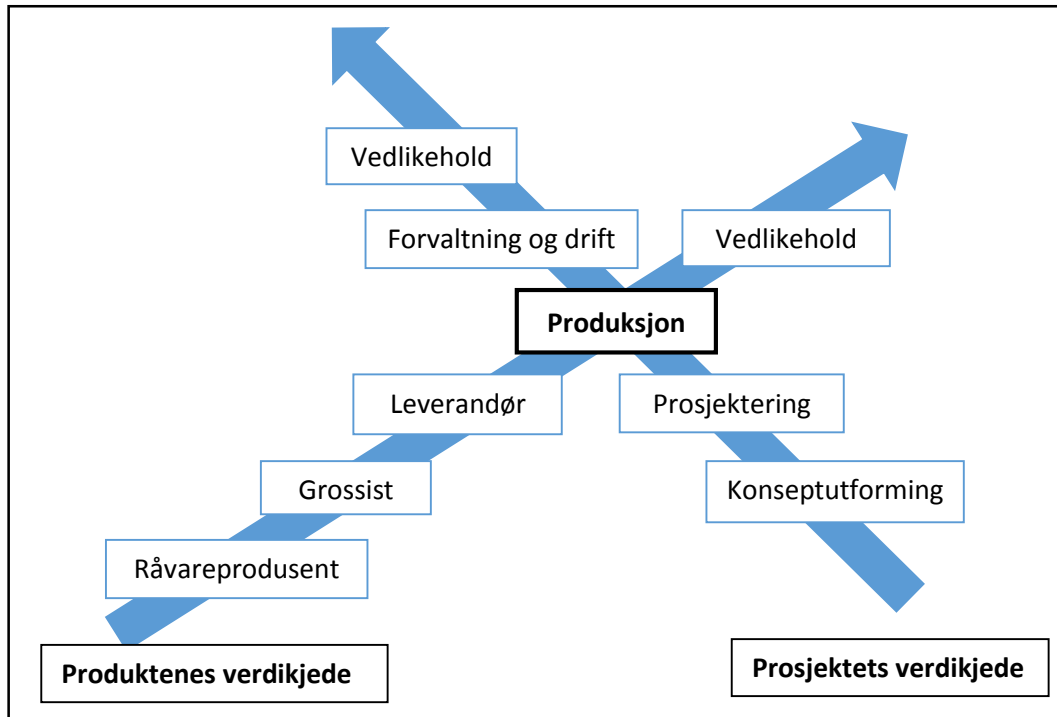
Supply Chain Management

I beskrivelsen av de generelle forholdene i byggenæringens verdikjede, trekker Vrijhoef og Koskela (2000) frem store mengder sløsing og problemer. Flesteparten av problemene har årsak i andre ledd i verdikjeden når de forekommer. Tankesettet er foreldet og flere aktører er for opptatt av seg selv. Christopher (1992) gir følgende definisjon av Supply Chain Management (SCM): «*The management of upstream and downstream relationships with suppliers and customers to deliver superior customer value at less cost to the supply chain as a whole.*»

Schmidt (2009) peker på at det ikke finnes en omforent norsk oversettelse av «supply chain». En direkte oversettelse vil være «leveransekjede», men «verdikjede» er det mest brukte begrepet og vil benyttes videre i oppgaven.

SCM handler om å fokusere på hele verdikjeden som én samlet enhet, og søke etter forbedringer i alle ledd (Vrijhoef & Koskela, 2000; Christopher, 1992; Cox, 1999). Kjernen ligger i å levere feilfrie produkter på en effektiv måte. Det å unngå sløsing og opparbeide partnerskap på alle nivåer i kjeden, er viktige forutsetninger (Cox). Videre blir det uttalt at de selskapene som klarer å forbedre den totale ytelsen på sikt, vil kunne levere større verdi til kunden. Effektive og reaktive verdikjeder vil overleve markedet da en etter hvert vil måtte konkurrere mot andre verdikjeder fremfor mot andre selskap. Apleberger et al. (2007) trekker frem sammenhengen mellom SCM og effektiv logistikk, da nært samarbeid vil sikre god informasjonsflyt.

Verdikjeden i byggenæringen i de aller fleste tilfeller vil være midlertidig (Vrijhoef & Koskela, 2000). Produksjon av unike prosjekter og midlertidige prosjektorganisasjoner vil gi liten kontinuitet i verdikjeden. Dette gjelder spesielt når prosjektet endres i design og oppbygning fra gang til gang, og det forekommer liten repetisjon. Det som går igjen i enkelte typer prosjekter er prosesser. Apleberger et al. (2007) og Cox (1999) peker også på dette. Tilnærmingene er enklere ved prosessbaserte fremfor prosjektbaserte verdikjeder. Prosjekter varierer fra gang til gang, mens prosessene i stor grad er de samme. Cox hevder at dette har ført til at flere og flere entreprenører fokuserer på å definere hvilken kjernekompetanse de ønsker å inneha og hva de ønsker å outsource. Figur 3.5 illustrerer produktets verdikjede opp mot prosjektets.



Figur 3.5 - Produktenes verdikjede opp mot prosjektets verdikjede (Etter Apleberger et al. 2007).

For å skape merverdi og kontinuerlige forbedringer i verdikjeden er innovasjon viktig (Cox, 1999). Cox peker på at en bør ha forståelse av hvordan innovasjon vil påvirke kjeden slik at en oppnår ønskede utfall. Først kan innovasjonen utkonkurrere nåværende eller potensielle aktører. Videre kan den hindre integrasjon fremover eller bakover i kjeden av leverandører eller kunder. Til slutt er det viktig at verdien gagnar innovatøren og ikke andre ledd i kjeden.

Vrijhoef & Koskela (2000) identifiserer fire ulike perspektiver på SCM i byggebransjen. Perspektivene tar for seg om det rettes fokus mot byggeplass, verdikjeden eller kombinasjoner av disse. Disse er gjengitt i tabell Tabell 3.7.

Tabell 3.7: Ulike perspektiver i Supply Chain Management (Vrijhoef & Koskela, 2000).

Perspektiv 1:

Fokus: Grensesnittet mellom verdikjeden og byggeplassen.

Mål: Redusere kostnader og tid for aktivitetene på byggeplassen. Sikre jevn flyt av materialer og arbeidskraft på byggeplass for å unngå stans i produksjon. Dette kan oppnås ved å fokusere på relasjonsbygging mellom prosjektleder og direkte leverandører.

Perspektiv 2:

Fokus: På selve verdikjeden.

Mål: Redusere kostnader gjennom logistikk, produksjonstid og varelager.

Perspektiv 3:

Fokus: Flytte aktiviteter vekk fra byggeplass og bakover i verdikjeden. Dette er gunstig hvis en ønsker å unngå dårlige produksjonsforhold på byggeplass, eller å oppnå samtidigheter mellom aktiviteter som ikke er mulig gjennom tradisjonell bygging.

Mål: Redusere totale kostnader og tid for gjennomføring. Prefabrikasjon blir nevnt som en mulighet.

Perspektiv 4:

Fokus: Integrere og forbedre styring i både verdikjede og på byggeplass.

Mål: Bygge langsiktige partnerskap, og erstatte midlertidige verdikjeder med permanente ved å benytte faste byggesystemer. Involvere leddene bakover i kjeden og utnytte kompetansen.

3.2 Flerbrukshall som bygningstype

3.2.1 Karakteristikk av flerbrukshall

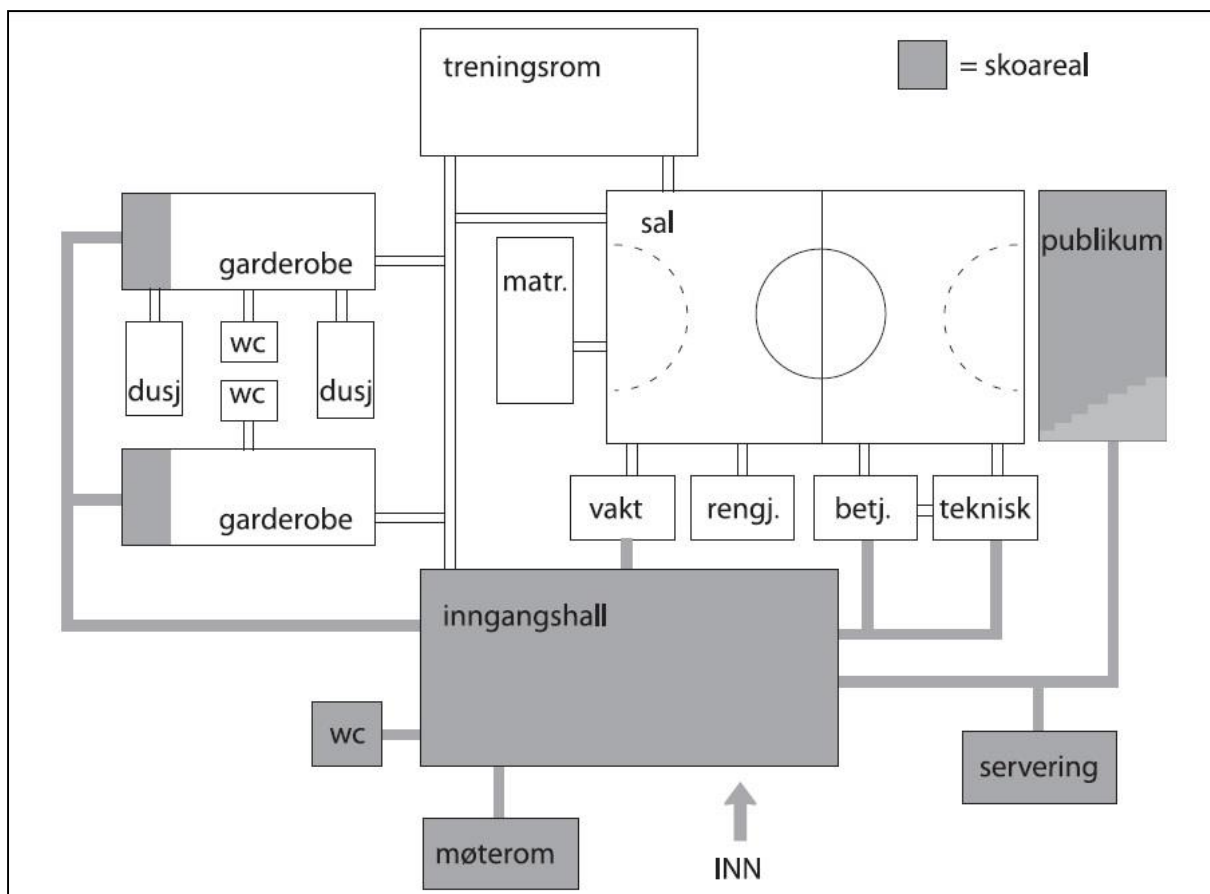
Idrettshaller skiller seg fra andre bygg ved at det er et prosessanlegg. Det kan derfor ikke sammenlignes med boligbygging og husterminologi. En bedre sammenligning vil være industribygg eller lagerbygg.

Flerbrukshall – Hall som kan brukes vekselvis til ulike idrettsaktiviteter uten klargjøring/omgjøring med tap av brukstid (løpende vekselbruk). Parallell sambruk av ulike aktiviteter inngår også i dette begrepet. (Kulturdepartementet, 2005)

En hall defineres gjerne som et rom som har god takhøyde, store spenn og frie flater. En flerbrukshall trenger derfor egentlig ikke å bestå av mer enn en aktivitetsflate omsluttet av tak og fire vegger. Likevel har vi ofte ytterlige forventninger over hva som bør inngå av fasiliteter i en idrettshall. *SINTEF Byggforsk* (2009) anvisning om idrettsanlegg og flerbrukshaller grupperer rommene og lokalene inn etter fire hovedfunksjoner:

- *Aktivitetsrom (idrettshall og treningslokaler)*
- *Servicerom (omkladningsrom, sanitærom, materiellrom, møterom mv.)*
- *Publikumslokaler (inngangshall, pauserom/kafeteria, tribuneanlegg, garderobe, toaletter mv.)*
- *Driftslokaler (tekniske rom, vaktrom, personalrom, renholdsrom og lager)*

Listen over tilleggsarealer er ikke endelig. Arealene som er nevnt ovenfor er av direkte relevans til idrettshallen. I tillegg finnes det også eksempler der idrettshaller samlokaliseres og har sambruksløsninger med andre offentlige eller private brukergrupper. Dette kan eksempelvis være undervisningsbygg, næringsbygg, boliger, kulturhus, treningssenter, etc. I henhold til NS3457 – *Klassifisering av byggverk* skal bygg med flere funksjoner klassifiseres etter hvilke funksjoner som har størst andel av bruksareal (Standard Norge, 2013). Standarden opererer med tre ulike nivåer i klassifiseringen. Første nivå skiller mellom bygningens hovedfunksjon. Deretter deles det inn etter bygningsgruppe, før det til slutt skilles mellom ulike bygningstyper. Idrettshall er kategorisert på tredje nivå med nummer 651. Videre er den kategorisert under 65: *Idrettsbygning* og 6: *Undervisnings-, idretts- og kulturbygning*. Figur 3.6 illustrerer et eksempel på et funksjonsskjema og romprogram for en typisk flerbrukshall.



Figur 3.6 - Funksjonsskjema og romprogram for en typisk flerbrukshall (Kulturdepartement, 2005).

I tillegg til å ta stilling til hvilke tilleggsarealer hallen bør ha, må også størrelsen på selve aktivitetsflaten bestemmes. En må da se på hvilke brukere og behov som skal tilfredstilles. De primære brukerne vil være grupper og lag innad i de ulike særvidrettene. Andre brukere vil kunne være kommunen, fylkeskommunen eller private leietakere. Tabell 3.8 gjengir den mest vanlige flaten for flerbrukshaller.

Tabell 3.8: Flatestørrelse og muligheter for flerbrukshaller (Etter SINTEF Byggforsk, 2009).

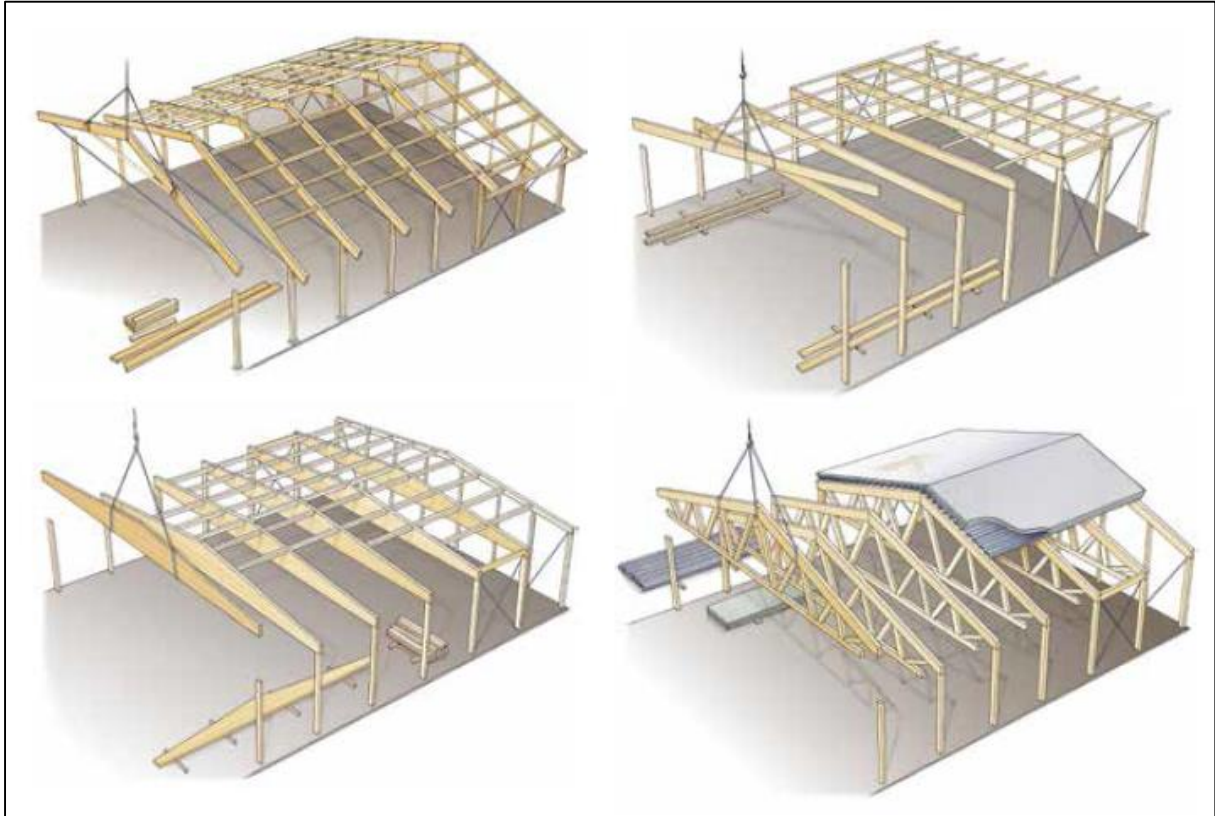
<u>Flatestørrelse:</u>	<u>Kan gi plass for:</u>
23 m x 44 m	Håndball
	Minihåndball (tre baner á 12 m x 20 m)
	Basketball (matchbane og tre treningsbaner)
	Volleyball (matchbane og tre treningsbaner)
	Badminton (matchbane og syv treningsbaner)
	Tennisbane
	Turn

Mulige byggesystemer

Det er flere måter å bygge opp en idrettshall. Her blir to forskjellige konsepter kort presentert. Begge løsningene vil kunne tilfredstille kravet om en spilleflate på 23 m x 44 m.

Utkragingskonstruksjon

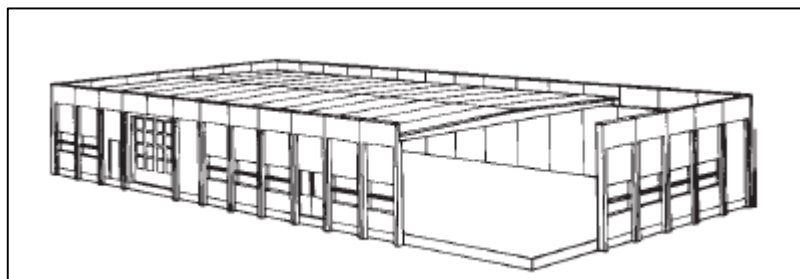
I utkragingskonstruksjoner benytter en innspente søyler som forbindes momentstivt i fundamentene. Søylerne vil være bærende for takkonstruksjonen. Treleddstakstoler, dragere eller fagverksbjelker stiver av bygget. Alternative systemer er illustrert i Figur 3.7.



Figur 3.7 – Alternative utkragingskonstruksjoner (Martinsons AB, u.d.).

Skivekonstruksjon

Ved en skivekonstruksjon fordeles lastene gjennom horisontale skiver. Takelementene og dekkene vil fungere som stive skiver i bygget. *Betongelementforeningen* (2010) trekker frem «bokssystemet» som en spesiell variant av skivesystemet, som normalt brukes for industribygg. De stående elementene vil danne opplegg for takkonstruksjonen. Figur 3.8 illustrerer «bokssystemet».

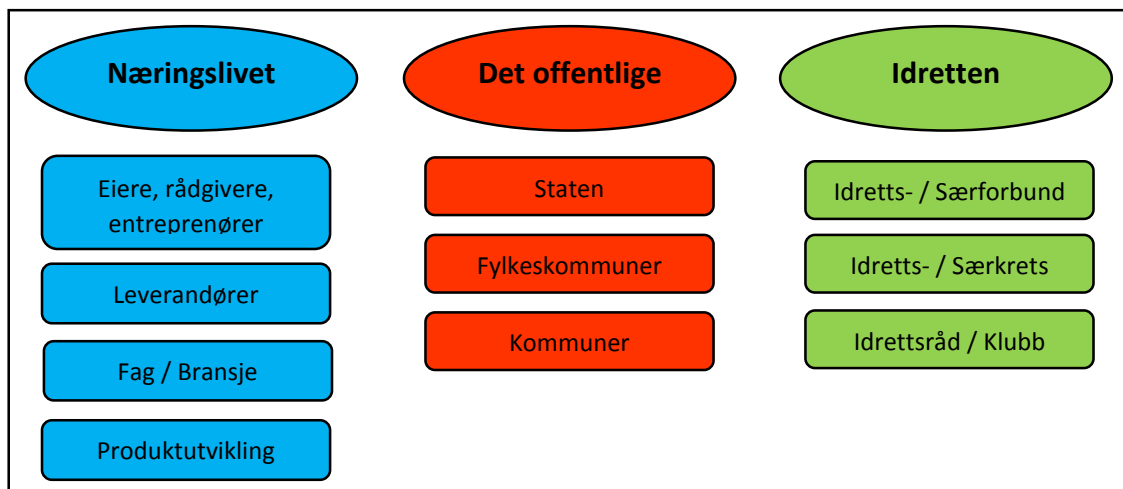


Figur 3.8 - «Bokssystem»: Gir frie spenn og byggehøyde (SINTEF Byggforsk, 1994).

3.2.2 Verdikjeden i et flerbrukshallprosjekt

Ved planlegging, bygging, drift og vedlikehold av et idrettsanlegg er det mange ulike aktører involvert. Alle har forskjellige interesser som må tas hensyn til. Det offentlige har en viktig rolle i prosjektet i form

av økonomisk støtte, og kommunene er også ofte prosjektets byggherre. Det spesielle ved bygging av idrettshaller er at det er mange ulike idretter og brukere som skal tas hensyn til. Dette kan føre til at beslutninger tas på et sent tidspunkt og kan medføre endringer i løpet av prosessen. Figur 3.9 viser forskjellige aktører som er av betydning.



Figur 3.9 - Ulike aktører med interesse i et flerbrukshallprosjekt (Bruland, 2014).

Faktorer som kunnskap, teknologi, økonomi, politikk og organisering vil være avgjørende for det endelige resultatet. Det offentlige legger grunnlaget for gjennomføringen og utfallet i form av lover, forskrifter, politiske bestemmelser, økonomiske støtteordninger, m.m. I regjeringen er det kulturdepartementet som er ansvarlige for de idrettspolitiske bestemmelsene. Idretten er i stor grad bygget på frivillighet, mens næringslivet vil være styrt av markedssituasjonen. Felles for både næringslivet og for særrettene er at de begge er opptatt av egen utvikling. For å kunne oppnå de statlige idrettspolitiske målene, og realisere flere idrettsanlegg er en avhengig av et effektivt samspill på tvers av aktørene som er nevnt ovenfor.

Kommunene er den viktigste offentlige bidragsyteren i det å skape gode rammebetingelser for den lokale idrettsaktiviteten (Meld. St. 26, 2011). De er ansvarlige for fordeling av tilgjengelige ressurser og i å utvikle disponible arealer. Stortingsmeldingen påpeker videre at kommunene ikke har noen lovpålagt oppgave i å tilrettelegge for idrett. Selv om kommunene blir tildelt betydelige statlige økonomiske midler til rehabilitering og utvikling av nye idrettsanlegg, må kommunene og idrettslagene stå for den største delen av investeringen selv. God kommuneøkonomi og kommunale prioriteringer er derfor avgjørende for å sette i gang nye investeringer som omfatter idrettsanlegg.

3.2.3 Utforming og økonomi

Veilederen til Kulturdepartementet (2005) om planlegging, bygging, drift og vedlikehold av flerbrukshaller tar for seg flere ulike temaer og har flere målgrupper. Den kommer med innspill knyttet til organisering, utredning og programmering, og viser til eksempler på ulike løsninger. Videre omhandler den detaljerte krav og råd knyttet opp mot spesifikke ytelseskrav til bygget og installasjoner. I mange byggeprosjekter ligger dette dokumentet til grunn i kravspesifikasjonen i anbudsdokumentene.

Et annet aspekt som i stor grad påvirker flerbrukshallers utforming er tildeling av spillemidler. De fleste prosjekter er helt avhengig av å motta spillemidler for å kunne bli realisert. Spillemidlene kommer fra overskuddet til *Norsk Tipping AS*. For å motta støtte fra spillemidlene, må byggherren sende søknad til

kulturdepartementet. Retningslinjene for søknaden finner en utgitt i kulturdepartementets *bestemmelser om tilskudd til anlegg for idrett og fysisk aktivitet*. Her finner en informasjon om hvilke anlegg som kan søkes om tilskudd til, hvem som har anledning til å søke, hva som er tilskuddsberettiget og kravene som må være oppfylt for å være søknadsberettiget. Kravene er ganske detaljerte og spesifiserte, men sikrer dermed også at prosjektet blir grundig planlagt og dokumentert. For flerbrukshaller er følgende tilskuddssatser satt (Kulturdepartement, 2014):

Aktivetsflate 16 x 24 m

Tilskudd: 1/3 av godkjent kostnad inntil kr 4 000 000. Beløpet inkluderer to sett garderober samt styrketreningsrom og minimum 40 m² lager for idrettsmateriell.

Aktivetsflate 23 x 44 m

Tilskudd: 1/3 av godkjent kostnad inntil kr 7 000 000. Beløpet inkluderer to sett garderober samt styrketreningsrom og minimum 70 m² lager for idrettsmateriell.

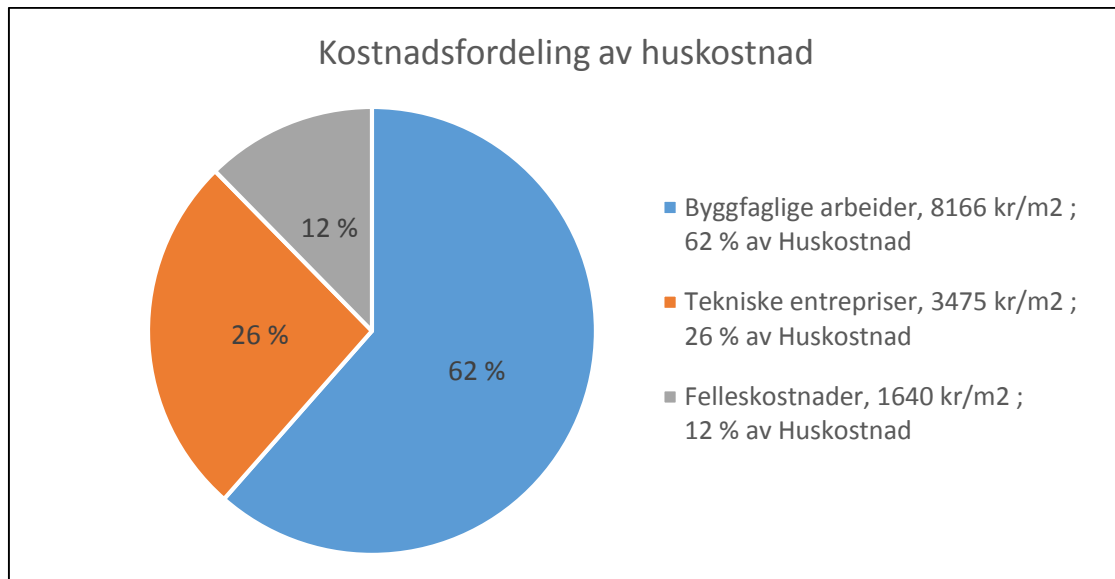
Aktivetsflate 25 x 45 m

Tilskudd: 1/3 av godkjent kostnad inntil kr 10 000 000. Beløpet inkluderer to sett garderober samt styrketreningsrom og minimum 100 m² lager for idrettsmateriell.

Andre størrelser etter særskilt vurdering av departementet.

For å avgjøre om et prosjekt er realiserbart eller ikke, må det foreligge en økonomisk plan for prosjektets totale kostnader. Her bør en vurdere tomtekostnader, planleggings- og prosjekteringskostnader, byggekostnader inkludert entreprenørens fortjeneste- og risikopåslag, samt drifts- og vedlikeholdskostnader. Dette kan ofte være en uoversiktlig prosess for byggherren og planleggingsgruppen, da de gjerne har ulike erfaringer og kunnskap fra lignende prosjekter. Det vil være naturlig å innhente informasjon fra andre kommuner og referanseprosjekter, samt benytte seg av kalkulasjonsverktøy som Holte Prosjekt, ISY Calcus eller Norsk Prisbok. Det bør etterstrebes å holde drifts- og vedlikeholdskostnadene lave gjennom prosjektets levetid for å sikre levedyktighet. Dersom det skal søkes om spillemidler som del av finansieringen, foreligger det også krav til et anleggsregnskap (Kulturdepartement, 2014).

Figur 3.10 angir kostnadsfordelingen av huskostnaden til et referansebygg for flerbrukshaller og er basert på Norsk Prisbok (2014). Referansebygget er en enkel flerbrukshall på 2 130 m² BTA. Totalt er huskostnaden på 13 281 kr/m² BTA. Referansekostnadene for aktuelle bygningsdelene (bæresystem, yttervegg, dekker og tak) er gjengitt i Tabell 3.9. Totalt utgjør de 40,7 % av huskostnadene.



Figur 3.10 - Kostnadsfordeling av huskostnad for referansebygg for flerbrukshaller (Norsk Prisbok, 2014).

Tabell 3.9: Referansekostnader for ulike bygningsdeler (Norsk Prisbok, 2014).

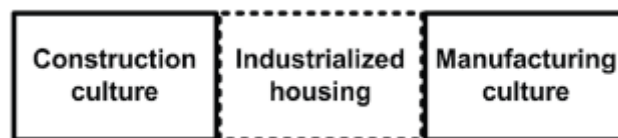
<u>Bygningsdel</u>	<u>Kostnad [kr/m² BTA]</u>	<u>Andel av huskostnad [%]</u>
Bæresystem	918	6,9
Yttervegger	1 488	11,2
Dekker	1 836	13,8
Yttertak	1 175	8,8
Sum	5 417	40,7

3.3 Prefabrikasjon

3.3.1 Definisjon og karakteristik

Underkapittel 1.5.1 tok for seg ulike begreper som omhandler temaet prefabrikasjon. Definisjonen som ligger til grunn i denne oppgaven gjengis: «*En produksjonsprosess hvor verdiskapingen forekommer tidligere, og flyttes til et miljø som legger til rette for effektiv produksjon gjennom fabrikking og sammensetning av komponenter, elementer eller moduler.*»

Byggebransjen har utviklet seg med tiden til å basere all produksjon på plassbygging til å inkludere prefabrikkerte elementer og ferdige moduler (Berg, 2008). Berg trekker frem at graden av industrialisering på byggeplass er flytende, men peker på at det fortsatt er behov for maskiner og mennesker. Höök (2008) viser også til dette. Selv om en i stor grad overfører teknikker og kultur fra fabrikkproduksjon vil det alltid være behov for tradisjonell og prosjektbasert bygging. Höök ser på bygging med prefabrikasjon som grensesnittet mellom byggekultur og produksjonskultur (Figur 3.11).



Figur 3.11 - Prefabrikasjon: Grensesnittet mellom to kulturer (Höök, 2008).

For å vurdere graden av industrialisering har Apleberger et al. (2007) utviklet en modell hvor åtte vesentlige forhold er karakterisert (Tabell 3.10). Forholdene blir målt fra en skala fra 0 til 4 etter hvilken grad de er implementert. På denne måten kan en sammenligne ulike industrialiserte konsepter.

Tabell 3.10: Åtte vesentlige forhold knyttet til industrialisering (Apleberger et al. 2007).

1.	Planlegging og kontroll av prosessen
2.	Tekniske system
3.	Bygningsdeler produsert «off-site»
4.	Langsiktige relasjoner mellom aktørene
5.	Logistikk integrert i byggeprosessen
6.	Kundefokus
7.	Bruk av IKT
8.	Systematiske evalueringer av måloppnåelse og erfaringstilbakeføring

I byggenæringen er dagens marked svært variert. Entreprenører er avhengig av kontinuitet og forutsigbarhet i prosjektene. For å få til dette må de kunne kontrollere et bredt spekter av plassbyggingskompetanse for å overleve (Berg, 2008). Ved å inneha evnen til å utføre mange typer prosjekter mister en spisskompetanse blant fagfolkene. Videre peker Berg på at bedrifter må ha egne håndverkere for å dekke det som trengs i et normalår, og leie inn ekstra folk for å ta toppene. Ved god tilgang på arbeidskraft velges gjerne plassbygging, mens en i motsatt fall i større grad vil velge prefabrikkerte løsninger. De fleste firmaer har sin egen strategi om hvilken kompetanse de ønsker å satse på, og hva som eventuelt er nødvendig å leie inn.

3.3.2 Forutsetninger

Standardisering

Flere forfattere (Egan, 1998; Berg, 2008; Gibb, 2001; Schmidt, 2009; Arbulu et al. 2003) trekker frem behovet for standardisering i byggenæringen. Gibb (2001) definerer standardisering som: «...utstrakt bruk av komponenter, metoder eller prosesser som kjennetegner hyppig behov, repetisjon, forutsigbarhet og har bakgrunn fra vellykket praksis.»

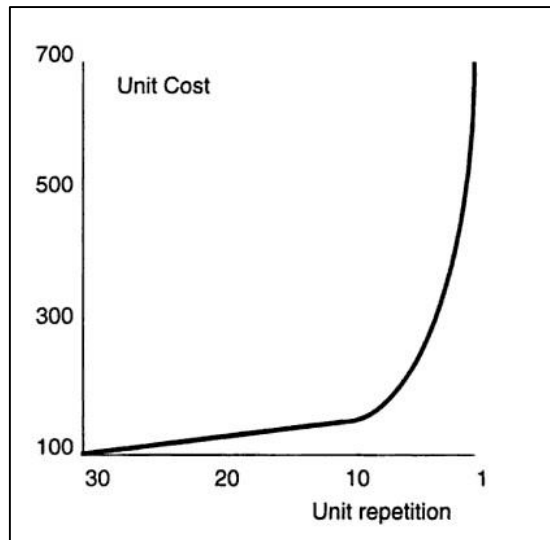
En gjennomsnittlig bil har omtrent 3 000 deler. Til sammenligning har et hus ca. 40 000 (Egan, 1998). Det er et stort potensial for en mer systematisert og integrert prosess som merkbart kan redusere sløsing og bedre kvaliteten. Egan viser til studier fra Skandinavia og USA som indikerer gode forbedringsmuligheter. 30 % av arbeidet er omarbeid, kun 40-60 % av arbeidet er effektivt, ulykker kan utgjøre 3-6 % av prosjektkostnadene og 10 % av materialene ender opp som avfall. Opp mot 80 % av innsatsfaktorene i et prosjekt er gjentakende, og prefabrikasjon blir nevnt som en tilnærming til økt standardisering. Tabell 3.11 oppsummerer noen av fordelene ved økt standardisering som Egan viste til.

Tabell 3.11: Fordeler ved økt standardisering (Egan, 1998).

- Reduksjon i produksjonskostnader (I hele verdikjeden)
 - Kortere byggetid
 - Mindre behov for høy ferdighet blant arbeidere
 - Bedre kvalitet
 - Færre grensesnitt
 - Færre toleranseproblemer
 - Mer effektiv forskning og utvikling
 - Økt forutsigbarhet
-

Arbulu et al. (2003) og Berg (2008) trekker også frem at det er for mange produkter på markedet. Ifølge Arbulu et al. vil standardisering av produkter og prosesser bidra til å redusere variabiliteten i verdikjeden. Dette vil redusere risikoen for at byggherren vil gjøre endringer gjennom prosjektet. Videre anbefales det at antall kombinasjoner ikke bør overstige 100-150 sammensetninger. Jo færre kombinasjoner en benytter seg av, vil en kunne spare tid gjennom prosjektering, bestilling og gjennomføring.

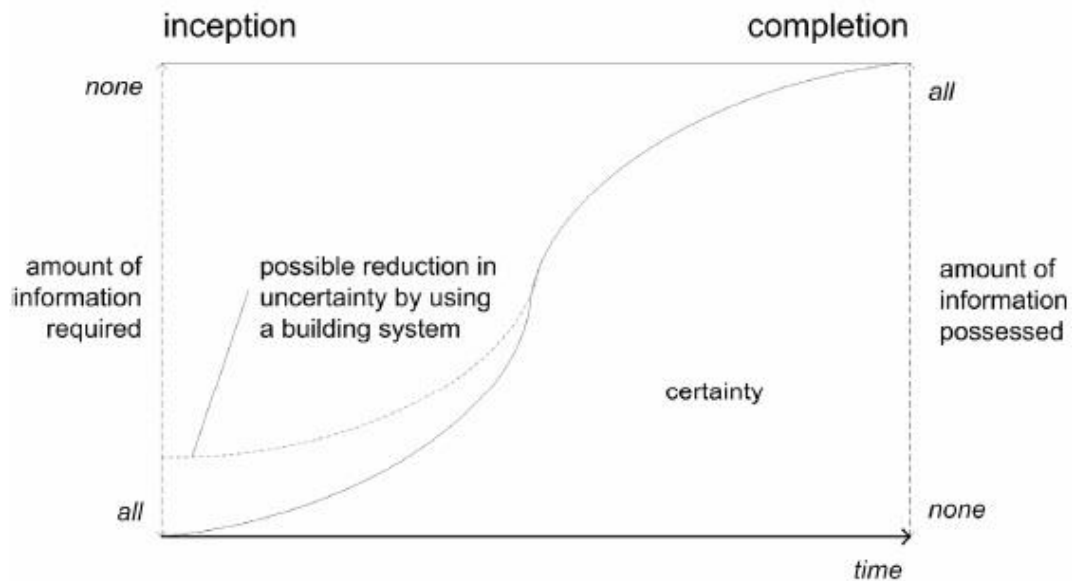
Gibb (1999) og Berg (2008) peker også på den nære sammenhengen mellom prefabrikasjon og standardisering. Det må legges til rette for å produsere elementer som kan benyttes på tvers av prosjekter slik at de kan produseres i store serier. Store serier vil føre til gjentakelseeffekter og stordriftsfordeler. Gibb viser til hvordan kostnadene reduseres etter hvert som enhetene repeteres og dette er illustrert i Figur 3.12. Schmidt (2009) trekker frem at standardisering ofte er et problem knyttet til boligbygging da kunden ofte har ulike preferanser. Standardisering blir sett på som motsetningen til det individuelt tilpassede, og blir ansett som mindre attraktive løsninger.



Figur 3.12 - Mulig kostnadsreduksjon ved bruk av gjentakende elementer (Gibb, 1999).

Standardisert byggekonsept

Schmidt (2009) opplyser om at industrialiseringen har kommet lengst i de prosjektene som har en rendyrket strategi, og har begrensede valgmuligheter og fleksibilitet. Det handler om å skape riktig prosjekt første gang for så å spesialisere det. Berg (2008) trekker også frem fordeler med en gjennomgående forretningsstrategi og viser til redusert behov for opplæring, tilrettelegging for erfaringsutveksling mellom prosjekter, gjentakelseeffekter og gunstige avtaler på leveranser. Dette fører til at en oppnår god kontroll over planlegging, tidsforbruk, kostnader og kvalitet. Videre blir det nevnt at bedriftene nødvendigvis ikke satser på de samme byggesystemene, men erfarer at det er effektivt å holde seg til ett system fremfor å skifte til det systemet som teoretisk sett er mest effektivt. Söderholm (2010) og Höök (2008) viser også til fordeler ved bruk av et fast byggesystem. Höök peker på at standardiseringer i hele organisasjonen er viktig. Det vil sørge for bedre forutsigbarhet gjennom samme type prosjekter, samme materialer og samme prosesser. Risikoen for feil vil også reduseres, da en lettere kan oppfatte når det er avvik i prosessene. Söderholm (2010) viser til at informasjonsgrunnlaget mellom hvert prosjekt forsterkes. Dette kan gi mindre usikkerhet, lavere prosjekteringskostnader og en effektiv gjennomføring. Dette er illustrert i Figur 3.13.



Figur 3.13 - Reduksjon i usikkerhet i startfasen som følge av fast byggesystem (Söderholm, 2010).

Tidlig tilrettelegging

Flere forfattere (Gibb, 1999; Berg, 2008; Pasquire & Connolly, 2002) påpeker at det er viktig å legge til grunn for prefabrikasjon tidlig i prosessen. Gibb poengterer at en må se på innvirkningen av prefabrikasjon i et helhetlig perspektiv, og ikke bare se på et enkelt element. Leverandører må involveres tidlig da det ofte er de som kjenner systemet best. Videre blir det trukket frem at de prosjekterende må utnytte fordelene ved å designe bygget med flere like elementer, og i størst mulig grad unngå elementer som er komplekse og spesialiserte. Dette er noe også Berg trekker frem som viktig. Berg hevder at det kreves ekstra innsats i planleggingen og prosjekteringen for å utnytte fordelene ved prefabrikasjon. Gevinsten forsvinner fort dersom det ikke planlegges systematisk. Gjennom god planlegging tidlig vil byggeprosessen forenkles videre da en er rustet til å håndtere eventuelle problemer, og har mulighet til å rette fokus mot andre forhold (Gibb).

God logistikk

Områder som spesielt er viktig og som Berg (2008) trekker frem er styring av logistikk og transport. Det må ligge klare planer for hvordan elementene skal transporteres og hvordan de skal håndteres på byggeplass. Eventuelle mellomlagringer bør også vurderes. Elementene må leveres til rett tid for å sikre jevn flyt i montasjen. For å få til dette bør det involveres en kompetent, fast ledelse samt en arbeidsstyrke med erfaring.

Samarbeid i verdikjeden

Etter å ha studert ulike industrialiserte konsepter har Schmidt (2009) identifisert flere forhold som kan forklare suksess. Nært samarbeid mellom arkitekt og produsent om utviklingen av produktet er noe som går igjen i flere studier. God kommunikasjon, oppmerksomhet mot hele verdikjeden, og et langsiktig samarbeid er også forhold som har gitt resultater. Videre vil det være viktig å arbeide langsiktig med kompetansebygging og forskning i samarbeid med bransjen, universiteter og høyskoler. Pasquire & Connolly (2002) nevner kontinuerlig strebing etter forbedringer og god kommunikasjon i verdikjeden som en vesentlig faktor. En prosjektleder blir ofte vurdert etter evnen til å håndtere problemer fremfor evnen til å hindre dem. Gode relasjoner i kjeden vil gi bedre tillit og redusert behov

for å kontrollere og følge opp andres arbeid. I byggebransjen er det stor mangel på tillit. Den tradisjonelle måten å håndtere risiko på er ifølge Pasquire & Connolly å legge inn buffere for tid, kostnad og materialer, for så å drive med brannslukking i ettertid. Det forventes at det skal forekomme feil. Jo flere underentreprenører som involveres, jo større blir påslaget inn i kontrakten.

Øvrige forutsetninger

Funnene til Schmidt om fokus på verdikjeden stemmer også godt overens med resultatene som Arge et al. (2008) viste til i et studie av 15 norske boligprosjekter. Et av prosjektene kom bra ut med høy kvalitet til lav pris. Faktorene som ble antatt å være av betydning var:

- Dyktige og erfarne prosjekt- og byggeledere.
- En produkttype (rekkehus).
- Arkitekter som kan skape god arkitektur, men også kan tenke rasjonelle byggemåter.
- Et godt innarbeidet og effektivt system for gjennomføring av prosjektene.
- Gjennomføringssystemet fravikes ikke.
- Boligkjøperen kan kun påvirke innvendige arbeider de selv er pålagt å utføre.
- Alltid byggherrestyrte delte entrepriser.

I beskrivelsen av hvilke prosjekter som er egnet for prefabrikasjon uttaler Gibb (1999) at hvert prosjekt bør vurderes etter sine rammer. Kundens mål og behov for prosjektet bør være i fokus. Prefabrikasjon blir trukket frem som gunstig hvis kunden ønsker å dra fordel av tidlig overlevering. Lædre (2009) viser til eksempel om at prosjektet kan være tidfestet til et spesielt idrettsarrangement eller lignende. Videre hevder Gibb at prefabrikasjon kan være egnet hvis kunden er kjent med systemet eller ønsker høy forutsigbarhet i prosjektet. Det er fordel at løsningene som velges kan overføres til andre bygg. Ifølge Berg (2008) må prosjektet må være egnet til konseptet, og ikke omvendt.

Berg (2008) og Gibb (1999) påpeker at en også bør vurdere forholdene ved byggeplassen. Ifølge Berg kan bruk av standardiserte løsninger komme i konflikt med reguleringsplaner. Dette kan være byggehøyder, byggegrenser, krav til parkeringskjeller, utformingskrav, etc. Videre trekker han frem forhold som topografi, støy, infrastruktur og grunnforhold som begrensninger for industrialisert bygging. Gibb påpeker at tomtens geografiske plassering vil være av betydning. Her vil forhold som tilgjengelig arbeidskraft, reisetid for arbeidere og avstand til nærmeste fabrikk/leverandør være av betydning.

For prosjekter som ikke er egnet for prefabrikasjon, viser Gibb (1999) til situasjoner der byggherren ikke ønsker å låse designet på bygget. Prosjekter hvor det er liten tid til prosjektering før bygging kan derfor være uegnet. Berg (2008) hevder også det samme og trekker frem fravær av improvisasjon og tilpasninger som en forutsetning for industriell bygging. Gibb fraråder videre å benytte prefabrikasjon hvis byggherren har liten erfaring, hvis prosjektet har liten grad av gjentakelse eller om kostnadene knyttet til transport blir for omfattende.

3.3.3 Innvirkning på byggeprosessen

Gibb (1999) anbefaler å produsere så mye av bygget som mulig på en plass hvor miljøet er best egnet med tanke på sikkerhet og effektivitet. Prefabrikering muliggjør at elementer kan produseres før det er behov for dem på byggeplass. Dette gir økt forutsigbarhet for alle aktører. Gibb (1999) peker på at flere prosjekterende bare ser på kostnadene knyttet til selve elementet, og ikke på hvilken innvirkning det har på andre forhold i byggeprosessen. Forhold som er studert her i oppgaven er kostnader, tid,

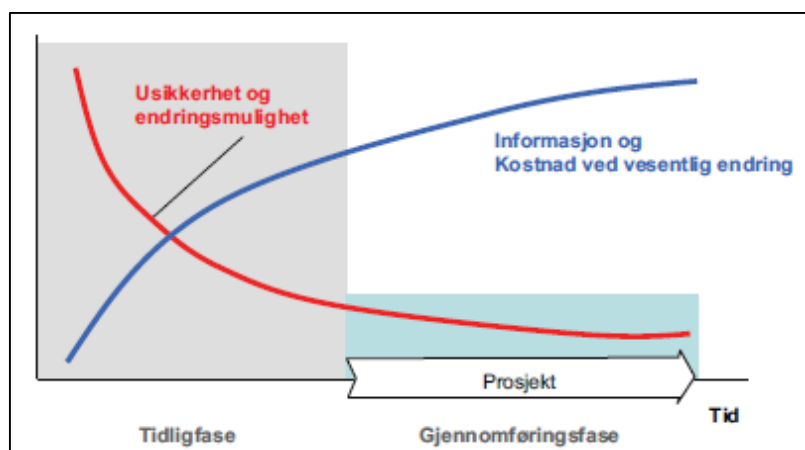
kvalitet, ytre miljø, SHA, logistikk og transport. Det er viktig å påpeke at disse forholdene vil være gjensidig avhengig av hverandre. Det må derfor foretas en helhetlig vurdering fremfor å studere dem etter individuelle forhold.

Kostnad

Det er enighet om at prefabrikasjon vil medføre reduserte kostnader (Tam et al. 2007; Gibb, 1999; Pasquire & Connolly, 2002). Gibb peker på at det er behov for å studere helheten fremfor å sammenligne kostnader knyttet til en spesifikk bygningsdel. Sammenligner en med kostnadene knyttet til produksjon i fabrikk vil fabrikkens faste utgifter og transportkostnader være inkludert. Ved tradisjonell bygging blir kostnadene for utstyr- og maskinleie ofte ikke vurdert i samme pakke, men inngår heller i posten for rigg og drift. Byggesystemets påvirkning på andre forhold som forkortet byggetid, potensielle kvalitetsforbedringer, sikkerhet, etc. blir som oftest heller ikke vurdert (Gibb). Gibb og Isack (2003) trekker frem at kostnadene for arbeidskraft er høyere på byggeplass enn i industrien. Det vil derfor være gunstig å flytte verdiskapningen over til fabrikk.

Gibb (2001) viser til at produsentene har god innsikt i markedet. I gode tider hvor det finnes mange oppdrag, kan derfor leverandørene taktisk prise elementene på et høyere nivå. Gibb hevder at det er akseptert av mange utbyggere at prefabrikerte løsninger er dyrere enn tradisjonelle. Tilbudsprisene reflekterer derfor ikke alltid de faktiske kostnadene. Videre peker Gibb på at tett samarbeid vil kunne redusere den risikoen. Edvardsen og Ramstad (2006) opplyser at elementene som produseres har lav tilpasningsdyktighet. Med varierende aktivitet og etterspørsel vil dette føre til ustabile forhold for produsenten.

Tam et al. (2007) trekker frem at en ved prefabrikasjon er nødt til å låse designe tidlig. Dette kan ses på som både en fordel og en ulempe. En oppnår større forutsigbarhet, men mister også fleksibiliteten. Dersom beslutninger blir tatt på et dårlig informasjonsgrunnlag kan dette føre til behov for endringer underveis. Av Figur 3.14 kommer det frem at vesentlige endringer sent i prosessen kan medføre store kostnader (Samset, 2007).



Figur 3.14 - Kostnader som følge av endringer i prosjektet (Samset, 2007).

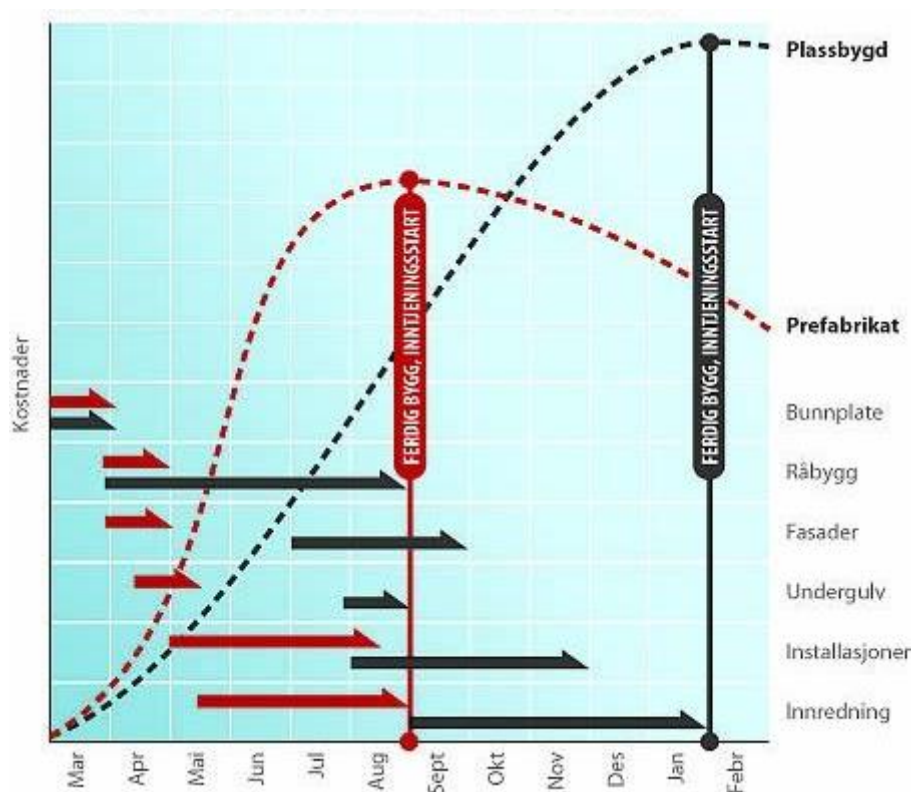
Høye kostnader tidlig i prosjektet kan være en hindring for mindre entreprenører i form av høy likviditetsbelastning (Tam et al. 2007). Gibb (1999) kommenterer også at prefabrikasjon medfører en annen kostnadsfordeling enn ved tradisjonelle prosjekter. Byggetiden vil reduseres som igjen vil medføre raskere omgjøring av byggelån til pantelån og byggherren kan raskere få inntjening fra prosjektet. Rask ferdigstillelse vil i tillegg frigjøre bemanning, og en kan sette i gang med nye prosjekter.

Lavere bemanningsbehov vil også føre til at flere entreprenørfirma kan være med å konkurrere om prosjektet. For å illustrere dette med effekten av forkortet byggetid, viser *Betongelementforeningen* (2010) til et eksempel. Eksempelet tar for seg et bygg med prosjektkostnad på 75 millioner kr og byggelånsrente på 10 %. En økning i byggetid på 6 måneder vil utgjøre rundt 4 millioner kr i byggelånsrenter for byggherren.

Bygging med prefabrikasjon vil gi andre forhold på riggen (Pasquire & Connolly 2002; Gibb, 1999). Bemanningsbehovet er mindre og det er behov for mindre utstyr og materialer på byggeplassen. Dette gir reduserte behov for velferdsbrakker og containere for lagring av verktøy og materialer. Kortere byggetid vil også gi reduserte riggekostnader. Gibb trekker frem at kostnadene knyttet til transport vil være høyere for elementer fremfor råmaterialer. Dette kan utjevnes med lavt bemanningsbehov på byggeplassen og kostnadene knyttet til transport av arbeidere. Behovet for kranbruk på byggeplassen vil også øke ved prefabrikasjon.

Tidsbruk

Flere peker på redusert byggetid som en av de største fordelene ved prefabrikasjon (Gibb, 1999; Berg, 2008; Ashworth, 2010; Pasquire & Connolly, 2002). Gibb viser til at det er muligheter for parallell bygging. Det vil si at verdiskapningen i stor grad kan foregå uavhengig av at foregående aktiviteter er ferdigbygget. En kan sette i gang produksjonen samtidig som grunnarbeidet foregår. Det er også mulig å produsere tak og dekker samtidig som veggene. På denne måten kan råbygget reises raskt og en oppnår tett bygg. Dette illustreres nærmere i Figur 3.15 hvor prefabrikasjon sammenlignes med plassbygging. Kortere byggetid vil igjen gi raskere ferdigstillelse og overlevering til kunden (Ashworth, 2010).



Figur 3.15 - Effekten av parallell bygging og reduksjon i byggetid (figur: Overhalla Betongbygg).

Produksjon i fabrikk vil også medføre høyere produktivitet (Gibb, 1999; Pasquire & Connolly, 2002; Ballard & Howell, 1998). Ifølge Ballard & Howell vil forholdene være bedre tilrettelagt for å implementere strategier fra Lean. Pasquire & Connolly hevder det er vanskelig, eller nærmest umulig å oppnå de samme resultatene ved produksjon på byggeplass. Dette kommer av fabrikkens spesialiserte arbeidere, samt gjennom gode arbeidsforhold, tilgang på moderne maskiner og kort bevegelsestid. Gibb påpeker at mye tid går tapt ved å bevege seg rundt på byggeplass og at en ikke har mulighet til å kontrollere forholdene i samme grad ved plassbygging. Videre poengteres det at arbeid ikke uten videre bare må flyttes over til fabrikk. En må også utnytte fordelene og mulighetene ved fabrikkens fasiliteter.

Pasquire & Connolly (2002) påpeker også at det vil være behov for mindre tid til kontroll og kvalitetssikring da dette kan gjøres ved produksjonslokalet. Gibb (2001) viser til god forutsigbarhet da elementene er produsert og kontrollert før det er behov for dem. Ved eventuelle feil kan en da rekke å rette dem opp uten at det blir stans i produksjonen.

Kvalitet

Kvalitet er et begrep som ofte blir blandet sammen med standard. Ingvaldsen og Edvardsen (2007) definerer kvalitet som fravær av feil og overensstemmelse i henhold til krav. «Standard» brukes ofte for å angi grad av luksus og skikkelighet, og baseres ofte på subjektive meninger. Kvaliteten kan måles ved å studere feil og mangler ved overlevering, samt utbedringskostnader i reklamasjonstiden. Dette kan være byggeskader eller avvik fra kravspesifikasjon eller teknisk standard. Ingvaldsen og Edvardsen peker på at utbedringskostnader i byggetiden er vanskelig å fange opp. 5 % av byggesektorens totale omsetning går med til å utbedre prosessforårsakede byggskader (Ingvaldsen, 2001). Dette gjelder skader etter overlevering. Inkluderes utbedringskostnader i byggetiden vil potensialet for besparelser være stort. I effektivitetsanalysen utført av Ingvaldsen og Edvardsen kom det frem at det var korrelasjon mellom feilfri bygging og høy kostnadseffektivitet. Hvorvidt prefabrikasjon er nøkkelen for bedre effektivitet kom mindre klart frem av studiet.

Holthe et al. (2007) trekker frem at det ikke finnes statistikk, og at det er gjort lite arbeid i å studere sammenhengen mellom byggkvalitet og grad av spesialisering og industrialisering. Oppfatningen er likevel at en oftere lykkes med tekniske løsninger når de produseres på fabrikk. Den kritiske fasen for byggkvaliteten ved prefabrikasjon ligger i montering og sammenkobling av elementer. Klimaskjermen er det som er mest utsatt for byggskader og utgjør rundt 60 % (Holthe et al. referert fra SINTEF Byggforsk). Når det gjelder kvalitet, nevner Holthe et al. følgende forhold som må dokumenteres:

- Bæreevne og stabilitet
- Brannmotstand
- Påvirkning på inneklima, sikring mot fukt etc.
- Lydisolasjonsegenskaper
- Varmeisolasjonsegenskaper og tetthet
- Bestandighet

Ved prefabrikasjon blir fabrikkens gode arbeidsmiljø nevnt (Pasquire & Connolly, 2002; Gibb, 1999). Pasquire & Connolly trekker frem god kontroll over produksjonen som vesentlig for kvaliteten. Mulighetene er bedre til å forbedre prosesser og produkter kontinuerlig. Risikoen for feil vil reduseres gjennom spesialiserte arbeidere og standardiserte arbeidsprosesser. Eventuelle feil vil lett kunne oppdages tidlig uten at det medfører store konsekvenser.

Det er en risiko for skader på elementer forbundet med transport og montasje (Gibb, 1999). Transportøren vil være den ansvarlige part helt frem til leveranse på byggeplass. Videre trekker Gibb frem at prefabrikasjon har en styrke når det gjelder toleranser. Toleranser er essensielt for alle typer konstruksjoner. Konsekvensen av at elementer ikke passer kan påføre prosjektet i form av omarbeid, forsinkelser eller økte kostnader. Ved å produsere elementer i fabrikk med maskinelt utstyr oppnås helt andre produksjonsforhold enn på byggeplass.

Det er viktig å unngå at materialene utsettes for regn eller snø (Edwardsen & Ramstad, 2006). Dette tar en i stor grad hensyn til ved å produsere i kontrollerte omgivelser. Det er likevel viktig at elementene får tid til å tørke skikkelig før de lukkes, da eventuell fukt i bygningen vil redusere kvaliteten. Edwardsen og Ramstad trekker frem at bygget raskt kan tettes som en av fordelene ved prefabrikasjon. Ifølge Schmidt (2009) er det få som vurderer utfordringene knyttet til klima, energi- og ressursbruk når det gjelder valg av byggeløsning. Hun oppfordrer videre at en i større grad bør tilpasse prosjektet etter klimaet det skal plasseres i, og ta hensyn til snø, nedbør og kulde.

Ytre miljø

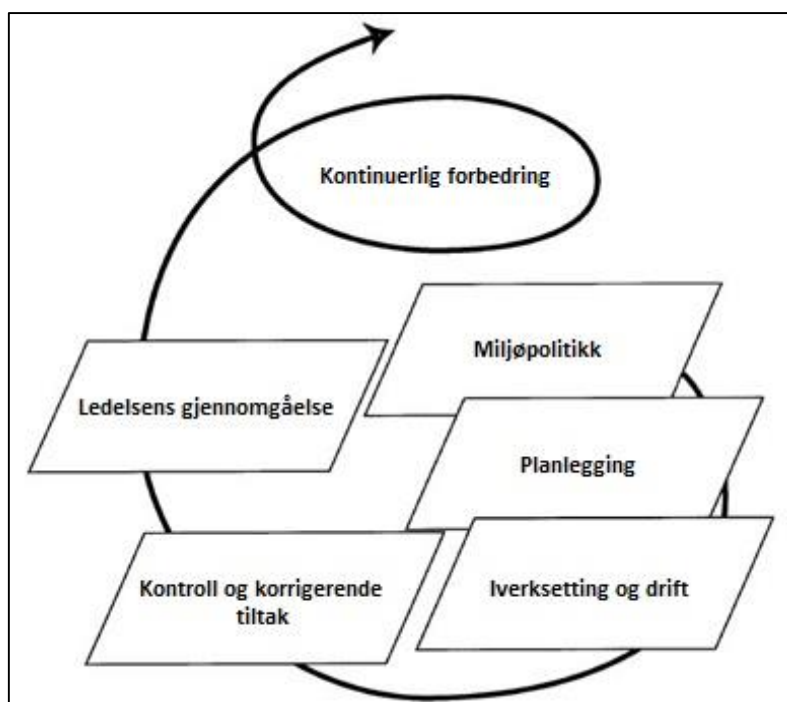
Berg (2008) hevder næringen står overfor store miljøutfordringer når det gjelder bygging og bruk av bygninger. Ved å legge til rette for en mer industrialisert produksjon kan en oppnå bedre forutsetninger for en systematisert gjennomføring, og dermed redusere miljøbelastningene.

Ytre miljø er et eget kapittel i byggt teknisk forskrift (TEK10). I kapitlets veiledning blir det beskrevet at den omfatter natur- og nærmiljø, forurensning og ressursbruk. I forskriftens §9-1 står det: «Byggverk skal prosjekteres, oppføres, driftes og rives, og avfall håndteres, på en måte som medfører minst mulig belastning på naturressurser og det ytre miljø» (DiBK, 2010).

Veilederen hevder det er viktig å etablere miljømål tidlig i prosessen på lik linje med funksjonelle, tekniske og økonomiske hensyn. Hensikten med forskriften er å hindre spredning av miljøskadelige stoffer, redusere mengden byggavfall og øke graden av ombruk og materialgjenvinning (DiBK, 2010).

Miljøstyring

Standard Norge (2004) viser til at alle typer organisasjoner interesserer seg i økende grad for oppnå en sunn miljøpolitikk. Lovgivningen blir stadig strengere og det viser seg at fornuftig miljøstyring henger sammen med god økonomi. For å få til dette er en avhengig av at hele organisasjonen er medvirkende og spesielt fra øverste hold. *ISO 14001* er et miljøstyringssystem som kan implementeres i flere ulike bransjer. Det overordnede målet er ifølge Standard Norge å bidra til å beskytte miljøet og forebygge forurensning. Standarden bygger på en kontinuerlig forbedringsstrategi gjennom PDCA (plan, do, check, act). Systemet baserer seg på å planlegge og fastsette mål og prosesser for organisasjonen. Prosessene skal så gjennomføres, overvåkes og måles opp mot satte krav og politiske bestemmelser. Til slutt skal tiltak iverksettes for kontinuerlig forbedring. Figur 3.16 illustrerer forbedringssløyfen som systemet *ISO 14001* bygger på.



Figur 3.16 - Forbedringssløyfen etter NS-EN ISO 14001 (Standard Norge, 2004).

Byggavfall

For oppføring av nye bygg over 300 m² er det krav om at minimum 60 % av avfallet som oppstår skal sorteres og leveres til gjenvinning. Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall har som mål at 70 % av alt BA-avfall skal sorteres innen utgangen av 2016. Enkelte kommuner kan ha høyere ambisjoner og kreve høyere sorteringsgrad i sine prosjekter (NHP, 2013).

Berg (2008) henviser til avfallsstatistikk fra SSB og hevder at byggenæringen årlig genererer 1,5 millioner tonn byggavfall. I tillegg kommer utgravning og sprengningsmasser. I et av intervjuene som Berg utførte i forbindelse med industrialisert bygging ble det uttalt: «Avfallshåndtering er en del av kvalitetsarbeidet: Hvorfor betale ekstra for å kjøpe for mye materialer, slite med å lagre det på byggeplassen, kjøre det bort og betale for å bli kvitt det?»

Forfattere som Gibb (1999) og Pasquire og Connolly (2002) trekker frem at prefabrikasjon vil resultere i mindre byggavfall. I et fabrikklokale vil det være enklere å innarbeide faste rutiner for sortering. Bedre nøyaktighet i utførelsen vil også føre til mindre restmaterialer/avkapp og defekter. Materialer og utstyr vil også lagres og brukes i kontrollerte omgivelser, og er dermed mindre skadeutsatt. Ved mange aktører/bransjer involvert på samme plass øker risikoen for sabotasje eller at noen er uforsiktig (Gibb, 1999). Gibb viser også til at det ikke er behov for å buffre opp med ekstra materialer som fort blir kastet etter endt produksjon. Pasquire og Connolly påpeker også at det er større muligheter til å kunne demontere og gjenbruke elementer. Sammenlignet med prefabrikasjon vil det genereres mer avfall ved plassbygging (Takano et al. 2013). Mye av avfallet vil også inneholde urenheter som gjør det vanskelig å sortere.

Klimagasser

Berg (2008) peker på at en må unngå å masseprodusere elementer som har dårlig innvirkning på miljøet. For å løse dette mener han at det må legges økt vekt på produkt- og miljødokumentasjon, og sikre at valg av løsninger samsvarer med nasjonale og lokale krav. Ifølge Berg står byggenæringen for

over 10 % av klimagassutslippene i Norge gjennom produksjon og drift av bygninger. Grunnlaget for beregning av klimagasser i bygg er beskrevet nærmere i underkapittel 2.3.2. Valg av materialer og løsninger vil være avgjørende for miljøbelastningen knyttet til oppføring- og drift av bygget. Berg peker på at miljø er en faktor som ofte ikke blir etterspurt fra kunden, og mener det i større grad bør bli en konkurransefaktor. Takano et al (2013) viser til at i fabrikker benyttes ofte elektrisk energi. Ved produksjon på byggeplass er det større behov for maskiner og utstyr som går på drivstoff. Dette vil medføre høyere utslipp knyttet til bygging. Case studiene som Takano et al. tok for seg indikerte en svak reduksjon i klimagassutslipp knyttet til valg av prefabrikasjon fremfor tradisjonell bygging.

SHA

Lavt antall personskader vil gi effektive byggeprosjekter (Ingvaldsen & Edvardsen, 2007). Bruk av prefabrikasjon vil gi bedre forhold for SHA (Gibb, 2001; Neale et al. 1993, Pasquire & Connolly, 2002). Pasquire & Connolly trekker frem at en vil oppnå bedre sikkerhet gjennom standardiserte oppgaver. Forutsigbarheten blir god, og arbeidspersonell kan spesialisere seg i større grad enn på byggeplass. Den totale arbeidsmengden vil også være redusert da effektiviteten er bedre og arbeidskraft kan erstattes med maskiner. Gibb viser til at en ved prefabrikkerte løsninger vil redusere behovet for arbeid i høyden betraktelig. Det krever riktignok økt kranbruk som kan medføre en viss risiko. Gibb peker på at montasjebygging krever god planlegging. Dette vil føre til økt kontroll under byggingen og redusert risiko for skader.

Jaillon & Poon (2009) og Gibb (1999) trekker også frem andre fordeler. Da prefabrikasjon gir færre aktiviteter på byggeplass vil dette føre til mindre støvproduksjon og støyproblemer. Det er også lettere å oppnå god ryddighet på både byggeplass og fabrikk. Ved gode arbeidsforhold nevner også Neale et al. (1993) at en ved prefabrikasjon kan gi arbeiderne bedre ergonomiske forhold. Videre lister Neale et al. opp følgende fordeler med prefabrikasjon:

- Bedre arbeidsmiljø i fabrikk
- Bedre arbeidsmetoder
- Tilgang til jobb er lettere
- Repetisjon på arbeid, planlagt med sikkerhet
- Mindre erfarne folk kan læres opp til å gjøre få ting med høy perfeksjon
- Reduserte avstander mellom arbeidsoppgaver eller pauser
- Kjennskap til materialer og utstyr
- Mer effektive sekvenser mellom arbeidsoppgaver
- Arbeidsmetodene kan analyseres i detaljer for å forbedre teknikker
- Færre skader
- Mer effektiv kranbruk på byggeplass
- Lettere å innføre spesialiserte verktøy og teknikker

Logistikk og Transport

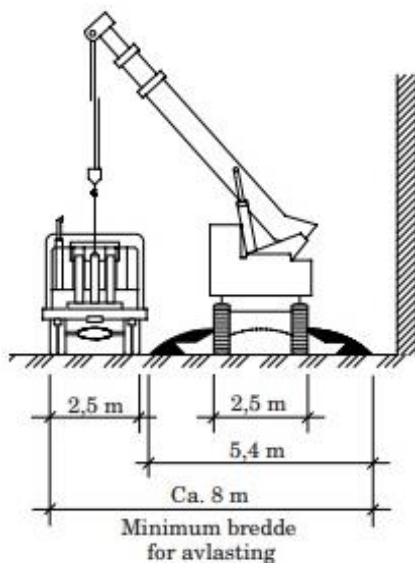
Logistikk

Bruk av prefabrikasjon vil gi en annerledes byggeprosess. Planlegging av rigg- og drift for hele byggetiden vil være viktig (Berg 2008). Gibb beskriver byggebransjen som kompleks, og peker på at ingen prosjektledere eller organisasjon innehar full kompetanse. Det vil være naturlig å leie inn ekspertise for å utforme og styre prosjektet frem mot suksess. Bygging med prefabrikasjon vil forenkle

forholdene på byggeplass. Det vil være færre aktiviteter og grensesnitt for prosjektlederen å holde styr på. Gibb trekker frem at det er nødvendig med omfattende forarbeid for å sikre jevn produksjon. Det er mange kvadratmeter med bygg som skal håndteres på kort tid, og da må det planlegges godt.

Čuš-Babič et al. (2013) trekker frem involvering og kommunikasjon med partnere som en viktig forutsetning. Leverandører leverer til flere ulike prosjekter samtidig. Leveransene består ofte av standard produkter med små justeringer, og da kan det fort oppstå komplikasjoner. Ved å sette sammen team som har arbeidet sammen før vil en kunne dra nytte av tidligere erfaringer (Berg, 2008). Dette vil effektivisere montasjen og redusere risikoen. Gibb (1999) peker på at hele produksjonen og montasjen må planlegges i forveien. Alt av arbeid må være unnagjort før neste leveranse for å unngå rot i systemet. Eventuelle tilpasninger bør gjøres underveis for å holde på kontrollen. God planlegging og kommunikasjon vil ifølge Gibb føre til stor forutsigbarhet.

Riggen må tilrettelegges for prefabrikasjon (Berg, 2008). Berg påpeker at en helst bør unngå å legge om på atkomstveier, vurdere lagringsforhold og tilpasse kran etter tyngden på elementene. Edvardsen og Ramstad (2006) trekker også frem atkomstveiene som vesentlig. Montering med lastebilkranner eller mobilkran krever at en har god tilgjengelighet rundt tomta (Figur 3.17 a). Et annet aspekt som Edvardsen og Ramstad trekker frem er avstiving av elementer (Figur 3.17 b). En må ta hensyn til vindforhold og dimensjonere nødvendig forankring. Større elementer gir en mer effektiv montasje ettersom en oppnår færre løft (Edvardsen & Ramstad, 2006; Betongelementforeningen, 2009). Begrensningene vil være relatert til vekt på kranen og mulighetene for transport.



a) Nødvendig plass for mobilkran.



b) Avstivning av veggelementer.

Figur 3.17 - Logistikk ved elementmontasje (Betongelementforeningen, 2009).

En risiko forbundet med elementmontasje er feil på elementer (Gibb, 1999). Da vil hele montasjen stoppe opp og en må vente til et nytt element blir produsert. Hvor lang tid dette vil ta er avhengig av responstiden til leverandøren og avstanden til byggeplass. Gibb påpeker at løftene må planlegges nøye når det gjelder festepunkter for løftestropper. Enkelte elementer kan ifølge Gibb være skadeutsatt ved løfting. *Betongelementforeningen* (2009) anbefaler bruk av lift til arbeidet med montasjen. Bruk av lift vil eliminere behovet for stillaser på byggeplassen.

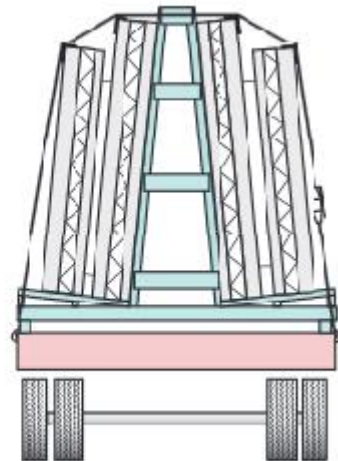
Transport

Det er viktig å ta hensyn til transportforholdene tidlig i prosessen (Gibb, 1999). Elementenes størrelse må tilpasses slik at de kan løftes rundt på fabrikk, transporteres til byggeplass, løftes rundt på byggeplass, monteres og kobles sammen med tilstøtende elementer. Gibb poengterer at lengde, høyde, bredde og vekt vil sette begrensninger for prosjekteringen. Vekt er normalt ikke utslagsgivende da en som regel ikke kommer opp mot grensevekten. Avstand mellom fabrikk og byggeplass kan også sette begrensninger for om prosjektet lar seg gjennomføre. Et alternativ som Berg (2008) trekker frem er å produsere elementene i feltfabrikker på byggeplassen.

Betongelementforeningen (2009) trekker frem ulike alternativer for valg av transportmiddel. I de fleste tilfeller vil bil være mest praktisk og det beste økonomiske alternativet. Andre muligheter er å frakte det med jernbane eller båt. Ulempen med disse er at en må ha tilknytning til havn eller togstasjon. Elementene må også fraktes med bil frem til det alternative transportmiddelet, og så videre med bil igjen frem til byggeplass. Ved transport er det viktig at lasten sikres tilstrekkelig. Det er en fordel om elementene lastes på i omvendt rekkefølge slik at øverste elementet er det som skal monteres først. Ved transport på bil er det vanlig å benytte seg av A-rammer. Elementene settes i slike når de er ferdig montert og kan løftes rett opp på bil. Ifølge *Betongelementforeningen* er hydraulisk senkbare transportrammer det mest effektive systemet. Dette er illustrert i Figur 3.18.



a) Hydraulisk transportramme.



b) A-ramme.

Figur 3.18 - Ulike transportmuligheter for elementer (*Betongelementforeningen*, 2009).

Ved transport med bil er det en del begrensninger når det gjelder mål. *Betongelementforeningen* (2009) gjengir regelverket fra *Statens Vegvesen*. For spesialtransport er maks lengde 20 m. Største tillatte bredde er 3,25 m, og maks høyde er 4,0 m. Største tillatte vekt på vogntog er 50 tonn. Ut over dette må det søkes om dispensasjon. I slike forhold vil det kun tillattes å kjøre på visse tidspunkt i døgnet og det kan kreve ledsagerkjøretøy og eventuell eskorte av politi.

3.3.4 Prefabrikkerte betongelementer

Betong inneholder flere delmaterialer: Sand, stein, vann, sement, tilsetningsmaterialer og eventuelle tilsetningsstoffer (*Betongelementforeningen*, 2009). Betongen kan blandes på flere ulike måter og oppnå forskjellige egenskaper. I Norge har det vært benyttet betongelementer siden siste halvdel av

1950-årene (Betongelementforeningen, 2010). Riktig fremstilt kan betongen stå i mange år, og *Betongelementforeningen* (2010) viser til eksempler som har bestått i mer enn 2000 år. Betongen har gode egenskaper når det gjelder trykk. For å tilføre betongen bedre strekkeegenskaper tilsettes armering. Ved store spennvidder vil det være behov for å spennarmere elementene.

Elementtyper

Isolerte fasadeelementer (Sandwich-vegger)

Isolerte fasadelementer består av to betongsjikt med mellomliggende isolasjon. Isolasjonen støpes fast på et av betongsjiktene. Vanligvis benyttes mineralull eller polystyren i tykkelser fra 80-300 mm (Betongelementforeningen, 2010). Betongsjiktene vil vanligvis ha tykkelser fra 60-150 mm og bindes sammen med rustfrie ankre eller armeringsstiger. Eventuelle utsparinger eller instøpningsgoods kan legges inn i elementet. Elementene støpes med vanlig kamstål eller armeringsnett. *Betongelementforeningen* trekker frem at elementer med store dimensjoner eller stor last utføres med ribber for å få økt styrke og stivhet. Stående elementene er det som er mest benyttet i «bokssystemet» (beskrevet i underkapittel 3.2.1). Vanlige størrelser på disse elementene er standard modulbredde på 2,4 m og høyder opp mot 10 m hvis en har innstøpte ribber. Muligheten er mange med tanke på utforming og overflater. Isolerte veggelementer er illustrert i Figur 3.19.



Figur 3.19 - Sandwich-elementer produsert på Overhalla Betongbygg AS.

Hulldekker

Hulldekker blir støpt ved ekstrudering eller i glideforskaling i store lengder på en stålbunn (Betongelementforeningen, 2010). Dette gir elementene en glatt underside. Med hulldekker kan en oppnå store spennvidder med små byggehøyder. Hulldekkene blir oftest brukt i tak og dekker i kontorbygg, boliger og skoler eller som etasjeskiller i industribygg. *SINTEF Byggforsk* (1996) viser til at hulldekkene har en vekt på 55-60 % av kompakte betongdekker. Anbefalte spennvidder vil variere etter

forhold som endeforankring og størrelse på tverrsnittet. HD320 har eksempelvis anbefalt spennvidde fra 9-13 m. Elementene leveres i standard modulbredde på 1200 mm med høyder fra 200-520 mm. *Betongelementforeningen* anbefaler at en reduserer utsparinger og innstøpningsgods til et minimum.

Ribbeplater (DT og SDT-elementer)

Tak- og dekkelementer dimensjoneres normalt ut fra bæreevne og hvilke deformasjoner som aksepteres (*Betongelementforeningen*, 2010). Det trekkes frem at DT-elementer har god bæreevne sammenlignet med egenlasten. Både ribbeplatene og hulldekkene støpes med forspent armering. Standard tykkelse på platen er mellom 40-60 mm. Elementene leveres med glatt underside. Overflaten er ru og har utstikkende armering for å skape samvirke med påstøp. Eventuelle utsparinger kan plasseres i platen mellom ribbene. Elementene kan leveres med et forsenket opplegg. På denne måten kan en spare byggehøyde. Det vanligste bruksområdet for ribbeplatene er i tak- og dekkekonstruksjoner. I takkonstruksjoner er det også vanlig med saltaksformede ribbeplater. Disse har innebygget fall (1:40) fra midten og inn mot oppleggene. Høyden på ribbene vil bestemmes av nødvendig styrke og spennvidde. Ved spennvidder på over 26 m (som tilfredsstillende idrettshaller) anbefaler *Betongelementforeningen* en ribbehøyde på minimum 900 mm. Figur 3.20 illustrerer saltaksformede ribbeplater (SDT-elementer).



Figur 3.20 – Saltakselementer (SDT) produsert på Overhalla Betongbygg AS.

Egenskaper

Miljø

Norsk Betongforening (2009) peker på reduksjon av CO₂-utslipp som den viktigste miljøoppgaven i tiden fremover. Det er store utslipp knyttet til produksjon av sement. NB viser til at 90 % av klimagassutslippene fra betongproduksjonen kommer fra utvinningen av sement. For å redusere klimagassutslippet kan det i større grad benyttes elektrisk energi og/eller tilsette betongen en økende andel av substituttmaterialer. NB viser til at Norge har vært et foregangsland i å tilsette betongen flygeaske.

NB trekker frem at når en vurderer miljøbelastningene over livsløpet kommer betong ut som et gunstig byggemateriale. Dette forklares gjennom flere forhold. Betongen har god varmemagasineringskapasitet og blir trukket frem som en betydelig kilde til redusert energiforbruk. Dette vil korrelere med CO₂-utslippet. *Betongforeningen* viser til flere livsløpsstudier av bygg hvor det kommer frem at hovedandelen av klimagassutslipp kan relateres til bruksfasen. Et annet forhold som en bør ta hensyn til er karbonatiseringen av betongen. Betong er et basisk byggemateriale. Når betongen herder binder den opp CO₂-gasser fra luften. NB viser til studier som indikerer at karbonatiseringen kan utgjøre mellom

11-15 % av utslippene som er knyttet til produksjonen av sementen. Til nå er det for lite forskning på dette området til å kunne implementere denne effekten inn i EPD'er og livsløpsvurderinger.

Betongelementforeningen (2010) trekker frem andre miljøforhold. Betong kan resirkuleres, knuses og brukes som nytt tilslag. Ved prefabrikasjon er mulighetene bedre for å gjenvinne forskalingsformer, da de ikke behøver å flyttes fra byggeplass til byggeplass.

Styrke og fleksibilitet

Betongelementforeningen (2010) beskriver betong som et robust og bestandig byggemateriale. En kan oppnå store søylefrie arealer som gir god fleksibilitet. Betongen kan støpes i alle former og gir dermed mange muligheter for arkitekten. Ved å produsere elementer i fabrikk er en ikke avhengig av klimaet. Dette vil sikre en jevn og høy produksjon, uavhengig av årstid.

Betongens egenskaper kan påvirkes på flere områder, både i fersk og i herdet tilstand (SINTEF Byggforsk, 2010). I betong er det blant annet flere muligheter når det gjelder tilsetningsstoffer. *SINTEF Byggforsk* referer fra *NS-EN 934-2* som definerer tilsetningsstoffer som: «*Stoff som tilsettes under blandingen av betongen i en mengde som ikke overskrider 5 % av sementmengden i betongen for å endre blandingens egenskaper i fersk og/eller herdet tilstand.*»

SINTEF Byggforsk trekker frem flere muligheter for påvirkning av betongens egenskaper. Disse er gjengitt under. Ved fremstilling av betongelementer vil akselererende herdetiltak være vesentlig.

Fersk betong:

- Bearbeidelighet
- Flyteegenskaper

Størkning/herding:

- Forkorte eller forlenge tiden før størkning
- Akselerere fasthetsutviklingen

Herdet betong:

- Sluttfasthet
- Tetthet/permeabilitet
- Frostbestandighet
- Redusert svinn

Betongelementforeningen (2010) trekker frem flere fordeler ved bruk av hulldekker og ribbeplater. Hulldekker har høy flatevekt og det er normalt ikke behov for ekstra lydisolasjon. Dersom hulldekkene legges med god presisjon vil det heller ikke være behov for noe ekstra påstøp. Dette gir færre arbeidsoppgaver og bedre effektivitet. En har også stor frihet til føringer av tekniske installasjoner. Hulldekkene kan også brukes direkte som ventilasjonskanaler. Ved saltaksformede ribbeplater er mulighetene gode for utsparinger og innfesting av lys eller akustikkplater. En har også innebygget fall på taket ved SDT-elementer. Dette gir effektivitet i utførelsen ved at en slipper å fore opp med isolasjon. *Betongelementforeningen* trekker også frem at det ikke er noe i veien for å tekke takelementer med dampspærre, isolasjon og folie hos leverandør. Arbeidet som gjenstår da på byggeplass vil være å skjøte tekkingen over fugene og tette over løftepunktene.

Energiøkonomi

Betong har høy varmeledningsevne (SINTEF Byggforsk, 1997). Materialet er ubetydelig med tanke på isolering. Ved bygging med betong må en isolere slik at en unngår kuldebroer. Dette kan unngås ved å isolere på utsiden av bygningsdelene. Ved beregning av U-verdier på sandwich-vegger peker *SINTEF Byggforsk* på at en må ta hensyn til at randsonen er tynnere enn resten av veggen. Dette vil være aktuelt for høye stående elementer som inneholder ribber. *SINTEF Byggforsk* trekker også frem at varmekapasiteten er god. Betongen kan utnyttes som varmelagring og bidra til å holde jevn temperatur i bygget. Ifølge *Betongelementforeningen* (2010) kan en spare opptil 40-50 % av fyringskostnadene ved bygget dersom en har spesiell styring av ventilasjonssystemet. Det vises også til at avkjølingsbehovet vil være redusert i den varme årstiden.

Vedlikehold og avhending

Betongelementforeningen (2010) hevder elementene krever lite vedlikehold og har lang levetid. Når betongen får herde i kontrollert klima kan det oppnås en kvalitet og nøyaktighet som ikke kan oppnås på byggeplass. *SINTEF Byggforsk* (1994) trekker frem ulike forhold for å unngå skader på elementer. Det må vies ekstra oppmerksomhet rundt overdekning, fuger, beslag og kuldebroer. *Betongelementforeningen* viser til at armeringen i betongen kan korrodere, og må beskyttes. Høyt klorinnhold eller karbonatisering vil kunne starte en korrosjonsprosess. Dette vil kunne gi skader på elementene i form av rissdannelse eller avskallinger, og svekke konstruksjonen som helhet. Ifølge *Betongelementforeningen* er dette problemer som kan løses ved hjelp av tilstrekkelig overdekning, økt tetthet i betongen, ulike tilsetningsstoffer eller overflatebehandling.

Ifølge *Betongelementforeningen* (2007) er fukt den vanligste årsaken til byggskader. Fukt kan ødelegge elementet ved råte, sopp, korrosjon eller frostsprengning. Det er viktig at det legges stor vekt på utførelsen av fuger mellom elementene, siden dette fort kan bli det svake leddet i råbygget. Fugene har flere viktige oppgaver; de skal beskytte mot nedbør og vind, isolere mot kulde og lyd, fungere som brannspærre, danne en estetisk forbindelse og overføre krefter mellom elementene. *Betongelementforeningen* (2009) viser til at vinterstøping stiller strengere krav både til planlegging, utførsel og etterbehandling siden betong aldri må fryse i fersk tilstand. I forbindelse med montasje av betongelementer er støpearbeider ofte begrenset til fuger og knutepunkter. Fugemørtelen vil fryse dersom omgivende betong (hulldekker, fundamenter el.) er sterkt nedkjølt. Ved kuldegrader er det derfor behov for å varme opp elementene før utstøping av fuger.

Brannsikkerhet

De fleste bygg har brannkrav til ulike bygningsdeler. Betongelementer gir god motstandsdyktighet mot brann (*Betongelementforeningen*, 2010). Det blir trukket frem at en ikke har behov for fordyrende brannbeskyttelse. Ifølge *Betongelementforeningen* vil de gode brannkravene medføre lave forsikringspremier. Et hulldekke i standard utførelse tilfredsstiller en brannmotstandstid på 60 min. Om ønskelig kan det oppnås høyere motstandstid ved å legge inn ekstra overdekning.

Lydforhold

Betongelementforeningen (2010) informerer om at tunge dekker gir god lydisolasjon. Forskriftskravene kan oppfylles ved direkte bruk av hulldekker uten andre sjikt. *SINTEF Byggforsk* (1996) trekker også frem at det er god lydisolasjon i hulldekker. For å ta hensyn til trinnlyd trekker de frem at det må benyttes gulvbelegg med myk underside evt. underlag av skumplast.

3.3.5 Prefabrikkerte elementer av tre

Nesten all nybygging skjer i byer og tettbygde strøk (Kittang et al. 2011). Tre som bygningsmateriale blir i liten grad valgt i prosjektene. Gjennom historien har tre vært det tradisjonelle og dominerende byggematerialet. Videre trekkes det frem at det er lett tilgjengelig, kan fremstilles lokalt, og billig å foredle. For å stimulere til økt bygging med tre, trekkes det frem at det er nødvendig å orientere seg mot nye markeder og bygningstyper. Dette kan være byggevirksomhet i offentlig sektor. Kittang et al. nevner bruk av massivtreelementer, limtre og modulbyggeri som en mulighet til å kunne konkurrere mot betong- og murbygg. Det trekkes frem at flere byer og kommuner ønsker mer bygging med tre gjennom ulike politiske programmer.

Elementtyper

Limtre

SINTEF Byggforsk (2000) henviser til NS 3470-1 som definerer limtre:

Bærende komponent hvor tverrsnittet er bygd opp av minst fire lameller med tilnærmet parallell fiberretning, som ved hjelp av lim har fullt statisk samvirke.

Ved å lime flere lameller sammen kan en oppnå store spennvidder og konstruksjonsformer. En kan også oppnå større fasthet og stivhet ved å fordele virkesfeil over tverrsnittene. Trevirke med mindre styrke kan legges i områder hvor det ikke er store krefter involvert, og en kan utnytte hele trestammen. Vanlig bruksområde for limtre er søyler og bjelker i bæresystemet.

Elementer av massivtre

Bruk av massive treelementer til bygningsformål ble introdusert i Norge og i de øvrige nordiske land mot slutten av 1990-tallet (Kittang et al. 2011). Zapffe (2003) beskriver massivtre som et prinsipp hvor planker eller bjelker sammenføres til elementer ved liming, spikring, bruk av tredybler eller strekkstag. *Treteknisk og Trefokus* (2011) viser til flere ulike måter å sammenføre elementene på. Det skilles normalt mellom kantstilte- og krysslagte elementer. I krysslagte elementer legges lamellene lagvis vinkelrett på hverandre. Elementene består vanligvis av tre, fem, syv eller ni lag. Ifølge Zapffe vil kryssleggingen gi god stabilitet ved at den overfører krefter på tvers av elementretningen. Elementet brukes som en plate og kan sammenlignes med en kryssfinérplate i stor målestokk. Figur 3.21 illustrerer et eksempel på krysslagte massivtreskiver.



Figur 3.21 - Krysslagt massivtreplate med fem sjikt (*Treteknisk og Trefokus* 2011).

Tretekniisk og Trefokus (2011) viser til at elementene har et variert bruksområde. De er egnet som bærende og ikke-bærende i gulv, vegger og tak. De kan også benyttes i alle typer bygg som boliger, fleretasjeshus og næringsbygg. Zapffe (2003) viser til flere muligheter for overflatebehandling. Elementene kan slipes, lakkeres, males, oljes eller benyttes ubehandlet. Innerveggen er synlig og en trenger derfor ikke annen innvendig kledning. Elementene kan kombineres med utvendig kledning, isolasjon, himlingsplater eller påstøp og dermed utgjøre ferdige bygningselementer.

«Det ligger et stort potensial i bruke massivtre i avansert systembygging.»
– Tor Kristensen (1999), om bygging med massivtre

Egenskaper

Miljø

Bruk av tre i bygninger har positive miljøeffekter (Kittang et al. 2011). Skog tar opp og binder CO₂-gasser. Skogen i Norge er økende i vekst. Kittang et al. viser til at årlig tilvekst er på 25 millioner m³, mens det hvert år hogges mellom 7-10 millioner m³. Zapffe (2003) trekker frem at gammel skog vokser dårlig og at det kun er trær i vekst som binder CO₂. Det vil derfor være positivt for klimaet å utnytte mer av de tilgjengelige treressursene. Kittang et al. mener dette kan være med på å senke utslippet av klimagasser og være med på å oppfylle internasjonale forpliktelser. Videre vises det til at tre er en fornybar ressurs og et biologisk nedbrytbart materiale. Foredlingen krever lite energi sammenlignet med alternative byggematerialer.

Det er utført studier som tar for seg klimagassutslipp og sammenligning mellom betong og tre som byggemateriale. Over livsløpet kommer tre vesentlig gunstigere ut (Kittang et al. 2011 referer til Sathre, 2007 og Gustavsson et al. 2006). Studien til Gustavsson viser at en kan oppnå besparelser på mellom 30 og 130 kg CO₂-ekv pr. m² gulvareal. Zapffe (2003) trekker også frem at bruk av tre fremfor betong gir besparelser i klimagassutslipp. Konstruksjonsvirke har et utslipp på 40 kg CO₂-ekv pr. tonn og limtre og massivtre ligger på 60 kg pr. tonn. Til sammenligning ligger betong på 120 kg CO₂-ekv pr. tonn. Tar en i betraktning at betong har en tetthet som er fem ganger større enn trevirke, så vil det være snakk om betydelige utslippsbesparelser. Produksjon av trematerialer omfatter ofte bruk av limtyper eller overflatebehandling som inneholder ulike kjemikalier (Zapffe). Dette kan gi trevirket giftige avgasser ved forbrenning.

Styrke og fleksibilitet

Trematerialer har lav egenvekt og høy strekkfasthet (Zapffe, 2003). Tre er et anisotrop materiale, hvor styrken er vesentlig bedre parallelt med fiberretningen (Kittang et al. 2011). Dette gir mulighet for store spenn ved slanke konstruksjoner. Videre blir det trukket frem at materialene ofte er langreist på grunn av den lave vekten. Transportkostnadene utgjør kun en liten del i forhold til materialkostnadene. Kristensen (1999) peker på at lav egenvekt vil gi mulighet til å redusere omfanget av fundamenteringen og gjøre det mulig å bygge ved dårlige grunnforhold.

Massivtre gir en robust innerflate som er egnet for tøff behandling (Kristensen, 1999). Massivtreskivene vil utgjøre den innvendige overflaten. Dette medfører færre sjikt og færre arbeidsoperasjoner for entreprenøren. Videre viser Kristensen til at massivtre vil gi mindre konstruksjonshøyde. Dette kommer av at elementene kan legges mellom bæressytemet. Zapffe trekker også frem at en får et annet statisk system ved bruk av massivtreelementer fremfor

stenderverkskonstruksjoner. Veggelementene kan med sin skivevirkning ta opp vindkrefter og eventuelle dekker egner seg godt til å ta opp punktlaster. Ifølge Zapffe er det de krysslimte flersjiktselementene som gir de beste statiske egenskapene.

Zapffe (2003) og Kristensen (1999) trekker begge frem massivtre som et fleksibelt materiale. Zapffe viser til at det er enkelt å bearbeide, forenkler boringer/hulltakinger, utsparinger og innfesting av tekniske installasjoner eller sekundære konstruksjoner. Tilpasninger er enkelt å utføre med en motorsag eller lignende utstyr. Flexibiliteten er god med tanke på eventuelle tilbygg. En kan enkelt rive ned en vegg og bygge på ytterligere arealer. Kristensen trekker frem at hele veggen er bærende, og at det dermed ikke er noe problem i å lage åpninger eller rive ned deler av en vegg.

Energiøkonomi

Zapffe (2003) og Kristensen (1999) viser til gode forutsetninger når det gjelder potensiale for energiøkonomi. Tre blir trukket frem som et isolerende materiale og skaper ikke kuldebroer. Det har også god varmelagringsevne. Ifølge *SINTEF Byggforsk* (2001) har trematerialer omtrent ti ganger bedre varmeisoleringssevne enn betong. Zapffe viser til at den innvendige veggen fungerer som et varmelager som kan utjevne temperaturforskjeller og redusere fuktsvingninger i inneklimate.

Vedlikehold og avhending

Zapffe (2003) trekker frem at tre er et levende materiale. Fuktsvingninger i trematerialer kan føre til at materialet sveller eller krymper (*SINTEF Byggforsk*, 2001). Hver trebit har sin egen karakter. Ifølge Zapffe kan treverket tåle en del fukt under byggingen forutsatt at den er kortvarig, men peker på at det kan få estetiske konsekvenser. Bygging med massivtre vil korte ned byggetiden og en oppnår raskt en klimaskjerm. Dette vil lette videre arbeider. *SINTEF Byggforsk* anbefaler at det tilstrebes å bygge med materialer som innehar samme fuktbalanse som den planlagte i bygget. *Treteknisk og Trefokus* (2011) peker også på viktigheten av fuktsikker bygging. Bygging under åpen himmel går normalt fint for små prosjekter. Ved større prosjekter blir det anbefalt å bygge under teltbaserte systemer.

Plankene kan sprekke opp på grunn av krymping eller svelling, men Zapffe (2003) hevder det er uproblematisk med tanke på elementets totale stabilitet. *SINTEF Byggforsk* (2001) viser til at en enkelt kan ordne opp i dette ved å frese et spor og legge inn innfyllingslister. Kristensen (1999) informerer om at ved krysslagging så spiller kvaliteten på trevirke mindre rolle. *Treteknisk og Trefokus* (2011) viser også til dette, og hevder at krysslagte massivtreskiver er mer dimensjonsstabile da trefibrene tar opp krefter i ulike retninger. Bygningens fasade har normalt en levetid på 50-100 år, avhengig av klima og vedlikeholdet (Kittang et al. 2011). Eventuelle utskiftninger av trebord vil være rimelig. Rett bruk og vedlikehold vil være avgjørende for levetiden.

Zapffe peker på at massivtreskiver lett kan demonteres og gjenbrukes. De kan enkelt kappes i mindre formater og tilpasses andre bruksformål. De kan også brukes på nytt i andre treprodukter som sponplater, isolasjonsmaterialer, papir eller som forbrenningsvarme.

Brannsikkerhet

Etter den funksjonsbaserte forskriften (TEK) kom i 1997 har det vært større frihet til å bygge med trematerialer (*Treteknisk og Trefokus*, 2011). Dette gjelder spesielt bæresystemer og bruk av tre som innvendige og utvendige overflater. *Treteknisk og Trefokus* viser til at massive trekonstruksjoner har gode egenskaper når det gjelder motstandsdyktighet mot brann. Flere peker på at materialet har en langsom innbrenningshastighet, og dermed høy brannmotstand (Kittang et al. 2011; Zapffe, 2003).

Treteknisk og Trefokus informerer om at elementene kan dimensjoneres for å bevare bæreevnen, integriteten og isolasjon i høyeste brannklasse. Det kritiske i elementene er å beskytte forbindelsesmidlene.

Lydforhold

Ifølge Kittang et al. (2011) er treets lydtekniske egenskaper en innvending for mange å bruke i fleretasjeshus. De lydtekniske egenskapene må tilfredsstillende lydklasse C i *NS 8175 (Treteknisk og Trefokus, 2011)*. For å få til dette må en ta hensyn til luftlydisolasjon, trinnlyd og flanketransmisjon. Ifølge *SINTEF Byggforsk (2001)* er det vanskelig å oppnå gode lydisolerende forhold uten absorberende eller isolasjon. For å løse dette viser Zapffe (2003) til en dekkeløsning hvor massivtre monteres sammen med trinnlydisolasjon og påstøp i form av mørtel. Erfaringene viser at materialene fungerer godt sammen og er effektiv med tanke på lyddemping.

4 Empiriske resultater

Dette kapittelet presenterer en oppsummering av funnene som er gjort i de to case studiene som ligger til grunn for oppgaven. Kapittelet er delt i to delkapitler, ett for hver case. Første casen tar for seg Heimdalshallen som ble bygget med prefabrikkerte betongelementer. Den andre casen tar for seg Bankgata flerbrukshall som ble utført i elementer av tre. Delkapitlene gir en beskrivelse av case, råbygg, produksjon av elementer, dokumentasjon og intervjuresultater. Det er forsøkt å studere de samme forholdene i begge casene for å danne et grunnlag for å kunne sammenligne og trekke paralleller.

4.1 Case studie: Heimdalshallen og prefabrikkerte betongelementer

4.1.1 Beskrivelse av case

Tabell 4.1: Nøkkelinformasjon Heimdalshallen.

Lokalisering:	Heimdal, Trondheim
Byggherre:	Heimdal IF (HIF)
Byggetid:	22. april 2013 (igangsettelse) - 10. juni 2014 (ferdigstillelse)
Huskostnad:	71,4 millioner kr ekskl. mva.
Areal:	4 630 m ² BTA
Entrepriseform:	Totalentreprise
Totalentreprenør:	HENT AS
Arkitekt:	Arkitekt Svein Skylstad AS
Leverandør, prefab:	Overhalla Betongbygg AS (Vegg-, dekker og takelementer)

Heimdalshallen ble gjennomført som en totalentreprise av HENT AS og var ferdigstilt i juni 2014. Heimdal idrettsforening (HIF) er eier og ansvarlig for driften av bygget. Kontraktsummen med HENT var på 67,2 millioner kr ekskl. mva. Med endringskostnader på totalt 4,8 millioner kr endte entreprisekostnaden på rundt 72 millioner kr. Med utomhusarbeidet fratrukket blir Huskostnaden for prosjektet ca. 15 400 kr/m² BTA. For å kunne finansiere idrettshallen ble det tidlig enighet om økonomisk støtte og en langsiktig leieavtale mellom HIF og Trondheim kommune. Hallen har et bebyggd areal på 3 272 m² og et bruttoareal på ca. 4 630 m². Hallen ligger strategisk plassert like ved Breidablikk skole og ved siden av idrettslagets fotballbane.



Figur 4.1 - Heimdalshallen (Foto: HIF).

Selve hallen kan deles inn i tre seksjoner. Inndelingen av ulike arealer er gjengitt i Tabell 4.2.

Tabell 4.2: Seksjonsfordeling Heimdalshallen.

Hovedhall:	Banemål: 25 m x 45 m. Takhøyde: 9,5 m Areal: 1 253 m ² BTA (27 % av totalareal) Tribunekapasitet for ca. 300 personer
Basishall:	Banemål: 2 flater på 16 m x 24 m Takhøyde: 7,0 m Areal: 862 m ² BTA (19 % av totalareal)
Tilbygg:	Areal: 2 516 m ² BTA (54 % av totalareal) Øvrige fasiliteter: 4 garderoberett + 1 dommergarderoberett inkl. dusj og WC, lagerrom, garasje, vaktrom, møterom, kiosk, kontor, heis, toaletter, styrketreningsrom, kjøkken + utleielokale.

Tidligere har det stått et samfunnshus på tomten. Fotavtrykket til den nye hallen var større enn det gamle bygget. Grunnforholdene i dette området var dårligere enn forventet, noe som påførte ekstra kostnader ved grunnarbeidet. I konkurransegrunnlaget var hallen opprinnelig beskrevet som et stålbygg. For å oppnå raskere ferdigstillelse ble dette endret til prefabrikkerte betongelementer, og påførte prosjektet 200 000 kr i endringskostnader.

4.1.2 Beskrivelse av råbygg

Hallen er bygget i skrånende terreng og deler av råbygget er derfor bygget ned i grunnen. Dette er løst med isolerte plasttøpte støttemurer i betong og utgjør ca. 460 m² (17 % av veggarealet). Resten av bygget er fundamentert med ringmur og banketter. Totalentreprenøren HENT kjøpte inn leveransen og montasjen av mesteparten av råbygget fra underentreprenør Overhalla Betongbygg. Etter montasjen var HENT ansvarlig for kompletteringsarbeidet. Aktørene har tidligere erfaringer med samarbeid gjennom en rekke prosjekter. Avtalens omfang er videre beskrevet.

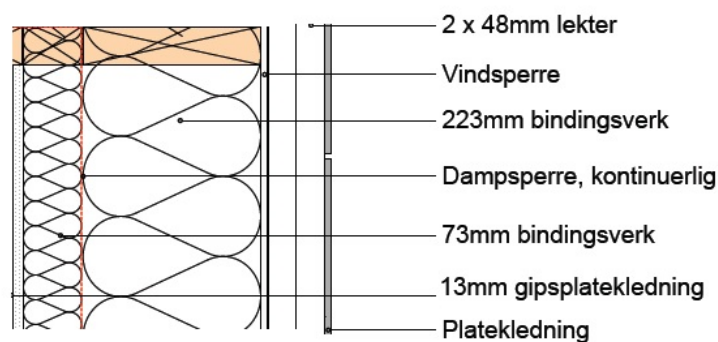
Bæresystem

Tilbygget er reist med søyler og bjelker i stål og er bærende for hulldekkene. Denne leveransen har Overhalla Betongbygg kjøpt fra Skanska Stålfabrikken.

Yttervegger

Hallene er bygget opp som en skivekonstruksjon med bærende isolerte fasadeelementer i betong. Fasadeoverflaten består av slipt marmor. Marmoren er støpt på en retarderende overflate. Når forskalingen rives kan overflødig betong spyles bort og en får en fin overflate som enten kan børstes eller slipes. Videre støpes yttersjiktet i elementet. Mellomsjiktet består av 220 mm EPS som er forankret med sjiktforbindere til det bærende innersjiktet. Veggelementene er levert med en U-verdi på $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ og totalt gikk det med $1\,392 \text{ m}^2$.

Ytterveggene i tilbygget består av bindingsverksvegger av tre som er isolert med 300 mm glassull og kledd med fibersementplater fra Cembrit. HENT var ansvarlig for bindingsverksveggene som har en U-verdi på $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Figur 4.2 illustrerer snittet av ytterveggene i tilbygget. Veggene i tilbygget utgjør totalt 740 m^2 .



Figur 4.2 - Vertikalsnitt av yttervegg, tilbygg i Heimdalshallen.

For å stive av og opprettholde en bærende skivekonstruksjon er det satt opp kompaktvegger i betong mellom tilbygget og hallen. Det er også satt opp kompaktvegger mellom hovedhallen og basishallen. I henhold til bygningsdelstabellen blir disse klassifisert som innervegger og omtales ikke videre da de ikke inngår i oppgavens avgrensning.

Dekker

I tilbygget er det brukt hulldekker som dekkeløsning. Ved spenn på over 11 m er HD320 benyttet, mens HD265 er benyttet ved øvrige spenn i tilbygget. I henhold til anvisninger på tegninger skal alle dekker ha påstøp på 20 mm. Overhalla Betongbygg kjøpte inn hulldekkene fra *Contiga*, da de ikke produserer dette selv. Totalt ble det handlet inn $2\,204 \text{ m}^2$ med hulldekker. Av dette utgjør ca. halvparten av arealet etasjeskiller, mens den andre halvparten utgjør taket i tilbygget.

Yttertak

Taket i hovedhallen består av forspente SDT-elementer (2400/1000/50) med lengde på 27,7 m. Totalt gikk det med 19 slike elementer for å komplettere taket i hovedhallen, noe som utgjør et areal på $1\,237 \text{ m}^2$.

I basishallen er det benyttet forspente DT-elementer (2400/600/50) med lengde på 18,4 m. Det gikk med 20 elementer til utførelsen av taket som utgjør 830 m².

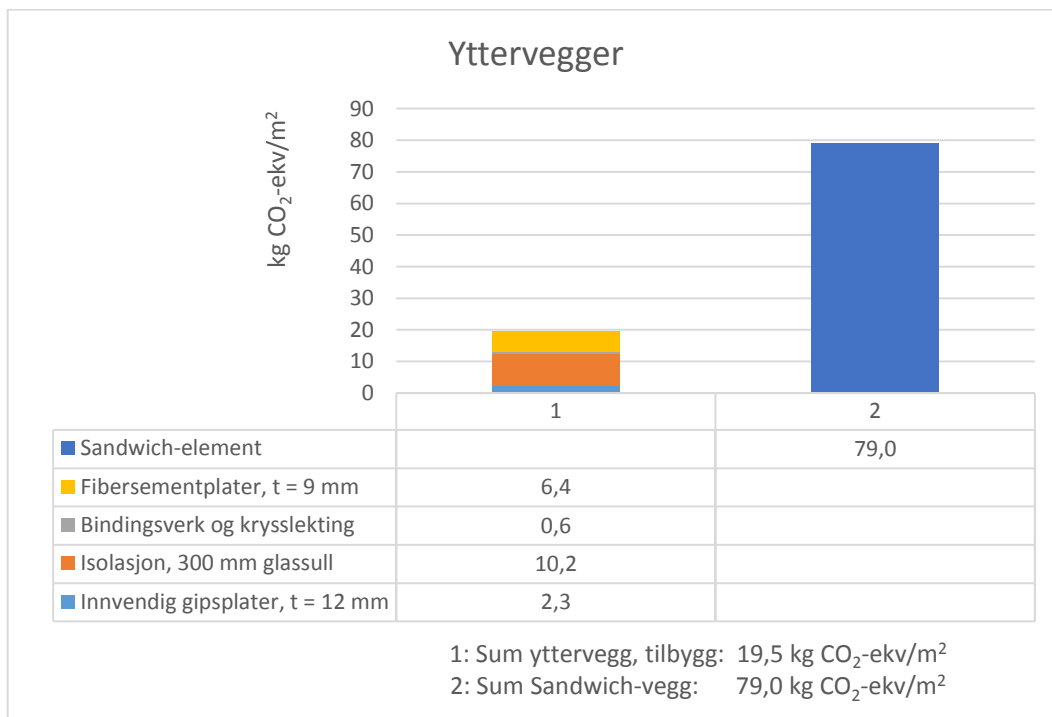
Hulldekkene utgjør den største delen av taket i tilbygget. Totalt utgjør de ca. 1 150 m².

Alle takkonstruksjoner er bygget opp med dampsperre, 300 mm steinull som er teknet med 2-lags asfalt takbelegg.

4.1.3 Klimagassberegninger

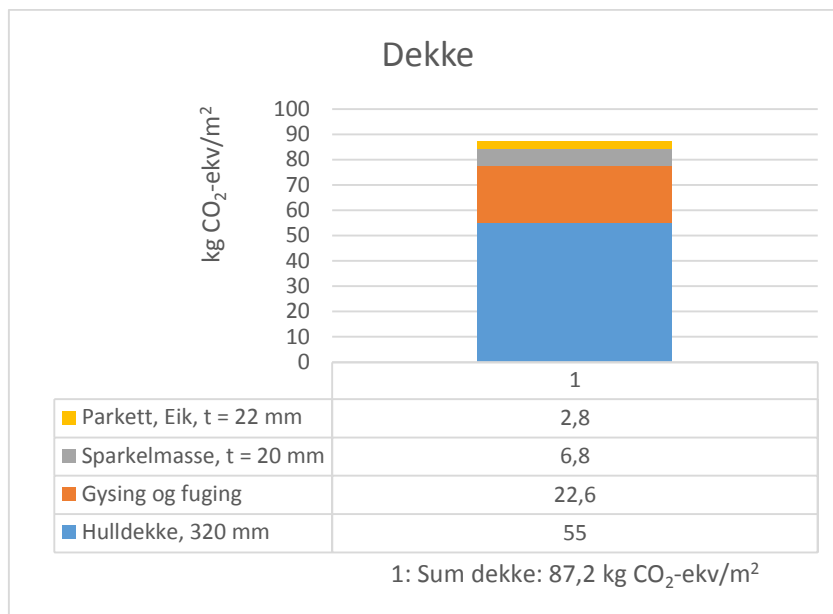
Det er utført klimagassberegninger for de ulike bygningsdelene i råbygget. Beregningene er utført etter oppbygningen som er beskrevet i underkapittel 4.1.2. Utslippene presenteres i Figur 4.3-4.5. Forutsetninger og antakelser for beregningene er gjengitt i Bilag C.

Det er utført beregninger på både veggene i tilbygget og for sandwich-veggene. Ytterveggen i tilbygget har et utslipp på 19,5 kg CO₂-ekv/m², mens sandwich-veggene medfører et utslipp på 79,0 kg CO₂-ekv/m². Utslippene fordelt på de ulike sjiktene kommer frem av Figur 4.3.



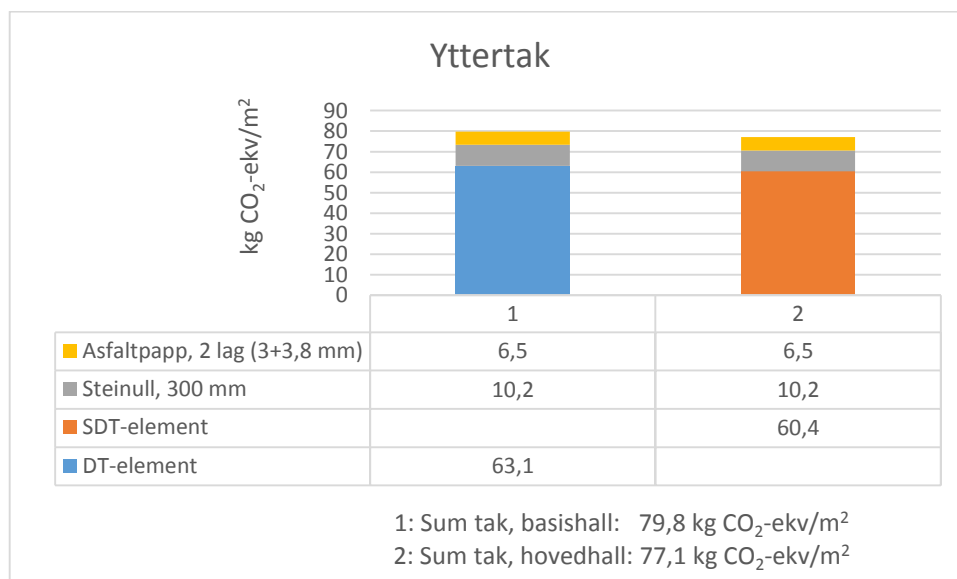
Figur 4.3 - Klimagassutslipp for yttervegger i Heimdalshallen.

Utslipet knyttet til dekkene er beregnet til 87,2 kg CO₂-ekv/m². Det er tatt utgangspunkt i HD 320 som material i dekket. Utslippene knyttet til ulike sjikt kommer frem av Figur 4.4.



Figur 4.4 - Klimagassutslipp for dekket i Heimdalshallen.

Det er utført målinger både for tak med DT-elementer og for SDT-elementer. Målingene viser utslipp på henholdsvis 79,8 og 77,1 kg CO₂-ekv/m². Utslipp knyttet til ulike sjikt kommer frem av Figur 4.5.



Figur 4.5 - Klimagassutslipp for yttertak i Heimdalshallen.

4.1.4 Befaring, Overhalla Betongbygg AS

Da Overhalla betongbygg AS var ansvarlig for konstruksjonsberegninger, leveranse og montasje av råbygget i Heimdalshallen var det naturlig å oppsøke dem for informasjon og erfaringer. Det ble derfor gjennomført en befaring på fabrikken i Nord-Trøndelag. Her fikk en innblikk i prosedyrene knyttet til produksjon av elementene og innhentet en del dokumentasjon. Nøkkelinformasjon om Overhalla Betongbygg AS er gjengitt i Tabell 4.3. Videre presenteres resultatene fra besøket.

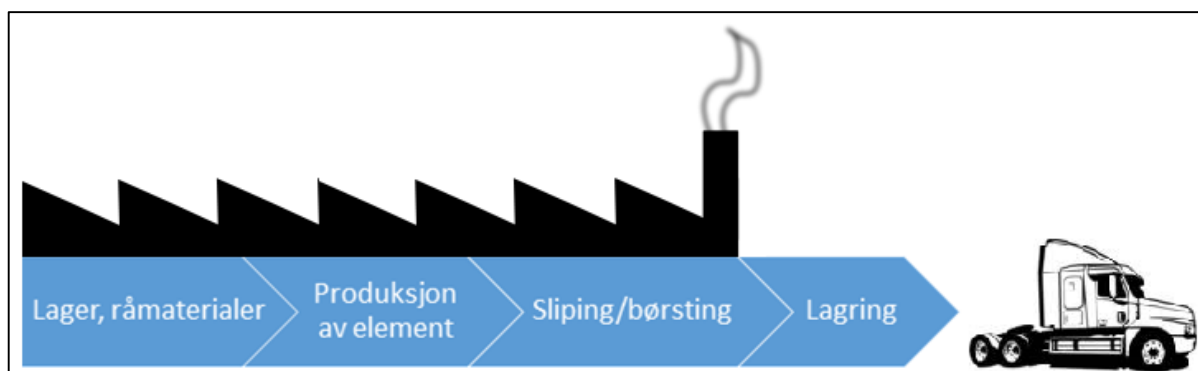
Tabell 4.3: Overhalla Betongbygg AS.

Lokalisering:	Skogmo, Nord-Trøndelag
Etablert:	1946 (Som Overhalla Cementvare AS)
Produkter:	Prefabrikkerte betongelementer
Målgruppe:	Det private, landbruket samt offentlige- og næringsbygg
Antall ansatte:	120
Størrelse på fabrikk:	Produksjonslokale på 8 000 m ² , kaldlager på 4 500 m ²
Omsetning:	Ca. 250 millioner kr (2014)

Virksomheten Overhalla Betongbygg AS driver med salg, produksjon og montasje av slakkarmerte og spennarmerte betongelementer. Elementene kan leveres med et utvalg av slipte og børstede overflater. De har også en konstruksjonsavdeling som bistår med rådgivning, prosjektutvikling og prosjektering. Elementtypene som produseres mest på fabrikkene er vegg-/fasadeelementer, takelementer, spesialelementer til landbruket, søyler og bjelker.

Produksjon

I produksjonslokalet på om lag 8 000 m² er det 60 arbeidere. 40 av dem jobber direkte med produksjon, mens de siste 20 hjelper til med arbeid som løfting, flikking, overflatebehandling, frakt og kvalitetssikring. Produksjonslokalet er inndelt i to haller hvor det produseres ulike elementer. To og to personer jobber sammen i faste team. Det er to porter/innnganger i produksjonslokalet. På den ene siden av lokalet blir det levert råmaterialer som armering, isolasjon, sjiktforbindere, etc. Videre produseres elementene innover i lokalet før de børstes eller evt. slipes i andre enden. Til slutt flyttes elementene ut på kaldlageret og klargjøres etter hvert for transport. Produksjonsflyten gjennom fabrikkene er illustrert i Figur 4.6.



Figur 4.6 - Produksjonsflyt gjennom fabrikkene til Overhalla Betongbygg.

Selve produksjonen blir utført i sykluser på ett døgn. Dagen starter med at elementene fra gårsdagens produksjon vippes opp og forskalingsplatene rives. Når dette er ryddet unna og elementene er fraktet vekk, starter en ny runde med elementproduksjon. Dette innebærer bygging av ny forskaling, binding og sveising av armering, eventuelle utsparinger, innsetting av vindusinnfatninger, innstøpningsgods eller isolasjon. Elementene produseres liggende på vippebord i passende høyder. Med dette oppnår en god produktivitet gjennom gode arbeidsforhold, samt at en enkelt kan rive forskalingen og transportere elementet videre. I produksjonslokalet er det et datastyrt betongblandeverk. Det gamle

blandeverket blir benyttet til produksjon av hvit betong. Betongen blir pumpet opp i tobber som går på skinner rundt i taket. Alle elementene støpes før arbeiderne går for dagen og herder så over natten før det er klart for ny syklus. Stort sett blir dette gjennomført uten at det er behov for ekstra overtidsarbeid.

Daglig produseres det 30 elementer, hvor det går med ca. 210 tonn betong. Ifølge arbeidsleder er oftest veggelementer 3 m bred og 8-9 m høy. Elementene er begrenset til en bredde på maksimalt 3,6 m da vaskemaskinen og slipemaskinen ikke kan håndtere større dimensjoner. Produsering av bredere elementer er uansett ikke hensiktsmessig med tanke på transportbegrensninger.

Lean Produksjon

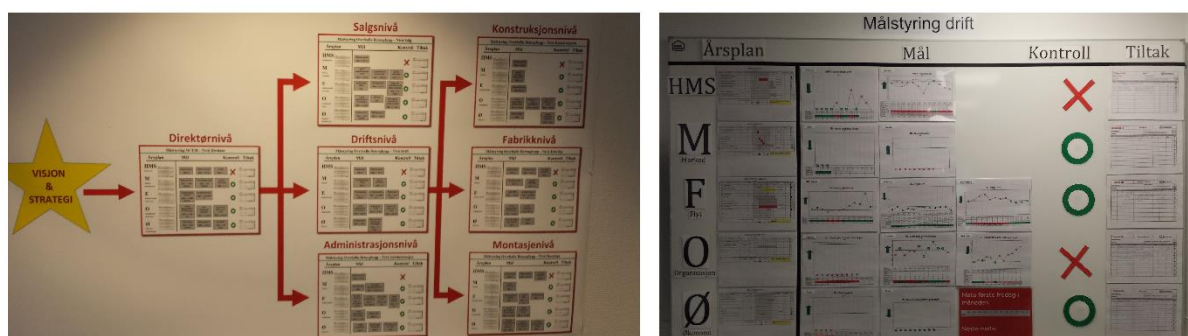
Overhalla Betongbygg har i snart to år satset på å innføre Lean Produksjon i hele organisasjonen, hvor en av de ansatte i administrasjonen har oppgaven som Leankoordinator og logistikkingeniør. Målsettingen er å effektivisere produksjonen, bruke mindre ressurser og levere produkter med god kvalitet. I juli, 2014 ble to av produksjonsteamene i den ene hallen 5S-sertifisert av SINTEF. I følge koordinatoren for Lean var dette en viktig begynnelse for å få innarbeidet rett kultur og gode holdninger i produksjonen.

Arbidsleder informerer om at de har faste møter mellom ledelsen og produksjonen hver morgen. Her blir gårsdagens og dagens produksjon gjennomgått. I produksjonshallen henger det måltavler for leveranse, sikkerhet og kvalitet. Måltavlene er inndelt i bolker som tar for seg dag for dag. I tavlen for leveranse blir gårsdagens faktiske produksjon ført inn, samt dagens planlagte produksjon. Målet er null avvik og 100 % leveranse i henhold til plan. I sikkerhetstavlen registreres eventuelle skader. Ved null skader merkes dagen grønn, mens den markeres rød ved arbeidsuhell med eller uten skader. Målet her er naturlig nok null skader. Den siste måltavlen tar for seg kvaliteten og måles ved elementer med skader eller feil. Gårsdagens rute markeres grønt på møtet dersom alle elementene var feilfrie. I motsatt fall markeres det rødt. Målet her er også null feil. Morgenmøtene har bidratt til å bedre informasjonsflyten fra gulvet og opp til ledelsen. Eventuelle avvik blir diskutert og det er stort fokus på gjøre tiltak som kan sikre kontinuerlige forbedringer.



Figur 4.7 - Måltavler for leveranse, sikkerhet og kvalitet.

Det er ikke bare i produksjonen det satses på å innføre Lean. For hele organisasjonen er det laget målstyringstavler som henger godt synlig i administrasjonslokalet. Det har vært gjennomført en verdistrømsanalyse for å kartlegge hvilke aktiviteter som tilfører verdi for kunden. Hensikten med dette har vært å skape flyt gjennom kjeden og eliminere sløsing. For å oppnå dette har problemløsning ved hjelp av A3-rapporter vært mye brukt. Det gjennomføres målinger på HMS, marked, flyt, organisasjon og økonomi. I følge Leankoordinatoren har det vært enklest å innføre og følge opp utviklingen på fabrikknivå da en har god oversikt over hva som går inn og ut av fabrikk. Etter at bedriften startet satsningen på Lean kunne fabrikkjefen melde om betydelige forbedringer. Det har blant annet vært stor forbedringer i tegningsleveransen. Andre gevinster er redusert overtidsarbeid, færre feil ut av fabrikk og generelt bedre kvalitet og mindre kaos.



Figur 4.8 - Målstyringsstruktur ved Overhalla Betongbygg AS.

Kostnader

Prisen for de ulike elementene som er benyttet i Heimdalshallen er gjengitt i Tabell 4.4. Det er skilt mellom kostnader for konstruksjon, produksjon, transport og montasje. Prisene er basert på tilbudsbrevet som Overhalla Betongbygg AS overleverte til HENT. Tilbudsbrevet er datert mai, 2013, men ifølge salgssjefen har kostnadene holdt seg ganske stabile. I tilbudet inngår ikke påstøp/tynnavretting, taktekking, brannisolasjon av stål, grøfter for staging eller ekstrakostnader forbundet med montering på vinteren. Entreprenørens påslag, samt kompletteringsarbeid må derfor inkluderes i prisen for å kunne sammenligne med andre elementer.

Tabell 4.4: Elementkostnader.

	<u>Konstruksjon:</u>	<u>Produksjon:</u>	<u>Transport:</u>	<u>Montasje:</u>	<u>Totalkostnad:</u>
Sandwichelement:	211 kr/m ²	1 617 kr/m ²	136 kr/m ²	343 kr/m ²	2 307 kr/m²
SDT-1000:	9 kr/m ²	718 kr/m ²	194 kr/m ²	95 kr/m ²	1 016 kr/m²
DT-600:	13 kr/m ²	652 kr/m ²	100 kr/m ²	147 kr/m ²	912 kr/m²
HD-320:	39 kr/m ²	468 kr/m ²	49 kr/m ²	306 kr/m ²	862 kr/m²
HD-265:	34 kr/m ²	410 kr/m ²	46 kr/m ²	306 kr/m ²	796 kr/m²
Stålbæring:					393 000 kr (29,7 kr/kg)

Tid

Datagrunnlaget for å beregne produktiviteten for de ulike betongelementene har ikke vært tilstrekkelig. For å kunne si noe om produksjonstiden er det nødvendig å gjøre grove overslag. Det ble opplyst om at det blir produsert ca. 210 tonn betongelementer pr. dag fordelt på 60 arbeidere i produksjonsavdelingen. 40 av de arbeider direkte med produksjon, mens 20 har andre roller. Med 60 mann i produksjonen utgjør dette 450 tv pr. dag. Det vil si at det blir brukt 2,14 tv/tonn. Sandwich-veggene og SDT-elementene har en tetthet på henholdsvis 462 kg/m² og 369 kg/m². Enhetstidene blir da 0,99 tv/m² for veggelementene og 0,79 tv/m² for SDT-elementene.

Det beregnes en montasjetid på 1-1,5 timer for alle elementer avhengig av størrelsen. Det estimeres at det blir montert mellom 150-200 m² hulldekker pr. dag. Dette forutsetter at logistikken på byggeplassen er god. I følge prosjektleder i Overhalla ble montasjen utført i henhold til fremdriftsplan. Totalt tok det 40 dager å montere råbygget, som besto av et montaselag på 5 personer pluss kranførere. Prosjektleder og salgsleder peker begge på at det er selve løftet av elementene som er dimensjonerende for varigheten av montasjen. Arbeidet med innfesting, avstivning og fuging blir utført kontinuerlig. Tabell 4.5 angir produktiviteten ved montasjen. Antakelsene for beregning av de ulike enhetstidene gjengitt i Bilag D.

Tabell 4.5: Enhetstid for montasje av ulike elementer.

	<u>Enhetstid [tv/m²]:</u>	<u>Produktivitet [m²/tv]:</u>
Sandwich-element:	0,34	2,94
SDT-1000 (lengde 27,7 m):	0,14	7,14
DT-600 (lengde 18,4 m):	0,20	5,00
Hulldekker:	0,26	3,85

Kvalitet

Produksjonen av elementene foregår i innendørs omgivelser. En kan derfor holde jevn produksjon gjennom hele året, uavhengig av vær og klima. Innendørs produksjon sikrer også at en oppnår god kontroll over kvaliteten på betongen. Det tas jevnlig trykktester for å dokumentere kvaliteten (se Figur 4.9). Arbeidsleder for en av produksjonshallene opplyser at betongen oftest leveres med en høyere fasthetsklasse enn det som er garantert. I produksjonsteamene har de også rutiner for sidemannskontroll for å passe på at nødvendig overdekning er ivarettatt.

Arbeidsleder forklarer at de vanligste feilene på elementene består av overstøping, sårskader og skjeve sveiseplater. Som oftest kan feilene rettes opp ved ekstraarbeid i form av flikking og overflatebehandling. Ved større feil må hele elementet kastes og lages på nytt (se Figur 4.9). Dette blir omtalt som vrak. I følge arbeidsleder har de 1 vrak ca. hver 14. dag. I sandwich-elementer velges stort sett EPS som isolasjonsmateriale fremfor steinull. Dette gjør at elementene oppnår bedre fuktbestandighet, og risikoen for dårlig kvalitet reduseres.

Prosjektleder opplyste at elementene til Heimdalshallen ble levert uten feil og mangler.



a) Vrak som følge av feil løfting.



b) Verktøy for systematisk kontroll av betongkvalitet.

Figur 4.9 – Kvalitet.

Ytre miljø

Fabrikken i Overhalla ble i august 2012 sertifisert etter NS-EN ISO 14001 standarden. Den siste tiden har det vært fokus på gjenbruk av forskalingsmaterialer. Det har medført en reduksjon på 30-40 % av tidligere totalforbruk. Økonomisjefen opplyste om at de i 2014 hadde utgifter på 365 000 kr knyttet til avfallslevering. Dette utgjør 0,14 % av omsetningen og 1 % av varekostnadene. Videre hadde de et verditap på 1,5 millioner kr knyttet til avfall. Totalt utgjør dette rundt 4-5 % av varekostnadene på fabrikken. Fabrikken har tydelig merkede containere til avfallssortering i tillegg til mobile avfallstraller.

Salgssjefen opplyste også om at de har rensing og gjenbruk av vaskevannet de bruker til å spyle betongen. Når dette vannet slippes ut til den lokale elven, vil det basiske vannet være med på å hindre forsuring.

SHA

Det var Trøndersveis AS som utførte montasjen av råbygget. De overtok ansvarsretten og hadde dermed også ansvar for HMS på byggeplassen. Overhalla utfører også montasje selv, men må ved hvert prosjekt vurdere kapasitet og kostnadene knyttet til arbeidere, transport og losji. Prosjektleder rapporterte at HENT hadde gode rutiner for SHA og dette var et viktig område for entreprenøren. Videre fikk Trøndersveis AS skryt fra entreprenøren når det gjaldt HMS-rutiner knyttet til montasjen.

Ryddigheten i produksjonslokalet var generelt god da fabrikken ble besøkt. Innvirkningen av å implementere verktøyet 5S kommer tydelig frem gjennom sortering og strukturering av utstyr og materialer. Bruk av arbeidsbukker i passende høyder gir gunstige ergonomiske arbeidsforhold. Løftekraner er montert på skinner i taket og gir god logistikk med tanke på vareflyt gjennom produksjonen.



Figur 4.10 - Ryddighet i produksjonslokalet.

Logistikk og transport

I følge prosjektleder var gulvet i hallen ferdigstøpt før montasjen av råbygget. Det var forsterket på enkelte områder slik at mobilkranen kunne etablere seg, og fikk med dette gode arbeidsforhold. Ved å støpe gulvet på forhånd kunne også dekket brukes til å stage veggelementene, samt tillate å utføre montasjen med sakselifter fremfor faste- eller rullestillas. Gode montasjeforhold vil også være positivt med tanke på sikkerheten.

Elementene til Heimdalshallen ble transportert med bil. De ble mellomlagret ca. fire mil nord for Trondheim. Dette var nødvendig for å kunne sikre jevn montasje av hallen. På grunn av for lav kapasitet på kjøretøy som kan frakte de lange SDT-elementene ville elementmontasjen ha gått raskere enn det kjøretøyene kunne klart å levere. Elementene ble fraktet på rammer som de ble lagret i allerede på fabrikk. Kjøretøyene er utstyrt med hydraulisk senkbare tilhengere og gjør prosessen med av- og pålasting effektiv da det ikke er behov for ekstra kraner og operatører. Elementene ble produsert ferdig i grei tid før montasjen. På denne måten kunne *en* bil pendle mellom byggeplass og mellomlagring, og den andre kjøre inn nye elementer til mellomlagring.

DT-elementene ble fraktet sammen i par i hvert lass. Totalt utgjorde dette 10 turer. SDT-elementer ble fraktet enkeltvis, dvs. 19 lass. For de store transportlassene måtte det søkes om dispensasjon, og ved frakt av SDT-elementer var det behov for ledsagerbil. Sandwich-elementene hadde ulike størrelser. Det ble planlagt at kjøretøyene skulle frakte ca. 25-26 tonn pr. bil. Av tegningsgrunnlaget er det regnet ut at sandwich-veggene totalt har en vekt på ca. 559 tonn. Det vil si at det er behov for ca. 22 lass. Avstanden mellom fabrikk i Skogmo og Heimdalshallen er ca. 22 mil. Hulldekkene og bæresystemet i stål ble som tidligere nevnt kjøpt inn av andre leverandører, og transporten og logistikken knyttet til det omtales ikke videre.

4.1.5 Intervjuer

Det ble gjennomført totalt fem intervjuer i forbindelse med Heimdalshallen og bygging med prefabrikkerte betongelementer. Fire av intervjuene ble gjennomført på befaringen av fabrikk i

Nord-Trøndelag. En av prosjektlederne og salgssjefen hadde tilknytning til prosjektet i Heimdal, mens de to andre bidro med generelle erfaringer. Byggherren ved styreleder i HIF ble også intervjuet. Det er i tillegg blitt avholdt møte med byggherreombudet. Tabell 4.6 angir de ulike informantene. Resultatene fra intervjuene er så godt det lar seg gjøre kategorisert etter de ulike parameterne av interesse jf. underkapittel 3.3.3.

Tabell 4.6: Informanter, Heimdalshallen.

	<u>Dato:</u>
<u>Befaring, Heimdalshallen:</u> Intervju med byggherre (styreleder HIF)	05.02.2015
<u>Møte med byggherreombud:</u>	03.03.2015
<u>Befaring, Overhalla Betongbygg AS:</u> Intervjuer: Prosjektleder, Heimdalshallen, Overhalla Betongbygg Salgssjef, Overhalla Betongbygg Arbeidsleder/formann, Overhalla Betongbygg Prosjektleder, Overhalla Betongbygg	04.06.2015

Kostnader

Prosjektleder mener det er vanskelig å konkurrere med andre materialer som stål og tre. Betong er dyrere enn stål og er også et tyngre materiale. For å være konkurransedyktig må en ta igjen på andre forhold, og henviser spesielt til driftsfasen. Magasinering av varme i betongen vil gi lave energikostnader. En får også et mer robust bygg som ikke så lett får skader og gir enklere vedlikehold. Dette inkludert med brannsikkerhet vil gi byggherren lave forsikringspremier. Prosjektleder påpeker videre at de har mottatt gode tilbakemeldinger fra kunder som ser den gode økonomien på lang sikt.

Salgssjefen informerer om at kostnadene knyttet til prosjektering, produksjon og montasje er relativt konstante uavhengig av prosjektet. Den store variabelen og nøkkelen ligger i transportkostnadene. Ved større avstander blir marginene mindre og lønnsomheten i prosjektet reduseres. Videre poengteres det at betongelementer har begrensninger når det gjelder vekt. Det er hard konkurranse overfor andre materialtyper der det kan transporteres flere elementer pr. lass. Det at transportkostnadene utgjør en vesentlig andel av totalkostnadene har ført til at de har overlevd konkurransen fra utlandet.

For å overleve i markedet mener salgssjefen at en må øke verdien i hvert element. Jo høyere verdi en kan tilføre elementet på fabrikken, desto lavere andel vil kostnadene knyttet til transport ha. På denne måten vil en kunne oppnå en større radius av prosjekter å levere elementer til. Dette er noe av årsaken til at det ikke produseres hulldekker ved fabrikken. Prisene på hulldekker er presset og har lav verdi. Hard konkurranse og betydelige transportkostnader blir derfor utslagsgivende for lønnsomheten. Ifølge salgssjefen er innovative løsninger en viktig del for å tilføre elementene ekstra verdi. Det å være tidlig ute er vesentlig for å bygge opp bedre kompetanse og erfaringer enn konkurrentene. Samtidig må en også stadig jobbe for å presse ned kostnadene ved produksjonen.

Ved eksempler på innovative løsninger trekker salgssjefen frem ideer om å levere ferdig malte overflater i takelementene. Kostnadene ved å male elementene etter støping vil være betydelig lavere enn å leie inn lifter og malere etter montasjen. Andre muligheter kan være å montere akustikkplater i elementene før de ankommer byggeplass, eller levere ferdig isolerte og tekkede takelementer. Kostnadene forbundet med transport vil ikke endres da totalvekten på elementene fortsatt er den samme. Ifølge salgssjefen har satsningen til fabrikken ligget i produksjon av sandwich-elementer. Fasadene er utviklet til å kunne tilby ulike slipte overflater på fasaden og- eller innside vegg. Bruk av matriser gir muligheter for å utforme ulike strukturer på overflaten av elementet.

Tid

Flere av intervjuobjektene trekker frem kortere byggetid som en viktig fordel. Prosjektleder poengterer videre at kort byggetid også gjenspeiler økonomien i prosjektet.

I følge byggherren var kort byggetid også utslagsgivende for at det ble valgt å gå over fra stålbygg til sandwich-elementer i betong. Prosjektet ble utsatt et par måneder da det oppsto en konflikt med en av tilbudsgiverne. I tillegg krevde vanskelige grunnforhold ekstraarbeid som også skapte forsinkelser i prosjektet. Bygging med elementer ville gi en langt kjappere gjennomføring, og ved å endre byggemetoden kunne en ta igjen forsinkelsene.

Kvalitet

Flere av intervjuobjektene ved Overhalla påpekte at betong er et robust og solid materiale. Lang levetid, gode brannegenskaper og varmemagasinerer er med på sikre god kvalitet. Arbeidsleder pekte også på at elementene er motstandsdyktige mot fukt. Når det gjaldt utfordringer ved betongens egenskaper ble lydforhold og kuldebroer nevnt.

Arbeidsleder fortalte at det hadde vært større fokus på å bedre kvaliteten på elementene etter at de innførte Lean i organisasjonen. Videre pekte han på at det er viktig å oppdage eventuelle feil så tidlig som mulig. Med kostnader forbundet med feil opererer de med 1x, 3x og 10x etter når i prosessen feilen oppdages. Aller helst skal en oppdage feil før selve produksjonen. Eventuelle feil etter produksjonen av elementet påfører 3 ganger de opprinnelige kostnadene, mens kostnadene blir 10 ganger så stor dersom elementet med feil er fraktet og levert til kunden. Ut ifra Tabell 4.4 kan en få et innblikk av hvilket kostnadsomfang dette vil ha.

Prosjektleder opplyser om at det er liten risiko for skader på elementer dersom de løftes og lagres etter gitte rutiner. Hovedårsaken til 75 % av alle feil er ifølge arbeidsleder svikt i kommunikasjonen. Etter innføringen av Lean og 5S har dette gitt resultater.

Byggherren opplyste om at entreprenøren måtte installere ekstra lydisolerende materialer i hovedhallen etter overlevering. Da kommunen hadde vært og målt etterklangstiden var ikke resultatene tilfredsstillende i henhold til kravspesifikasjonen. Ved spørsmål knyttet til energibehov fortalte byggherren at det var forespeilet ca. 25 % redusert energibehov ved valgt løsning. Ettersom det var noen kvadratmeter å varme opp mente han at innsparingen ikke ville ta så fryktelig lang tid. Energiforbruket etter overlevering hadde ifølge byggherren vært noe høyere enn antatt. Dette ble forklart med at de fortsatt var i innkjøringsfasen og at de driftsansvarlige trenger noe tid for å bli kjent med det tekniske systemet.

Arkitektur og soliditet har vært viktige faktorer for byggherren gjennom prosessen. Det skulle velges løsninger som tålte tøff behandling. I kravspesifikasjonen ble det satt krav om vegger i betong eller Leca for å unngå gipsvegger som ungene kunne sparke i stykker. Ekstrakostnaden var byggherren villig til å ta og påpekte at det kunne tas igjen gjennom redusert vedlikehold. Da samfunnshuset som tidligere stod på samme tomt ble revet, rapporterte byggherren om mye støy i nabolaget. Da ny hall skulle bygges opp var det ønskelig at den skulle gli best mulig inn i nærmiljøet. Hallen ble derfor lagt lavt i terrenget og det ble betalt noen hundre tusen kroner ekstra ved å oppgradere fra grå betong til hvit marmor i fasaden.

Ytre miljø

Prosjektleder hevder at prefabrikasjon generelt generer lite avfall. På byggeplassen er det kun snakk om eventuelle strø som blir lagt igjen etter transportering. Ved beregning av klimagasser ble det også påpekt at en burde se på hele livsløpet og ta høyde for lavt energiforbruk gjennom driftsfasen. Salgssjefen opplyser også at de har gjenbrukt deler av betongavfallet til å bygge opp en mur ved innkjøringen til fabrikk.

HMS/SHA

Den største faren som prosjektleder trekker frem er klemskader. Det er store og tunge elementer som skal håndteres og blir løftet og flyttet en rekke ganger før de er ferdig montert. Konsekvensen av eventuelle klemskader kan være høy. Ifølge prosjektleder er det derfor viktig å utføre løft i egne avsperrede områder. Det er også viktig å unngå løft over andre aktiviteter.

Logistikk og transport

Flere intervjuobjekter pekte på tidlig prosjektering som en nøkkelfaktor og forutsetning for suksess. Erfaringene viser at prosjektering tett opp mot produksjon ofte skaper problemer. Prosjektleder opplyste om at en ved tidlig involvering kan legge til rette og tilpasse prosjektet gjennom hele verdistrengen. Vinduer og dører kan for eksempel ikke legges i skjøtene. Elementer må planlegges slik at uttellingen blir god i alle ledd (produksjon, transport og montasje). På denne måten kan en få fullt utbytte av gevinstene med prefabrikasjon. For å oppnå økonomisk transport poengterer prosjektleder at en er avhengig av å få 25-30 tonn pr. lass.

Salgssjefen mener at en av de største utfordringene ligger i at byggherren må forstå at det er viktig å låse designet tidlig, samt unngå endringer som ikke er vesentlig for prosjektets verdi. Det blir trukket frem at byggherren ofte ikke har innsikt i at produksjonen foregår parallelt med grunnarbeidet, og derfor tror det er greit å komme med endringer helt frem til montasjestart. Parallell produksjon vil gi kortere prosjekteringstid. Salgssjefen trekker frem sen involvering av tekniske entreprenører som et problem. Tekniske entreprenører bør tidlig involveres med tanke på å eventuelle utsparinger i elementene. Kjerneboring og hulltaking er kostbart og ofte blir det konflikter om hvem som er ansvarlig for den regningen.

God logistikk og flyt blir også trukket frem av flere som en viktig forutsetning. Prosjektleder fortalte at det er viktig å gjøre gode forundersøkelser når det gjelder veiforhold, transportmuligheter og forhold på byggeplass. Dette bør helst være klart før en eventuell kontrakt blir signert. Eventuelle mellomlagringer bør finne sted på en plan og bæredyktig plass for å sikre elementer mot velt. Salgssjef trekker frem at konsekvensene kan bli store hvis det blir stopp i flyten. Et montaselag koster fra 30 000

kr og oppover pr. døgn, avhengig av prosjekttype og beliggenhet. Det er derfor viktig at varene kommer til rett tid og uten feil og mangler.

Idrettshaller og prefabrikasjon

Prosjektleder hevder de greieste prosjektene å jobbe med er haller. Sammen med landbruksbygg er haller de prosjektene hvor det blir levert flest elementer. Hallene er enkelt bygget opp med stående sandwich-vegger, eventuelle mezzanindekker og tak med store spenn. Det er mange like elementer i bygget som gir besparelser i tid ved prosjektering, produksjon og montasje.

4.2 Case studie: Bankgata flerbrukshall og prefabrikkerte elementer i tre

4.2.1 Beskrivelse av case

Tabell 4.7: Nøkkelinformasjon Bankgata flerbrukshall.

Lokalisering:	Bodø
Byggherre:	Bodø kommune (i samarbeid med Nordland fylkeskommune)
Byggetid:	10. mars 2014 (igangsettelse) – 17. april 2015 (overlevering)
Huskostnad:	56 millioner kr ekskl. mva.
Areal:	3 500 m ² BTA
Entrepriseform:	Delt totalentreprise (Delt mellom tekniske fag og byggfag)
Totalentreprenør:	Vexti AS (Tidl. Bodø Bygg & Vedlikehold AS)
Arkitekt:	Green Advisers AS
Leverandør, trematerialer:	Martinsons AB og Splitkon AS

Bankgata flerbrukshall ble gjennomført som en delt totalentreprise. Vexti AS hadde ansvaret for totalentreprise bygg, og ferdigstilte hallen i april 2015. Totalt hadde prosjektet en kostnad på 56 millioner kr ekskl. mva. og utgjør en kostnad på 16 000 kr/m² BTA. Hallen er bestilt av Bodø kommune. Nordland Fylkeskommune har finansiert deler av prosjektet da den lokale videregående skolen skal ha brukstid i hallen. Hallen ligger strategisk plassert mellom Bodø videregående skole og Bankgata ungdomsskole. Bygget har et fotavtrykk på ca. 2 500 m² og et bruttoareal på om lag 3 500 m².



Figur 4.11 – Bankgata flerbrukshall, foto: Joakim Dørum.

Hallen er bygget som et kompakt bygg og kan deles inn i to seksjoner. Den ene delen omfatter selve hovedhallen, mens den andre delen består av øvrige arealer fordelt på to etasjer. I andre etasje er det bygget to mindre basishaller for matteidrett. Inndelingen av ulike arealer er gjengitt i Tabell 4.8.

Tabell 4.8: Seksjonsfordeling Bankgata flerbrukshall.

Hovedhall:	Banemål: 25 m x 45 m. Takhøyde: 7 m Areal: 1 200 m ² BTA (34 % av totalareal)
-------------------	--

Garderobedel: 2 stk. basishaller for matteidrett:
Areal: 570 m² BTA (16 % av totalareal)

Øvrige fasiliteter:

Areal: 1730 m² (50 % av totalareal)

3 garderobesett, 2 dommer/lærergarderobesett og 1 singelgarderobesett alle inkl. dusj og WC, lagerrom, vaktrom, heis, toaletter, spinningrom, styrketreningsrom.

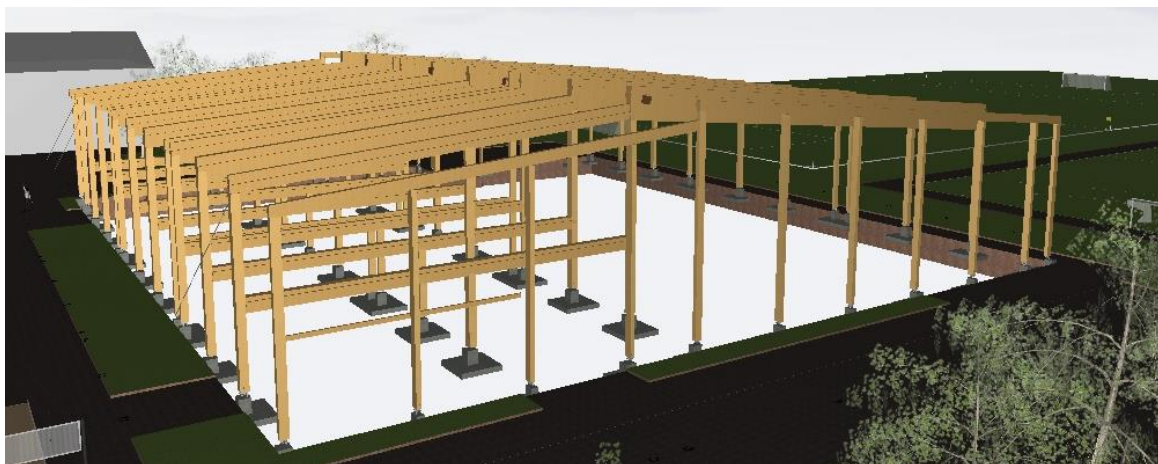
Før byggestart ble den gamle gymsalen til skolen revet. Vanskelige grunnforhold ga forsinkelser i prosjektet. Totalt var det over 6 000 kubikk med forurenset grunn etter krigen som måtte ryddes opp i før en kunne starte arbeidet med byggingen.

4.2.2 Beskrivelse av råbygg

Hallen er bygget opp som en rammekonstruksjon med søyler og bjelker. Søylene er boltet fast i putefundamenter som er støpt med prefabrikkert armering. Bruk av putefundamenter fremfor ringmur gir effektivitet med tanke på logistikk ved montasjen. Rammene er stivet av med prefabrikkerte vegg- og taksiver etter konseptet *Green Building System*. Oppbygningen av råbygget og konseptet beskrives videre. Det er for øvrig andre gangen det bygges en flerbrukshall etter dette konseptet.

Bæresystem

Hallen har et bæresystem av søyler og bjelker i limtre. Spennet i hovedhallen er på 27,4 m og de største dragerne utgjør 16,9 m³ limtre. Totalt i bæresystemet har det gått med ca. 310 m³ med tre. Figur 4.12 skisserer bæresystemet som er benyttet i hallen.

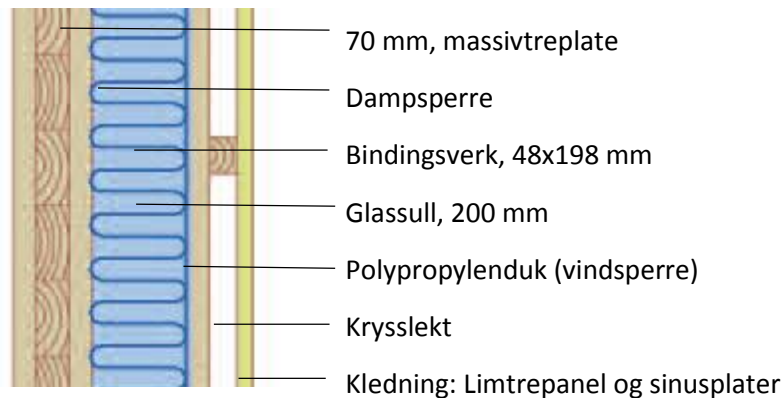


Figur 4.12 - Bæresystemet i Bankgata flerbrukshall.

Yttervegger

Ytterveggene er bygget opp av prefabrikkerte veggelementer. Elementene er bygget opp med 70 mm krysslåte massivtreplater som innvendig kledning. Videre er det lagt dampsperre og bindingsverk med 200 mm glassull. Elementene er tettet med polypropylenduk som vindsperre og krysslåtet klar for å sette på kledning. Kledningen består av linoljekokte limtrepaneler av furu, og ble lagt på etter montasjen. Deler av hallen er kledd med sinusplater av aluminium. Figur 4.13 illustrerer en snittegning

for ytterveggenes oppbygning. Veggene har en U-verdi på $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Totalt består råbygget av 140 veggelementer og utgjør ca. $1\,700 \text{ m}^2$.



Figur 4.13 - Prinsipp tegning av veggelement (Etter *Treteknisk og Trefokus*, 2011).

Dekker

Dekkene er bygget opp med 170 mm krysslagte massivtreskiver. Treskivene var prekuttet i forkant av montasjen, noe som ga effektiv gjennomføring. Etter råbygget var bygget opp ble dekket komplettert med 36 mm trinnlydsplate, 2 lag med vegduk (polypropylen netting) og 7 cm minimumsarmert betongpåstøp. Konseptet for oppbygningen av dekket er en ny løsning som arkitekten har hentet fra Tyskland. Samvirket mellom lette, porøse og tunge materialer skal gi god demping av vibrasjoner. Totalt utgjør dekket ca. 850 m^2 .

Tak

Taket er bygget opp av prefabrikkerte elementer. De er bygget opp med et 350 mm bjelkelag med isolasjon. På undersiden er det lagt dampsperre, 13 mm gips og spaltekledding med akustikkduk. Oppå bjelkelaget er det lagt et forenklet undertak (vindsperre). Undertaket er krysslektet og kledd med 18 mm OSB-plater. Videre er taket tekket med 2 lag papp. Det er første gang arkitekten benytter denne løsningen, men forteller at konseptet er hentet fra *Ringsaker Takelement* som har brukt en lignende variant i 15 år. Med denne løsningen vil en oppnå et tak som holder på energien og samtidig har god lufting. Det er ikke valgt massivtreskiver i taket av hensyn til krav knyttet til etterklangstid. Elementet er tekket med et lag før montasjen, og kompletteres senere med nytt topplag. Taket er satt sammen av 240 elementer og utgjør ca. $2\,430 \text{ m}^2$. Elementene har en U-verdi = $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

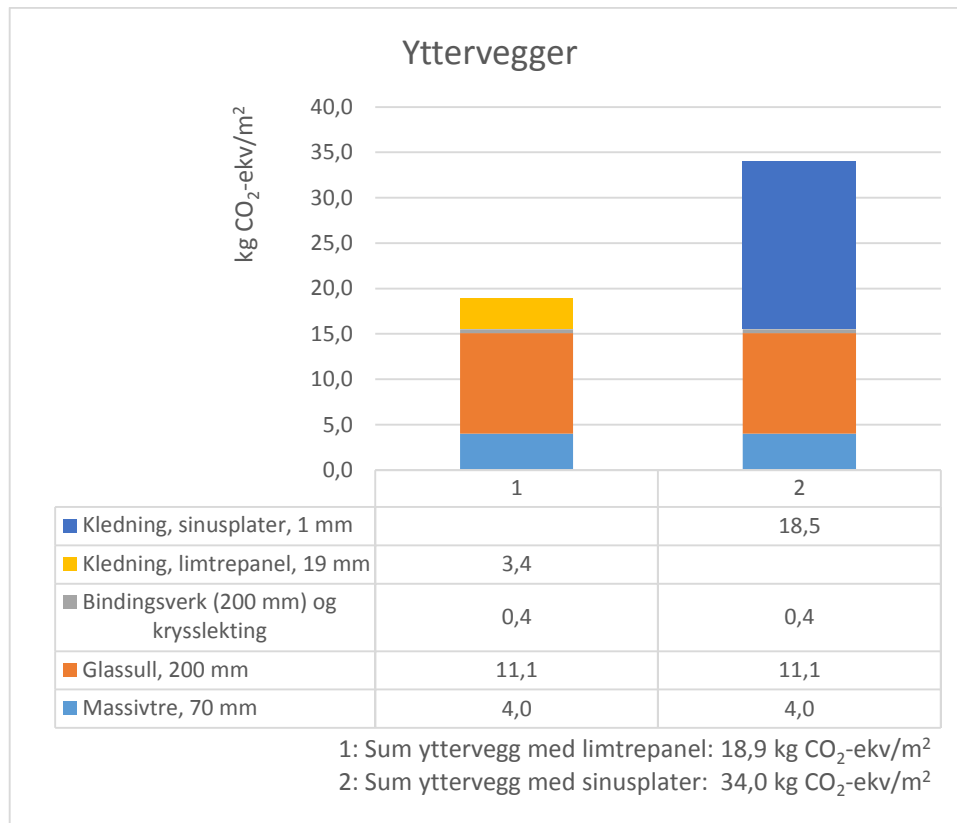


Figur 4.14 - Prefabrickerte takelementer klar for montasje. Foto: Joakim Dørum.

4.2.3 Klimagassberegninger

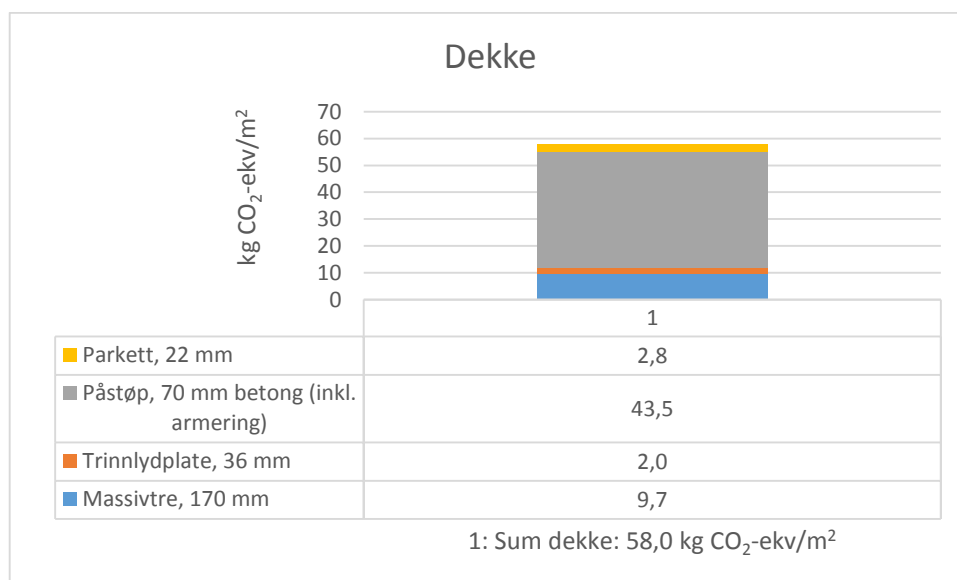
Det er utført klimagassberegninger for de ulike bygningsdelene i råbygget. Beregningene er utført etter oppbygningen som er beskrevet i underkapittel 4.2.2. Utslippene presenteres i Figur 4.15-4.17. Forutsetninger og antakelser for beregningene er gjengitt i Bilag C.

Ytterveggene er utført med to forskjellige kledningstyper. Utslippene for veggene er beregnet til 18,9 kg CO₂-ekv/m² for limtrepanelveggen og 34,0 CO₂-ekv/m² for veggene som er kledd med aluminiumsplater. Utslipp knyttet til ulike sjikt kommer frem av Figur 4.15.



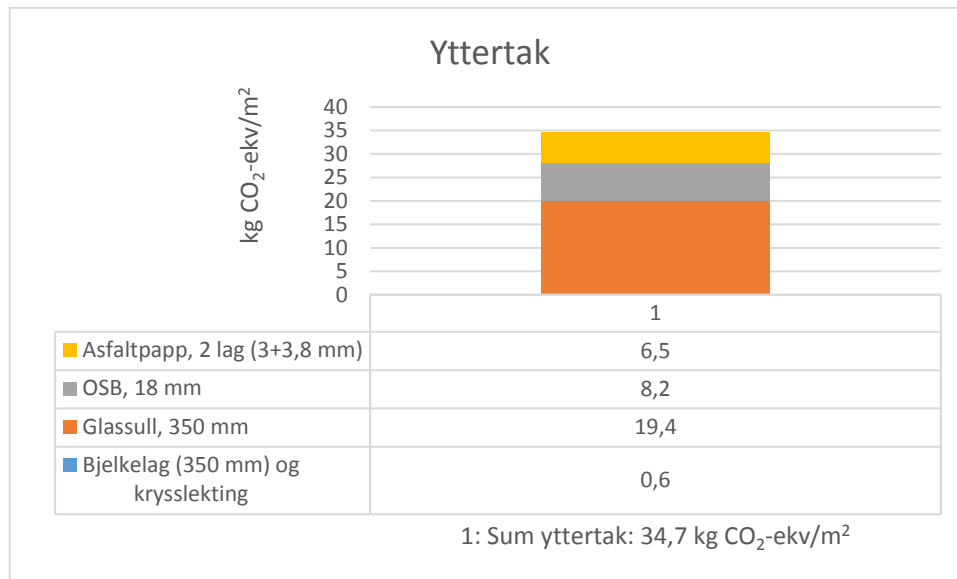
Figur 4.15 - Klimagassutslipp for yttervegger i Bankgata flerbrukshall.

Dekket i Bankgata er målt til å ha et klimagassutslipp på 58,0 CO₂-ekv/m². Utslippene fordelt på ulike sjikt i dekket kommer frem av Figur 4.16.



Figur 4.16 - Klimagassutslipp for dekket i Bankgata flerbrukshall.

Yttertaket i Bodø er målt til å ha et utslipp på 34,7 CO₂-ekv/m². Figur 4.17 angir fordelingen av utslipp over de ulike sjiktene.



Figur 4.17 - Klimagassutslipp for yttertaket i Bankgata flerbrukshall.

4.2.4 Green Building System

Det rådgivende selskapet *Green Advisers AS* står bak konseptet *Green Building System (GBS)*. Selskapet ble stiftet i 2010 og har hatt fokus på arbeid med store trehus. Forretningsstrategien bygger på samarbeid i partnermodell med ulike rådgivere og entreprenører, samt med leverandører bakover i verdikjeden. Videre beskrives konseptet *GBS* og hvordan byggingen av Bankgata flerbrukshall ble gjennomført.

GBS er en byggeteknikk som har blitt utviklet gjennom flere år med erfaringer, og studier av velfungerende løsninger. Materialer som stål og betong er i stor grad erstattet med limtre, bindingsverk og skiver av massivtre, og har resultert i en miljøvennlig løsning. Byggeteknikken er i stor grad basert på bygging med prefabrikkerte elementer. På denne måten oppnår en raskt et tett bygg, redusert byggetid og god økonomi. Ved å holde seg til samme konsept vil en også få økt forutsigbarhet, lavere sannsynlighet for feil og kortere planleggingstid. Målsettingen med konseptet er å være konkurransedyktig ved store byggeprosjekter.

Produksjon og montasje

Da kontrakten var signert, var prosjekteringen allerede unnagjort. Parallelt med grunnarbeidene ble det satt opp en provisorisk rigg og prefabrikeringen av elementene ble satt i gang. En provisorisk rigg kan bestå av et partytelt, garasjen til naboen, eller et blekktak mellom to containere. Dette vil være avhengig av hvilke forhold en har tilgjengelig på tomten. Figur 4.18 illustrerer hvordan den provisoriske riggen ble løst under byggingen i Bodø. Her vil containerne være praktisk med tanke på umiddelbar nærhet til nødvendig verktøy og materialer. Løsningen er primitiv ved at en kun har utgifter på ca. 20 000 kr i improvisert tak. Det at grunnen var forurenset og påførte prosjektet forsinkelser gjorde at det ble god tid til å prefabrikkere elementer. Det var derfor ikke behov for å leie inn ekstra bemanning for å få produsert nok elementer før montasjestart.



Figur 4.18 - Provisorisk arbeidsstasjon for å prefabrikere elementer. Foto: Joakim Dørum.

I råbygget til flerbrukshallen ble det kjøpt inn ferdigkappede søyler og bjelker i limtre fra *Martinsons* i Sverige. Arbeidet med montasjen startet først i garderobedelen, mens grunnarbeidet og fundamenteringen foregikk parallelt med å klargjøre hallflaten. *Skifjord Kran & Transport AS* ble leid inn til å bistå med montasjen. Montasjeledelsen ble utført av arkitekten. Dette var hensiktsmessig da han kjente bygget best og også hadde god kontakt med transportører og leverandører.

Søylene ble først boltet fast, og etter hvert stivet av med montasje av veggelementene. Veggelementene ble prefabrikkert på byggeplassen med strategiske mål på 2,40 m høyde og 5 m bredde. Ideelle spenn for trekonstruksjoner er 5 m mellom søylene. På denne måten får en utnyttet ytterveggen ved at den monteres mellom bæresystemet. Dette er også hensiktsmessig med tanke på bedre avstivning av bygget og mindre moment i knutepunktene. Figur 4.19 illustrerer hvordan veggelementene er montert.



Figur 4.19 - Oppbygging av veggelementer i Bankgata flerbrukshall. Foto: Joakim Dørum.

Videre i prosessen ble bjelkene til etasjeskilleren lagt. Massivtreskiver til dekkene ble levert 95 % ferdig kappet fra *Martinsons* og var dermed klar for montasje. Bjelkene hadde innfrestede spor slik at skivene kunne monteres mellom bjelkene. På denne måten sparer en byggehøyde. Samme løsning ble også benyttet til bjelkene i taket. Flere mener at det oppstår kuldebroer ved denne løsningen, men arkitekten påpeker at tre er en isolator og at mange får seg en overraskelse når de utfører beregninger

på dette. Mulighetene for innfesting er gode i trematerialet, og bidrar til effektiv montasje. Figur 4.20 illustrerer montasjen av etasjeskilleren. Bildet er tatt etter to uker med montering av ett montaselag.



Figur 4.20 - Montering av massivtreskiver i etasjeskiller. Foto: Joakim Dørum.

Etter monteringen av etasjeskilleren ble arbeidet intensivert med et ekstra montaselag. Ytterveggene ble kledd opp til taket og bjelkene i taket ble montert. Takelementene ble montert samtidig som søylene i hovedhallen ble satt opp. Montasjen av hovedhallen ble utført etter samme prosedyrer som garderobedelen. Totalt tok det seks uker å sette opp råbygget og resultatet er illustrert i Figur 4.21.



Figur 4.21 - Råbygget til Bankgata flerbrukshall, ferdig montert etter seks uker. Foto: Joakim Dørum.

Kostnader

Prisen for de ulike elementene som er benyttet i hallen i Bodø er gjengitt i Tabell 4.9. Prisene er basert på kalkylen og omfatter materialer, produksjon, montasje og påslag. Alle elementene er bygget opp i henhold til beskrivelsen i underkapittel 4.2.2. I prisen for veggelementene er kledningen ekskludert. Her legges det til 150 kr/m² for aluminiumskledning og 290 kr/m² for limtrepanelet. Overflatebelegget i dekket er ikke inkludert i prisen. For yttertaket vil prisen inkludere ferdig tak med himling og tekking.

Tabell 4.9: Kostnader, ulike elementer.

Bæresystem	Ca. 3 millioner kr (3-4 % av kontrakt)
Veggelementer	1 050 kr/m ²
Dekker	1 550 kr/m ²
Takelementer	1 080 kr/m ²

Montasjen av råbygget ble gjennomført med bruk av sakselifter. Det var derfor ikke behov for leie av stillaser. Under hele monteringen var det kun behov for mobilkran i seks dager. Resten av montasjen

ble utført med lastebilkran. Råbygget ble reist i løpet av kort tid, og det var derfor ikke behov for å bygge under telt. Kostnaden med å varme opp bygget ble også rapportert om å være lav.

Lastebilkran ble leid for 1 250 kr/t og mobilkran ble leid for 5 000 kr/t. Det ble opplyst om at mobilkran vanligvis er dobbelt så dyrt som lastebilkran.

Tid

Det ble produsert 8 elementer om dagen med et produksjonslag på tre mann. Antar en at det går med 7,5 t pr. arbeidsdag utgjør det totalt 22,5 timeverk. Med 12 m² pr. element ble det da produsert 96 m² pr. dag. Det vil si en produksjon på 4,27 m²/tv eller evt. 0,23 tv/m². Dette gjelder produksjon av veggelementer. Produksjon av takelementene tok dobbelt så lang tid. Det vil si en produksjonshastighet på 2,13 m²/tv eller 0,46 tv/m². I etterkant av prosjektet ble det rapportert at det totale antall arbeidstimer som var gått med i prosjektet var overraskende lavt, og at de hadde beregnet feil antall timer.

Ved byggingen av flerbrukshallen var det kun tre av arbeiderne som hadde tidligere erfaringer fra samme konsept. Noe tid gikk derfor med på å lære opp uerfarne arbeidslag. Byggeleder rapporterte videre at arbeidslagene hadde solid økning i produksjonsvolumet på opp mot 150 % fra første til andre prosjekt. Alle visste etter hvert hva som skulle gjøres, og tid gikk ikke tapt til spekulering.

Montasjen av råbygget ble gjennomført på seks uker. Dette var 14 dager tidligere enn det som var satt av i fremdriftsplan. Noe av årsaken til dette var gode værforhold. Det var ingen montasjestopp som følge av dårlige vindforhold. Som utvendig kledning ble det valgt å benytte stående limtrepaneler ferdig overflatebehandlet og kappet. Disse er vesentlig større enn vanlige trebord og tar betydelig kortere tid å legge. Behovet for å leie inn malere og lifter etter montasjen er også eliminert.

Byggeleder informerer om at det tar ca. 15 min pr. løft av veggelement, 10 min pr. løft av takelement, dekker eller søyler, og ca. 1 time pr. bjelke. Dette stemmer også godt overens med tidsforbruket for kranløftene utført i Bankgata. Til montasjen trengs det én montasjeleder, to mann til klargjøring og to mann til selve monteringen, samt en mann i kranen. Videre trengs det fire mann til tetting, overganger og forarbeid. Det blir montert én akse med vegg, tak og bæresystem per dag. Dette tilsvarer typisk seks veggelementer, to søyler, en bjelke og ti takelementer.

Kvalitet

Produksjonen av elementene ble utført i kontrollerte omgivelser under tak. Elementene ble lukket før montasjen og på denne måten unngår en innebygd fukt i veggene. Rask tetting av bygget vil også gi bedre sannsynlighet for et bra sluttprodukt ved at det er mindre sårbart overfor dårlig vær.

Ved montasjen ble det oppdaget at det var et sett med takelementer som var satt feil bjelker på. Samme snekkeren som monterte det hadde også lagd det, så problemet ble løst uten store vanskeligheter. Totalt ga dette to timer med ekstraarbeid. To av dekkelementene ble også levert for lange. Dette ble løst etter fem minutter med sagen.

Når det gjelder levetid på bygget opplyser arkitekten at det i hvert fall bør takle 50 år. Det finnes enkelte produkter i konseptet som ikke garanterer lengre levetid enn 50 år. Dette gjelder blant annet stålproduktene som etter hvert vil ruste. Selve hovedsystemet anslår arkitekten til å kunne stå lenge. Forutsett rett vedlikehold anslår han over 100 år, men peker på at det er vanskelig å forutsi noe så langt frem i tid.

I kravspesifikasjonen var det satt krav til at bygge skulle tilfredsstillende energiklasse B. Hvorvidt det er hensiktsmessig å sette krav om dette i en todelt totalentreprise kan alltid diskuteres. For å løse dette valgte arkitekten å legge inn ekstra isolasjon i elementene. Det er ikke utført energimålinger for bygget, men det er ventet at det skal tilfredsstillende energiklasse B med grei margin.

Ytre miljø

I kravspesifikasjonen ble det krevd at det skulle være minimum 80 % sortering av alt avfall. Sorteringsgraden av avfallet ble anslått til å ligge på mellom 95-97 %. Den gode sorteringsgraden ble oppnådd da entreprenøren hadde hyrt inn et selskap til å sortere restavfallet. Byggelederen har videre erfart at avfallsmengden ligger på ca. halvparten av det som er vanlig ved tradisjonelle byggeteknikker. Ved Bankgata var noe av årsaken til lave avfallsmengder at noen så verdien av kapprestene og brukte det som ved i ovnen.

SHA

Generelt ble det meldt om godt humør og god arbeidslyst hos håndverkerne på byggeplassen. Elementene ble produsert under tak på arbeidsbukker i passende høyder. Ved produksjon av veggelementer ble det lagt massivtreskiver i bunn. På denne måten oppnås en fin arbeidsflate å jobbe på. «Det er enklere å bygge på stuebordet enn nedpå gulvet, og når du bytter stuebord for hvert element så går det effektivt.» Elementene er strategisk utformet med tanke på størrelsen. Arbeiderne kan jobbe i et helt annet tempo når de slipper å klatre rundt på elementene, og det blir også mindre gris.

På prosjektet var det ingen skader som følge av bruk av prefabrikkerte elementer. Det var noen rapporterte hendelser om uforsvarlig bruk av lift, men dette skyldes uvitenhet og ble raskt tatt tak i. Eksempler på dette var klatring på liften og at folk satte opp bakdøra på grinden.

Ved prosjektet ble det valgt å sikre med selebruk i hele prosessen fremfor kantsikring. Kantsikring ble sett på som en risiko da det ofte oppstår harde vindforhold. Ved høy vindstyrke måtte en vente med montasjen og sikre løse gjenstander.

Logistikk og transport

Det ble rapportert om at alle leveranser gikk etter plan. Byggeplassen i Bodø hadde god lagringsplass, så det var ikke noe problem å mellomlagre elementene. Tak- og veggelementene er produsert på byggeplass, så det eneste en var avhengig av fra transporten var bæresystemet og skivene til dekket. På denne måten kunne elementene losses av bilen uten at kjøretøyet måtte vente til montasjen var ferdig. Elementene ble fraktet i en strategisk rekkefølge som bidro til effektiv montasje. Det var derfor ikke behov for å utføre unødvendige løft for å stokke om på elementene.

Søylene og bjelkene i limtre ble transportert med bil fra Martinsons i Sverige. Fra fabrikken i Bygdsiljum til flerbrukshallen i Bankgata er det ca. 53 mil. Veiene i Sverige ble meldt om å være fine. Verre er det med de norske veiene. Med riktig transportutstyr er det ikke noe problem å frakte store elementer. De lengste limtretragerne var på over 27 m, og med bil og henger ble den totale lengden på vogntogene på 35 m. Dette er langt over maksimal tillatt transportlengde i henhold til norske veglover. Ved de store lassene var det behov for å søke om dispensasjon. Disse ble kjørt om natten for å få minst mulig stopp av trafikken, og ble ledsaget av fire følgebiler samt politieskorte. Transport over natten var gunstig da bilen var ferdigtømt rundt kl. 7-8 om morgenen, i passende tid for ny arbeidsdag.

4.2.5 Intervjuer

Dette delkapittelet oppsummerer resultatene fra intervjuene knyttet til Bankgata flerbrukshall. Det er gjennomført et omfattende intervju, i tillegg til oppklarende møter i forkant og etterkant av intervjuet. Det er også foretatt en befaring på byggeplassen i Bodø. I den anledning ble det avholdt samtaler med ulike aktører hos entreprenøren, samt byggherreombudet.

Tabell 4.10: Informanter, Bankgata flerbrukshall.

<u>Intervju:</u>	<u>Dato:</u>
Arkitekt, prosjekteringsleder og byggeleder	11.05.2015
<u>Befaring, Bankgata flerbrukshall:</u>	25.03.2015
Samtaler med entreprenørens prosjektleder og assisterende prosjektleder, samt byggherreombud	

Kostnader

Det ble påpekt at bruk av prefabrikkerte elementer gir kostnadsbesparelser. Det er ønskelig å ha minst mulig operasjoner på veggen, da dette er den dyreste plassen en kan bygge. Dette er en entreprenørføring som ikke blir etterkalkulert hos mange. Å sette opp stillas og bære opp alle materialer manuelt er ineffektivt og koster penger. Det er bedre å ha nødvendig utstyr og materialer på samme plass, og med kortest mulig vei til utførelsesplass.

Det fine med prefabrikasjon er at det ikke er rom for å gjøre større endringer i prosjektet. I løpet av kort tid vil bygget være ferdig produsert. utfordringen ligger i å få byggherren til å forstå seg på konseptet med prefabrikasjon. Å tro at ting kan endres inntil at det er ferdig montert og overlevert er en fryktelig sykdom.

Videre opplyser arkitekten at det er en fordel å ha ansvaret for å prefabrikkere elementene selv fremfor å kjøpe fra fabrikk. Dersom det skulle oppstå feil på noen av elementene vil en at fabrikken skal ordne opp i feilen. Dette kan føre til stopp i gjennomføringen av montasjen og vil påføre forsinkelser og ekstrakostnader. Ved å ha ansvaret for prefabrikasjonen selv har en folk i organisasjonen som er i stand til å produsere nye elementer i løpet av kort tid. Dersom en limtrebjelke er for lang, kan en fikse den til med sag uten at det er noe problem. Er den for kort, er det derimot verre. Det hevdes at det ikke er en taktisk tilnærming å betale seg ut av problemet. Ved å overlata ansvaret til andre mister en kontroll på verdiskapingen og styringen av logistikken. Dersom en overlater ansvaret til andre som har flere prosjekter å levere til samtidig, er det fort gjort at det går galt. Skal en først kjøpe fra fabrikk bør dette bestå av enkle elementer og store kvantum på eksempelvis 200 elementer.

I forbindelse med rigg- og driftskostnader ble det påpekt at en lift koster ganske mange kroner i døgn, som igjen kan finansiere mange kvadratmeter stillas. Ved bygging med elementer i tre blir det trukket frem at behovet for mobilkran er redusert og at en får gjort det meste med lastebilkranner. Dette er gunstig og vil gi reduserte kostnader. Videre poengteres det at dersom en entreprenør har tårnkran eller mobilkran tilgjengelig, så vil svaret være annerledes med tanke på hva som er mest hensiktsmessig. Det vil være behov for færre arbeidere under selve gjennomføringen, men noen må

prefabrikkere og da flytter du folk fra byggeplass til der prefabrikasjonen foregår. Kostnadsbesparelsene blir da inntjent gjennom effektivt arbeid. Det fine med prefabrikasjon er at en oppnår tett bygg rimelig fort. På denne måten kan en oppnå besparelser da det ikke er behov for mye oppvarming for å holde bygget varmt.

Tid

Den største fordelen med prefabrikasjon er parallelle prosesser, som gir kortere byggetid. Samtidig som grunnarbeidet pågår produserer en hus. Arkitekten opplyser om at han har rimelig god kontroll på byggesaksbehandlingen, som gjør at en kan prefabrikkere huset samtidig som byggesaken går.

Videre ble styrken med å bruke samme byggesystem i hvert prosjekt poengtert. Med prefabrikasjon og standardisering trenger en ikke å finne opp hjulet på nytt hver gang, men kan heller fokusere på kontinuerlig forbedring. Her sparer en mye tid ved prosjekteringen ved at det kun er små justeringer en må gjøre mellom hvert prosjekt. Dette vil også gi reduserte prosjekteringskostnader. Arkitekten forteller at i den forrige jobben som generell konsulent i Asplan Viak var det behov for å være god i rehabilitering av betong den ene dagen, branntetting andre dagen og glassfiberkonstruksjoner tredje. Det poengteres at dette var lærerikt, men en ble aldri skikkelig god i noe. Arkitekten så for seg at vinnerne fremover ville være de som er kjempegod i noe, og begynte derfor for seg selv med bygging av trehus. Det å være trofast mot samme byggesystem og materialer vil gi færre grensesnitt og dermed redusert risiko for uforutsette hendelser.

God fremdriftsplanlegging blir trukket frem som en viktig forutsetning for gjennomføringen. Planene må henge sammen med det som skal produseres. Her handler det mye om erfaringer og finne ideelle oppskrifter på hvordan elementer skal lages og videre monteres. Fordelen med å holde på med så store bygg er at det alltid er noen ender å ta tak. På denne måten vil en alltid ha noe å gjøre og unngår stopp i produksjonen.

Den største utfordringen som ble trukket frem ved prefabrikasjon er at en er nødt til å produsere mye i løpet av kort tid, og at det ikke alltid er tilstrekkelig med kapasitet til å buffre opp med nok elementer. På denne måten blir det vanskelig å holde jevn flyt i montasjen og en får ikke utnyttet potensialet ved parallell produksjon fullt ut. Arkitekten påpeker at dette ofte løses av seg selv ved at grunnforholdene er mer omfattende enn forutsatt. En annen mulighet som nevnes er å buffre opp med elementer som en vet en får bruk for senere, men det påpekes at kontinuiteten mellom prosjektene foreløpig er for lav til at dette lar seg gjøre.

Kvalitet

Jo mer du prefabrikerer desto mindre blir sjansene for feil. Flere like elementer vil også redusere risikoen for å gjøre feil. Den største svakheten med prefabrikasjon, som en også kan se på som en styrke, er at du må gjøre ting rett. Det er ikke rom for å gjøre ting feil, da elementene ikke vil passe i systemet. «Prefabrikasjon er som et puslespill. Lages feile brikker får en aldri puslespillet sammen.» Fordelen med å bygge med trematerialer er at en lett kan gjøre tilpasninger dersom det skulle oppstå endringer eller feil. Ofte kan dette løses etter litt arbeid med sagen. Det ble poengtert at feil er noe som forekommer i alle prosjekter. Da handler det om å benytte et byggesystem som takler at ting blir feil. Fordelene med tre som byggemateriale er at det er lett i vekt, enkelt å skru og feste ting i, og det er lett å gjøre justeringer. Dette åpner for å gjøre ting på en litt enklere måte enn ved andre materialer. Dersom betongelementer blir levert for korte eller lange har en større problemer. Det er ikke mulig å

uten videre sage eller støpe på betongelementet uten at det oppstår komplikasjoner. Å rive ned eller produsere elementer på nytt er både tid- og kostnadskrevende.

På spørsmål om klimaet var avgjørende for resultatet av montasjen ble det trukket frem at elementene tåler nedbør. Med høy kontinuitet på montasjen vil det ikke være behov for bygging under telt. Et telt vil være mer negativt enn positivt. Teltet vil stoppe regnet ovenfra, men ikke kondenseringen på undersiden. Det vil heller ikke være behov for uttørking av trematerialene etter montasjen. Litt av fordelene med å bygge med prefabrikkerte tak- og veggelementer er nettopp at bygget blir eksponert for mindre fuktighet. Uavhengig av materialtype forventer arkitekten at det vil bygges med mer prefabrikkerte elementer i fremtiden.

Arkitekten har gode erfaringer når det gjelder energiforbruket i tidligere prosjekter. Her har det vært utført målinger for et bygg i Klebu som er på størrelse med idrettshallen i Bodø. Erfaringer viser at energiforbruket er ca. halvparten av det som har vært simulert, med målinger på 65-70 kWh/m² pr. år. Dette tilfredsstillende A-klassen. Ved å bygge med trematerialer får en ofte god tetthet med på kjøpet, da det rettes stort fokus på dampsperran. Alle overganger og skjøter er kritiske, men en opplever generelt god tetthet. Dette gjenspeiler også det lave energiforbruket.

Når det gjelder brannkrav opplyses det om at det ikke finnes betydelige begrensninger når en sammenligner med andre materialer, foruten ett unntak. Dette gjelder overflatekrav i rømningsveier og store rom. For å løse dette må en legge gipsplater eller beskytte med brannbeskyttende impregnering eller maling. I dag er massivtre ansett som en lett tennbar overflate. Arkitekten tror at dette er noe som vil endre seg over tid. Han har selv utført forsøk hvor en har prøvd å tenne på skivene av massivtre uten særlig hell. Videre uttrykker arkitekten at gips er lite egnet til bruk i idrettshaller, da disse ikke er bestandig mot unger.

På spørsmål om hvordan materialvalget påvirker lydforholdene ble det trukket frem at det hadde lite å si. Alle løsninger er avhengig av å installere absorbenter i himling og eventuelt vegger for å tilfredsstille kravene i standarden.

Den største risikoen ved prosjektet mente arkitekten var hvordan byggherren forholdt seg til at konkurransegrunnlaget ble fraveket på omtrent alle punkter. Der hvor kravspesifikasjonen hadde noe fornuftig over seg ble det fulgt, mens øvrige endringer ble gjort for prosjektets beste for å sikre god kvalitet på løsningene som ble overlevert. Arkitekten har arbeidet mye med idrettsanlegg tidligere og har en feeling på hva som fungerer og ikke. Det blir trukket frem at det ofte går 30 år mellom hver gang kommunen bygger et idrettsanlegg, og at mange avgjørelser blir tatt på tynt grunnlag. Dette er noe som går igjen flere steder. Det bygges én gang og alle erfaringer blir deretter dypt begravet i arkivet.

Miljø

Det blir påpekt at avfallsmengdene oftest måles i tonn. Her kommer tre bra ut da det har lav tetthet sammenlignet med stål og betong. Generelt vil bruk av prefabrikasjon generere lite avfallsmengder. Noe av årsaken til dette er gjenbruksmulighetene en har ved trematerialene. Ved prefabrikasjon vil det også generelt være lite materialer på byggeplassen. Færre fag og utstrakt bruk av trematerialer vil også forenkle prosessen med resirkulering. Arkitekten mener tre er positivt med tanke på klimagasser, men ser på seg selv som inhabil.

SHA

Det fine med å benytte prefabrikkerte elementer er at en flytter arbeid fra høye punkt og ned på bakken. Ryddigheten på byggeplassen blir også bedre, da det er mindre materialer og utstyr å rote med. I Bodø er det harde vindforhold, og god ryddighet på byggeplass vil derfor være ekstra viktig. Minuset ved store bygg og store dimensjoner er bruk av stort utstyr. Dette er noe tømrere ofte ikke har erfaringer med. Det at det arbeides på akkord har også sine skavanker ved at arbeidet skal gå fort og at en velger enkelte uheldige snarveier.

All montasje medfører risiko. Her blir det trukket frem at det er viktig å ha respekt for jobben og sette seg inn i hva en skal gjøre gjennom sikker jobb analyser. Utfordringen ligger i korrekt selebruk og da spesielt under montering av bygg med store spennvidder. Det vil si at en må ta med selen underveis og unngå lang løpebane på linen.

Logistikk og transport

Utfordringen med prefabrikasjon er at en er nødt til å sette av tid til planlegging tidlig i prosessen. Stabskostnaden vil være noe høy i starten, men tilsvarende mindre underveis da en har mer kontroll. I en stresset hverdag er det utfordrende å få folk til å bruke nok tid på å forberede seg, isteden tas problemer etter hvert som de dukker opp. Planlegger en godt vil en kunne spare tid og unngå ubehagelige overraskelser.

Ved prefabrikasjon er det bygget som bestemmer kompleksiteten. Da er det en fordel at en som arkitekt og byggeleder er involvert gjennom hele byggeprosessen. Ved å tilpasse bygget til elementene kan en få stor effektivitet. Store firkantete elementer vil være mer gunstig fremfor skråvegger.

Det vil være viktig å sikre at transporten kommer til rett tid og at varene monteres i henhold til fremdriftsplanen dag for dag. Alle elementene blir transportert etter strategisk rekkefølge. Klarer en ikke å bli ferdig med dagens lass, vil det neste lasset påføre ekstraarbeid med å laste om på elementene. Utfordringen her ligger i å ha en feeling på hvor mye som produseres pr. dag og ha andre aktiviteter tilgjengelig dersom det skulle skjære seg eller hvis en blir tidligere ferdig. Det anbefales at en ikke starter med for store prosjekter. På denne måten får en erfaringer om hvordan ting henger samme og kan bygge seg opp kompetanse over tid.

Ved prefabrikasjon er en mindre avhengig og følsom overfor beliggenheten til prosjektet. Arkitekten opplyser om at han jobber med en idrettshall i Lofoten hvor det ser ut som at det lønner seg å prefabrikere hele bygget og frakte det opp med båt. Byggekonseptet er også uavhengig av forholdene på tomten. Tomten trenger ikke være mye større enn bygget for at en skal kunne gjennomføre prosjektet, og trange tomter vil det bli flere av.

Når det gjelder begrensninger knyttet til transport vil det være områder som er mindre egnet for å frakte store elementer med bil. Her blir Lofoten og Vestlandet trukket frem som rimelig håpløst. Dette gjelder først og fremst transporten av bjelkene som skal sørge for spennvidden i hallen. Alternativet da er å designe hallen med et annet rammesystem hvor en oppnår det store spennet ved skjøting av limtrebjelkene. En annen mulighet vil være å transportere det med båt.

Idrettshaller og prefabrikasjon

Hus over 1 000 m² vil være egnet for GBS. Dette er sett på flere ulike typer byggeprosjekter. Bygg med store veggflater uten vinduer vil gi stor effektivitet. Når det gjelder idrettshaller forteller arkitekten at

han ikke har sett bedre løsninger på andre idrettshaller, og skulle gjerne likt å se noe som er mer effektivt.

5 Diskusjon

5.1 Prefabrikasjons innvirkning på byggeprosessen

Oppgavens første forskningsspørsmål har utformingen «Hvilken innvirkning på byggeprosessen har bygging med prefabrikkerte elementer?» Forskningsspørsmålet er vidt formulert og kan omfatte flere forhold. Med bakgrunn i litteratursøket og resultatene i kapittel 4 er de antatt mest sentrale forholdene plukket ut og diskutert i dette delkapittelet. Delkapittelet er del inn i tre underkapitler og tar for seg produktivitet, samarbeid i verdikjeden og verdiskaping.

5.1.1 Produktivitet

Forbes og Ahmed (2011) viste til lav produktivitet i byggenæringen. Det ble hevdet at 40-60 % av arbeidsdagen på byggeplassen er uproduktiv. For å bedre produktiviteten trakk Ballard og Howell (1998) frem at en i større grad burde tilstrebe å flytte verdiskapingen vekk fra byggeplass og over til fabrikk. Flere forfattere (Berg, 2008; Gibb, 1999; Pasquire & Connolly, 2002) var samstemte om at produksjonsprosessen i fabrikker vil være langt mer effektiv enn på byggeplass. Kontrollerte omgivelser, avansert utstyr, standardiserte arbeidsoppgaver og spesialiserte arbeidere var noen av forholdene som ble nevnt. En forutsetning for dette vil være å produsere i store serier og at elementene er optimalisert etter forholdene i fabrikkens fasiliteter. Ingvaldsen og Edvardsen (2007) illustrerte verdiskapingen på byggeplassen som en «black box»-modell (Figur 3.2). Det ble vist til at byggeprosessen påvirkes av flere variabler og at det er vanskelig å beskrive hva som vil være avgjørende for prosjektets utfall. I en fabrikk vil forholdene være mer oversiktlig. Det vil være lettere å overvåke produksjonen, og kunne kontrollere hva som går inn og ut av fabrikk. Grunnlaget for å kunne utføre målinger vil derfor være mer egnet. Benchmarking blir trukket frem av Forbes og Ahmed som en viktig forutsetning for å øke produktiviteten. Ifølge Koskela (1992) vil det være helt nødvendig å utføre målinger for å kunne sammenligne seg opp mot den antatt beste i markedet.

Implementere prinsipper fra Lean

Den beste måten å innføre Lean i byggeprosessen vil være å overføre en størst mulig andel av verdiskapingen fra byggeplass til fabrikk (Ballard & Howell, 1998). Der vil forholdene være gode til å kunne effektivisere prosessen. Prinsippene fra Lean bygger i likhet med Supply Chain Management på kontinuerlige forbedringer og høy kvalitet på sluttproduktet. Koskela (1992) viser til at en kan oppnå god flyt ved å redusere og eliminere de ikke-verdiskapende aktivitetene. Forbes og Ahmed (2011) refererte til Ohno (1988) som trakk frem ulike kategorier av sløsing (Tabell 3.5).

På fabrikk i Overhalla har de ansatt en egen Lean-koordinator, og har de siste to årene satset på å innføre Lean i hele organisasjonen. Det ble først fokusert på å innføre 5S i produksjonsavdelingen. Lean-koordinatoren hevdet at dette var en viktig begynnelse for å få innarbeidet rett kultur og gode holdninger blant arbeiderne. Det at folk fort faller tilbake til gamle vaner ble trukket frem som et problem av Moore (2007). Her kan det tyde på at Overhalla Betongbygg gjorde lurt i å starte forsiktig med 5S før de gikk videre med satsningen på målstyring og Lean. Lean-koordinatoren informerte om at de verdiskapende aktivitetene ved virksomheten hadde blitt kartlagt gjennom en verdistrømsanalyse. På denne måten ble alle de ikke-verdiskapende aktiviteter tydeliggjort for hele selskapet. Det har vært stort fokus på problemløsning og kontinuerlige forbedringer ved bruk av blant annet A3-rapporter. Noe av forbedringene har gått ut på å produsere rette elementer til rett tid med

rett kvalitet. På denne måten unngår en unødvendig lagring av materialer og oppnår bedre flyt i prosessen. Dette har også ført til bedre kontroll, mindre overtidsarbeid og bedre kvalitet på elementene. Det viser tydelig at effekten av å fokusere på Womack og Jones' grunnprinsipper (Tabell 3.6) har ført til mindre sløsing og en mer effektiv produksjonsprosess.

Det er også merkbart at prosjektet i Bodø også har tatt i bruk enkelte grunnprinsipper fra Lean og har hatt fokus på å redusere sløsing. Dette kommer godt frem gjennom ønsket om å perfektionering. Hovedfokuset ligger på sluttproduktet og det søkes etter muligheter til å kunne gjøre forbedringer bakover i verdikjeden. Det søkes stadig etter muligheter for å effektivisere de ulike bygningsdelene. Fra intervjuet ble det trukket frem at det var ønskelig med store og grove sjikt for å oppnå færre arbeidsoperasjoner. Dette er noe som vil øke effektiviteten. Videre ble det påpekt en burde utføre færrest mulig arbeidsoperasjoner på veggen, da dette er den dyreste plassen å arbeide. Å frakte materialer og utstyr opp og ned i stillaset er noe som tar unødvendig lang tid. Unødvendig bevegelse var en av hovedkategoriene for sløsing som ble henvist til av Forbes og Ahmed (2011).

5.1.2 Samarbeid i verdikjeden

Gibb (2001) trakk frem at leverandørene kjenner markedet godt, og at de ofte priser varene taktisk høyt. Etterspørselen på markedet og betalingsvilligheten blir trukket frem av Eikeland (2000) som usikkerheter i prosjektet. Antall konkurrerende produkter vil også være av betydning for hvilken pris leverandøren kan legge seg på. For å redusere denne usikkerheten kan det være hensiktsmessig å fokusere på langsiktig samarbeid i verdikjeden og satse på standardiserte byggekonsepter.

Supply Chain Management

De prefabrikkerte bygningsdelene som er studert i denne oppgaven er bæresystemet, ytterveggene, dekkene og yttertaket. Det antas at dette vil representere store deler av prosjektets kostnader. Av referansekostnadene fra Tabell 3.9 kom det frem at de respektive bygningsdelen utgjør ca. 40 % av huskostnaden. Valg av prefabrikkerte løsninger også i andre bygningsdeler, vil føre til at andelen økes ytterligere. Bruk av prefabrikkerte løsninger blir stadig mer brukt i byggenæringen (Berg, 2008). Samarbeid i verdikjeden vil være ekstra viktig når en så stor del av prosjektets verdiskaping potensielt skal overlates til en annen part.

I Supply Chain Management (SCM) viser Vrijhoef og Koskela (2000) til fire ulike perspektiver. Et av perspektivene har fokus på å flytte aktiviteter vekk fra byggeplass og bakover i verdikjeden. Økt bruk av prefabrikasjon blir nevnt som en mulighet til dette. Et av de andre perspektivene bygger på å integrere og forbedre styring i både verdikjeden og på byggeplass. Den har som mål å bygge langsiktige partnerskap og rette fokus mot hele verdikjeden. Apleberger (2007) viste til at godt samarbeid i kjeden henger sammen med god informasjonsflyt og effektiv logistikk. En av arbeidslederne fra fabrikken i Overhalla hevdet at 75 % av alle feil skyldtes svikt i kommunikasjonen. God flyt av informasjon og langvarig samarbeid vil gi større forutsigbarhet, og bygge tillit mellom aktørene i kjeden. Dette vil redusere usikkerheten, skape en mer reaktiv leveranse til høyere kvalitet. Når kunden har kjennskap til hvilken kvalitet produktene blir levert med, kan tid bli spart gjennom mindre behov for kontroll og kvalitetssikring. Dette indikerer at potensialet ved SCM er stort.

Standardiserte byggekonsepter

Vrijhoef og Koskela (2000) beskriver verdikjeden som midlertidig i de aller fleste tilfeller. Et problem som blir trukket frem er at prosjekter ofte designes på nytt hver gang, og det er liten repetisjon mellom prosjektene. Dette vil gi lav kontinuitet for prosjektorganisasjonen, som i mange tilfeller kan føre til lav effektivitet. Apleberger et al. (2007) og Cox (1999) viser til standardisering av prosessene gjennom faste byggekonsepter som en mulig løsning. Dette vil føre til at en i større grad kan oppnå et gjentakende samarbeid med leverandørene. Fordelen ved å bruke samme byggesystem var også noe arkitekten fra prosjektet i Bankgata viste til. Grunnlaget til å forbedre løsningene fra prosjekt til prosjekt vil være bedre. Dette kom også frem i byggingen av flerbrukshallen hvor flere bygningsdeler inneholdt små justeringer fra forrige prosjekt. Tid og kostnader vil også kunne spares da store deler av prosjekteringen kan gjenbrukes. Færre grensesnitt og redusert risiko ble nevnt som andre styrker i det å være trofast mot samme byggesystem. Effektene som arkitekten viste til samsvarer godt med fordelene Egan (1998) trakk frem ved økt standardisering i Tabell 3.11.

Etter å ha studert industrialiserte boligkonsepter, trakk Arge (2008) frem flere forhold som var viktig for suksessen i prosjektet. Dette var blant annet dyktige og erfarne prosjekt- og byggeledere, én produkttype, rasjonelle arkitekter, et godt innarbeidet system for gjennomføring som ikke fravikes, med mer. Flere av de samme faktorene er det mulig å se også i Bankgata. Arkitekten som har utviklet prosjektet var også prosjektering- og byggeleder. Det å være involvert gjennom hele prosessen vil føre til flere fordeler. Det vil være mulig å designe bygget og utnytte fordelene med byggesystemet i størst mulig grad. Ved å delta i byggingen får en også innsikt i hvordan byggesystemet kan utvikles og rasjonaliseres videre. Schmidt (2009) anbefaler nært samarbeid mellom arkitekt og bransje, universiteter og høyskoler. Dette vil gi grunnlag for å kunne identifisere problemer og bygge kompetanse. Arkitektfirmaet fra Bodø er samarbeidspartner med både NTNU og HiST, og har også gode forbindelser bakover i verdikjeden med leverandører og montører. Dette har bidratt til utviklingen av konseptet *Green Building System*. Prosjektet i Bankgata ble vunnet med laveste pris som eneste konkurransegrunnlag. Ut ifra dette kan det tyde på at det er hold i påstanden til Cox (1999) om at de mest spesialiserte verdikjedene vil være de som overlever på markedet.

5.1.3 Verdiskaping

Overføring av verdiskapingen til andre

Kjennetegnene ved prefabrikasjon er at verdiskapingen forekommer tidligere, og at den blir flyttet til et miljø som legger til rette for effektiv produksjon. Gibb (1999) anbefalte å produsere så mye av bygget som mulig på en plass hvor miljøet er best egnet med tanke på sikkerhet og effektivitet. Som beskrevet i underkapittel 5.1.2 utgjør verdiskapingen ved prefabrikasjon over 40 % av huskostnadene.

Ved å flytte verdiskapingen vekk fra byggeplass, overføres ofte ansvaret til et annet ledd i verdikjeden. Dette vil føre til at en mister kontroll over produksjonen. Slevin og Pinto (1987) trakk frem overvåkning og kontroll som en viktig faktor for suksess i byggeprosjekter. Det vil ikke være mulig å følge opp, kontrollere eller gjøre eventuelle tilpasninger i samme grad når ansvaret overføres til andre. Tillit mellom aktørene i verdikjeden vil være viktig når en så stor andel av prosjektets kostnader overføres til en annen part. Usikkerhetsmomenter for kunden vil være å få produsert elementer med rett kvalitet, levert til rett tid. Entreprenøren og leverandøren fra prosjektet i Heimdalshallen hadde erfaringer fra samarbeid gjennom en rekke prosjekter. Den opparbeidede tilliten mellom partene kan ha vært medvirkende til at montasjen av råbygget ble gjennomført uten problemer.

Beholde kontroll over verdiskapingen

Ashworth (2010) viste til flere ulike alternativer for å håndtere risiko. Istedenfor å overføre verdiskapingen til en annen part, vil det også være mulig å beholde risikoen selv. Berg (2008) trakk frem muligheten av å prefabrikere i midlertidige feltfabrikker. Her kan entreprenøren bestille råmaterialene og kontrollere verdiskapingen ved å prefabrikere elementene selv. For bygging med betongelementer vil denne løsningen være mindre aktuell. Denne løsningen ble derimot benyttet i Bankgata. Her opplyste arkitekten om flere fordeler. Ved potensielle feil på enkelte elementer kan en unngå lengre stans i montasjen ved at nytt element kan produseres i løpet av kort tid. I Bankgata var det feil på et sett med takelementer. Dette ble løst med to timer ekstraarbeid. Dersom elementene hadde vært kjøpt inn av en annen leverandør, ville prosessen med å erstatte dem ha vært mer omfattende. Nytt element må eventuelt bestilles, designes på nytt, produseres og transporteres. Her kan det også være fare for konflikter angående hvem som er den ansvarlige parten, noe som kan føre til ytterligere stans i produksjonen.

I Bankgata var det de samme arbeiderne som produserte og monterte elementene. Dette kan redusere risikoen for feil da de har kjennskap til utformingen av prosjektet og lettere kan oppdage avvik. Čuš-Babič et al. (2013) viste til at fabrikker ofte leverer til flere prosjekter samtidig. Ofte er det kun små justeringer som skiller elementene i de ulike prosjektene. Disse forskjellene mellom elementene kan øke risikoen for feil ved produksjonen og levering av feile elementer. Arkitekten trakk frem at prefabrikasjon satte krav om høy nøyaktighet på elementene. Ved eventuelle feil vil de ikke passe i systemet. Dette fremhever viktigheten av at de rette elementene blir levert, og kan tyde på at det i enkelte tilfeller kan være fordelaktig å beholde ansvaret for produksjonen selv. Arkitekten fra Bodø er av samme oppfatning og viser til at en mister styringsmuligheter og kontroll ved å overlate ansvaret til andre. I midlertidig ble opplyst om at det kan være hensiktsmessig å overføre ansvaret til fabrikker dersom det produseres flere like elementer i stort kvantum.

Det vil være flere likheter mellom forholdene på en provisorisk rigg og ved produksjon i fabrikk. Dette gjør at en oppnår mange av de samme fordelene som beskrevet i underkapittel 5.1.1. En av forskjellene kan være at effektiviteten blir lavere ved å produsere på vinteren. På en annen side vil det ikke være nødvendig å dekke fabrikkens faste kostnader. Gibb (1999) viste til at frakt av elementer medfører høyere kostnader fremfor frakt av råmaterialer. På denne måten kan en også oppnå kostnadsbesparelser ved å produsere lokalt. Denne besparelsen vil øke med transportavstanden mellom fabrikk og byggeplass.

5.2 Sammenligning av betongelementer og treelementer

Oppgavens andre spørsmål er formulert: «Hvilke forskjeller er det mellom bygging med prefabrikkerte elementer av betong og tre?» Forholdene som ble studert i oppgaven var kostnad, tid, kvalitet, ytre miljø, SHA, logistikk og transport. Disse faktorene er diskutert hver for seg, men vil i stor grad være med å påvirke hverandre. På bakgrunn av litteratursøket og resultatene er disse diskutert i første delkapittel. Det har vært en utfordrende prosess i å samle inn data som er kvantifiserbar og egnet for sammenligning. Der hvor sammenligningen ikke kan tallfestes blir det forsøkt å beskrive de kvalitative forholdene. Andre delkapittel tar for seg en sammenstilling og diskusjon rundt klimagassberegningene.

5.2.1 Sammenligning av ulike faktorer

Kostnader

Det er innhentet kostnader for de ulike elementene i råbygget. Hallene er bygget med ca. et års mellomrom. Eventuell prisstigning av materialer er det ikke tatt hensyn til i denne oppgaven. Det er vanskelig å sammenligne kostnadene opp mot hverandre. Faktorer som prosjektering, produksjon, transport og montasje vil være noen av variablene som påvirker kostnadene. Kostnadene vil i stor grad være avhengig av prosjektets beliggenhet og hvordan forholdene er på byggeplassen. Elementene inneholder også ulik grad av komplettering før montasjen som gjør at det ikke vil være hensiktsmessig å sammenligne dem direkte. Hallene er også bygget opp etter to forskjellige konstruksjonssystemer. I Heimdalshallen er veggene bærende, mens Bodø har søyler og bjelker av limtre i tillegg til ytterveggene. En direkte sammenligning av kostnaden mellom ytterveggene vil derfor ikke være hensiktsmessig.

En mulighet for gi et bedre sammenligningsgrunnlag vil være å se på kostnadene for bæresystemet og ytterveggen som en helhet, og dele på antall kvadratmeter yttervegg. Dette gir heller ikke et helt riktig bilde da deler av bæresystemet i Bodø er plassert inne i bygget som søyler mellom hovedhallen og garderobedelen, samt bærende bjelker til dekket. Det er regnet frem til at dette utgjør ca. 15 % av bæresystemet. Bæresystemet i Bodø hadde en kostnad på ca. 3 000 000 kr. Trekker en fra 15 % og deler på 1 700 m² yttervegg utgjør det 1 500 kr/m². Legger en sammen kostnadene for bæresystemet og ytterveggen utgjør det 2 700-2 840 kr/m². Til sammenligning hadde sandwich-elementene en pris fra leverandøren på 2 307 kr/m².

Det er også vanskelig å sammenligne kostnadene knyttet til dekket og yttertaket. I prisene fra Bankgata inngår det ferdige elementet. Prisen for dekket er ekskludert parkett, og for yttertaket inngår både himling og tekking. Prisene fra Heimdalshallen består kun av betongelementene HD, DT- og SDT-elementene. For dekkene i Heimdalshallen må en da i dekkene legge til kostnader for gysing og fuging, samt avretting. For yttertaket må kostnadene for himling, dampspærre, isolasjon og tekking legges til. Det er tatt utgangspunkt i prislinjer fra Norsk Prisbok 2014 for å gjøre elementene mer sammenlignbare. For dekkene er prisen for gysing og fuging satt til 111 kr/m² og avrettingsmasse til 199 kr/m². Sammenligner en dekkene blir da kostnaden 1 550 kr/m² for elementet i Bodø mot 1 170 kr/m² for hulldekkelsen i Heimdalshallen.

For yttertaket er følgende kostnader hentet fra Norsk Prisbok (2014). Lydhimling: ca. 250 kr/m², dampspærre: 56 kr/m², isolasjon i tak (t=300 mm): 266 kr/m² og taktekking (2-lags papp): 248 kr/m². Til sammen vil takløsningen i Heimdalshallen ha en kostnad på ca. 1 840 kr/m², mens i Bankgata er

kostnaden 1 080 kr/m². Det er en del usikkerheter knyttet til kostnadstallene som er oppgitt her. Eventuelle påslag fra entreprenøren eller kostnader forbundet med avstiving er ikke tatt hensyn til. Til tross for at det er betydelig usikkerhet knyttet til kostnadstallene vil de likevel kunne gi en indikasjon for helheten.

Legger en sammen kostnadene for de ulike bygningsdelene, vil kostnadene for råbygget omtrent være uavhengig av materialvalget. De fleste aktører i byggenæringen er nok av den oppfatning at bygging med treelementer vil være vesentlig dyrere enn materialer som stål eller betong. Dette vil kanskje være tilfelle hvis prosjektet skal gjennomføres som et engangsprosjekt, hvor involverte aktører mangler kompetanse og ikke har samarbeidet tidligere. Ved å satse på et systemisert konsept kan en hente ut verdier av langsiktig samarbeid og dermed øke konkurranseevnen. Cox (1999) viste til nettopp dette og hevdet at partnerskap på alle nivåer og langsiktig samarbeid i verdikjeden vil være de som overlever i markedet. Söderholm (2010) illustrerte også hvordan et fast byggekonsept vil gi redusert usikkerhet i prosjektet. Variabiliteten vil reduseres og flyten gjennom prosjektet vil forbedres. Dette er forhold som Koskela (1992) også trekker frem.

Gibb (1999) og Pasquire & Connolly (2002) trakk frem at bruk av prefabrikasjon vil gi andre forhold på riggen. En av fordelene ved å benytte trematerialer fremfor betongelementer er at en kan utføre mesteparten av montasjen med lastebilkraner. I Bankgata ble det kun benyttet mobilkran til å montere de største limtrebjelkene. Totalt var det kun behov for mobilkran i seks dager. I Bodø var kostnadene knyttet til leie av lastebilkran 1 250 kr/t og mobilkran 5 000 kr/t. Det ble opplyst at mobilkran vanligvis koster det dobbelte av lastebilkran. Tar en utgangspunkt i at mobilkran koster 2 500 kr/t vil det utgjøre en besparelse på 1 250 kr/t. Hvis en da sammenligner montasjen av betongelementer mot treelementene vil en kunne spare ca. 47 000 kr pr. uke hvis en klarer seg med lastebilkran fremfor mobilkran.

Tid

I begge case studiene ble råbygget montert i løpet av kort tid. Heimdalshallen ble satt opp i løpet av åtte uker, mens flerbrukshallen i Bankgata ble montert i løpet av seks uker. Det er vanskelig å skille effektiviteten når det gjelder montasjen av de ulike materialene. Med 4 630 m² BTA i Heimdalshallen ble det montert ca. 116 m² BTA pr. arbeidsdag. Til sammenligning av Bankgata med sine 3 500 m² ble det montert ca. 117 m² BTA pr arbeidsdag. Det ble regnet ut enhetstider for montasje av ulike betongelementer. Datagrunnlaget for å regne ut enhetstidene for montasjen av treelementene har ikke vært tilstrekkelig. Det ble likevel opplyst om at de fleste løftene i Bodø tok 10-15 minutter pr. element med unntak av bjelkene som tok 1 time. Til sammenligning med betong blir det beregnet en montasjetid på 1-1,5 timer pr. element. Det går raskere å montere treelementene, men effektiviteten blir kompensert med at betongelementene utgjør større arealer pr. element. Dette samsvarer med teorien til Edvardsen og Ramstad (2006) om at større elementer gir mer effektiv montasje gjennom færre løft.

Enhetstiden for produksjon av vegg- og takelementene i Bankgata ble beregnet til henholdsvis 0,23 tv/m² og 0,46 tv/m². Produksjonstiden for sandwich-veggene og SDT-elementene ved Overhalla Betongbygg AS ble også vurdert. Sandwich-veggene ble estimert til en enhetstid på 0,99 tv/m², mens SDT-elementene ble estimert til 0,79 tv/m². Usikkerheten knyttet til produksjonstiden av betongelementene er stor, da de er beregnet på svært grove anslag og med mangelfullt datagrunnlag. Takelementene vil heller ikke være direkte sammenlignbare da SDT-elementene ikke har montert

himling eller er isolert og teknet slik som takelementene i Bankgata. Da usikkerheten i beregningene er såpass stor kan det ikke konkluderes med at det ene materialet kan produseres mer effektivt enn det andre.

Et forhold som vil ha innvirkning på effektiviteten er at betongen krever herdetid. Dette kom tydelig frem ved besøket på fabrikken i Overhalla. Der var det svært viktig at elementene ble ferdigprodusert før arbeiderne gikk hjem for dagen. Elementene trenger tid for å herde over natten før en ny produksjonsrunde kan starte neste dag. Mengden som det vil være mulig å produsere vil derfor være avhengig av størrelsen på produksjonslokalet. Disse begrensningene vil ikke oppstå i samme grad ved produksjon av treelementer, da elementene kan fraktes vekk og lagres fortløpende.

Kvalitet

Tam et al. (2007) nevnte redusert fleksibilitet som en ulempe ved prefabrikasjon. Det vil være behov for å låse designet tidlig. Gibb (1999) og Berg (2008) viser også til dette ved at endringer sent i prosjektet må unngås, og involvering av alle aktører bør skje tidlig. Vesentlige endringer sent i prosjektet vil kunne føre til økte kostnader. Det samme gjelder eventuelle feil på elementer. I intervjuet fra Bankgata ble det trukket frem at feil forekommer i alle prosjekter. Det vil derfor være viktig å ha et byggesystem som kan håndtere feil. Dette kommer også frem gjennom en av faktorene til Slevin og Pinto (1987) som kjennetegner suksess i byggeprosjekter.

Trematerialer vil ha flere fordeler i evnen til å håndtere endringer og/eller feil sammenlignet med betong. Zapffe (2003) og Kristensen (1999) viste til at mulighetene er gode for å gjøre tilpasninger i materialet. I de fleste tilfeller kan eventuelle feil løses etter en runde med saging. I Bankgata var det feil på et sett med takelementer. Dette ble løst med to timer ekstraarbeid. To dekkeelementer ble også levert for lang, og dette ble løst med 5 minutter med saging. Evnen til å håndtere endringer vil gi redusert usikkerhet i prosjektet. I henhold til Lædre (2009) vil dette kunne gi reduserte kostnader og økt spillerom for entreprenøren gjennom et lavere påslag.

Skal det gjøres tilpasninger i betongen etter at elementene er levert vil dette få et annet omfang. Arkitekten fra Bankgata påpekte at en ikke uten videre kunne sage eller støpe på elementet uten komplikasjoner. Det å rive ned elementet og produsere på nytt vil være både tid- og kostnadskrevenende. God kvalitet er også et viktig fokusområde for leverandøren av betongelementer. Eventuelle feil på elementene som oppdages etter de er produsert vil føre til tre ganger høyere kostnader. Dersom feilen oppdages på byggeplassen, ville ekstra kostnaden bli ti ganger høyere enn grunnkostnaden. Leverandøren av betongelementer uttalte at det kostet 30 000 kr og oppover for et montasjelag pr. dag. Stopp i montasjen vil derfor kunne være kritisk for økonomien i prosjektet.

Ved sammenligning av brannmotstanden til de ulike materialene indikerer funnene fra litteraturen at betong vil komme bedre ut. Bygging med betong er mer utprøvd og godt dokumentert. Arkitekten fra Bankgata trakk frem at den eneste utslagsgivende forskjellen i brannkravene mellom tre og betong var for rømningsveier. Her må treelementene kles inn eller overflatebehandles. I Bodø ble rømningsveiene kledd i gips og heissjakten malt med brannbeskyttende maling. Dette vil kunne påføre prosjektet ekstra kostnader. Kittang et al. (2011) viste til at bygging med massivtre først ble vanlig i Norge på 1990-tallet. Det vil være naturlig å tenke at erfaringene i bransjen med å bygge med materialet er begrenset. På sikt vil ulike løsninger bli bedre dokumentert og kan gi redusert usikkerhet. Arkitekten fra Bankgata viste til dette ved å antyde at massivtre har bedre brannmotstand enn det som er beskrevet i standarden.

Betongelementforeningen (2010) viste til gode lydisolerende egenskaper i hulldekkene. I dekke-løsningen i Bankgata ble det valgt å legge inn et påstøp i betong for å gi gode lydforhold. Dette samsvarer bra med løsningen som Zapffe (2003) beskrev. Når det gjelder lydforholdene i hallen var det behov for absorbenter i begge hallene. Ved Overhalla ble dette også trukket frem som et problem hvor de så på mulighetene for å støpe akustikkplater inn i veggen.

Ved å prefabrikkere elementene i kontrollerte omgivelser vil kvaliteten være god for begge materialtypene. Værforholdenes innvirkning på byggeprosessen vil derfor ikke utgjøre en vesentlig faktor for valg av det ene materialet fremfor det andre. Ved montering av elementer i tre er det ønskelig å unngå regn. Store nedbørsmengder kan påvirke resultatet i form av oppsprekking av trematerialene og redusere kvaliteten noe. For betongmaterialer vil montering på vinterstid kunne by på enkelte utfordringer. Det vil være behov for å varme opp elementene for å unngå at mørtelen fryser. Dårlig fugearbeid vil kunne redusere kvaliteten på konstruksjonen.

Ytre miljø

I begge tilfeller vil det være mulig å ha god kontroll over produksjonen av elementene, noe som kan medføre at avfallsmengdene blir lave. Resultatene fra case studiene samsvarer med dette, og i tillegg kom det fram at det var utarbeidet gode prosedyrer for resirkulering. Dette virker å stemme bra med arkitekten fra Bankgatas påstand om at det å satse på ett konsept vil føre til et bra grunnlag for håndtering av avfall. Den største forskjellen mellom tre og betong er vekten på materialene. Dette kom også frem av intervjuet fra Bankgata. Avfallsmengder måles ofte i tonn og da vil trematerialer komme bra ut med lav tetthet. Den lave vekten vil gjøre det enklere å transportere avfallet internt i produksjonen og videre til gjenvinning.

Det er utført sammenligninger av klimagasser for de ulike materialene. Dette er presentert i underkapittel 5.2.2.

SHA

Når det gjelder SHA vil det ikke være så store forskjeller mellom de ulike byggekonseptene. Den største forskjellen vil være at betongelementer ofte er større, og har en vesentlig høyere vekt. Betong har en tetthet som er ca. fem ganger større enn trematerialer. Konsekvensen av eventuelle velt eller klemskader ved betongelementer vil derfor kunne være mer alvorlig enn ved elementer av tre. Det at betong inneholder tyngre materialer vil også gi noe andre arbeidsforhold. Det vil være behov for kran til å utføre deler av produksjonsprosessen. Tunge løft vil være lite ergonomisk for arbeiderne. Det vil være vanskelig å avgjøre hvorvidt den ene produksjonsmetoden medfører flere tunge løft fremfor den andre.

Logistikk og transport

God logistikk vil ha utgangspunkt i godt forarbeid. Dette blir også trukket frem av Berg (2008), Gibb (1999) og nesten samtlige av intervjuobjektene. Logistikken henger også sammen med fleksibiliteten og at det er viktig å låse designet tidlig. Her vil tidlig involvering og god kommunikasjon med kunden, samt tekniske fag være viktig. God planlegging, involvering av kunden og kommunikasjon er noen av faktorene som også Slevin og Pinto (1987) trakk frem som viktige. Potensielle endringer vil kunne føre til forsinkelser og at prosjektleder mister kontroll over prosessen. Forbes og Ahmed (2011) nevnte også fokus på kontroll som forutsetning for god produktivitet. Tidligere ble det beskrevet at trematerialer var mer fleksibel for endringer sammenlignet med betong.

Prosjektleder fra Overhalla viste til at det bør gjennomføres gode forundersøkelser før en eventuell kontrakt blir skrevet. Veiforhold, transportmuligheter og forhold på byggeplass må vurderes i forkant. Betongmaterialer er større og tyngre enn trematerialer. Dette kan skape begrensninger for betongelementer som kanskje ikke vil gjelde for elementer av tre. Det vil for eksempel være lettere å skjøte trematerialer. Store limtredragere kan byttes ut med takstoler som forbindes på midten. En er derfor mindre avhengig av å frakte store bjelker for å sikre stort spenn i bygget.

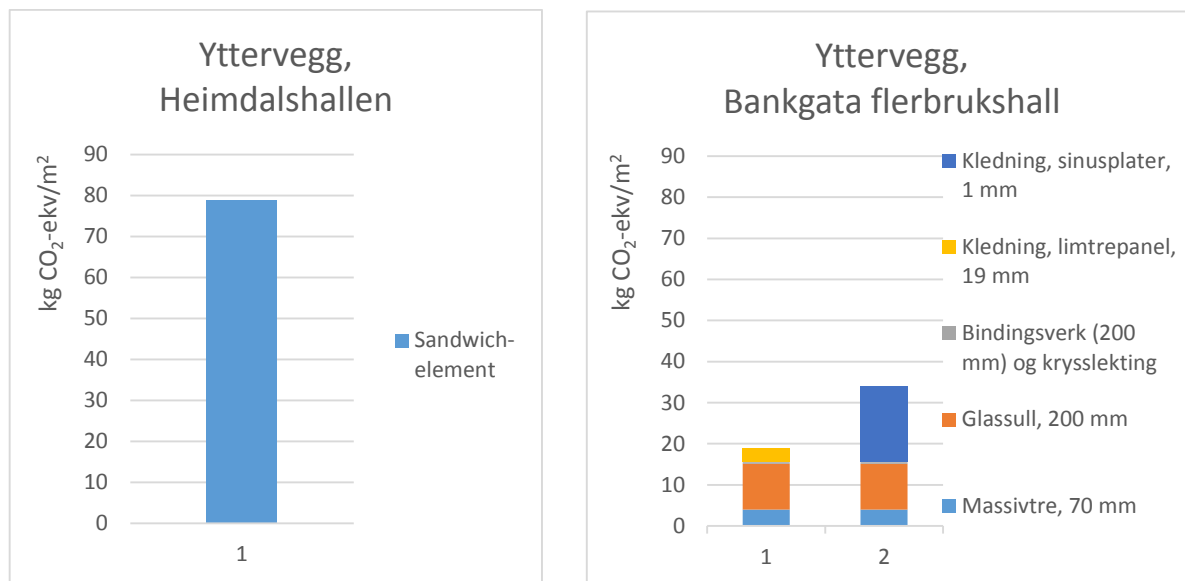
Salgssjefen i Overhalla betongbygg trakk frem at betongelementer var følsomme når det gjaldt transport. Store og tunge materialer medfører vesentlige kostnader. Det ble også trukket frem at trematerialer var bedre stilt med tanke på kostnader og muligheter for transport. For å bedre konkurranseevnen ble det vist til at det var ønskelig å øke verdien til elementene ved å bygge inn flere funksjoner. Dette kan løses gjennom god kommunikasjon i verdikjeden og ved å fokusere på sluttproduktet. Økt verdi i elementene vil bidra til at de kan transporteres over en større radius og nå et større marked. Dette samsvarer med påstandene til Cox (1999) som viste til innovasjon og kontinuerlige forbedringer som viktige faktorer.

5.2.2 Sammenligning av klimagassutslipp

Det er utført klimagassberegninger for ulike bygningsdeler i Heimdalshallen og i Bankgata flerbrukshall. Resultatene sammenlignes og diskuteres videre i de følgende delkapitlene. Som grunnlag for beregningene er det tatt utgangspunkt i EPD'er og verktøyet klimagassregnskap.no (KG v.5). Beregningene er utført fra «vugge til port», og det er ikke tatt hensyn til levetid for ulike materialer. Metoden for utførelsen er nærmere beskrevet i underkapittel 2.3.2. Forutsetninger og antakelser som ligger til grunn er beskrevet i Bilag C.

Yttervegg

I Bankgata er hallen delvis bygget opp med aluminiumskledning og delvis med kledning av limtrepaneler. Bindingsverksveggene i tilbygget i Heimdalshallen er ikke omhandlet i sammenligningen. Ved direkte sammenligning av ytterveggskonseptene vil utslippet i Heimdalshallen være 79,0 kg CO₂-ekv/m² mot Bankgatas 18,9 og 34,0 kg CO₂-ekv/m². Dette illustreres i Figur 5.1. Ytterveggen i Heimdal har en U-verdi på 0,18 W/m²K, mens den i Bodø er målt til å være 0,17 W/m²K. De antas å være sammenlignbare da de begge tilfredsstiller krav som er satt i TEK10.



Figur 5.1 - Sammenligning av klimagassutslipp for yttervegger.

Det kommer klart frem at det er betydelige klimagassutslipp forbundet med bruk av aluminium i bygninger. Sjøkket i aluminium utgjør 18,5 kg CO₂-ekv/m², noe som tilsvarer over halvparten av de totale klimagassutslippene for denne veggen. Rønning et al. (2011) påpeker at jomfruelige materialer vil ha vesentlig høyere utslipp enn resirkulerte siden utvinning av aluminium krever mye energi. Bruk av resirkulerte materialer vil derfor redusere utslippene. 100 % resirkulert aluminium vil ha et utslipp på 1,6 kg CO₂-ekv/m², mens nyutvunnet aluminium vil ha et utslipp på 29,7 kg CO₂-ekv/m². Det er usikkert hvilken resirkuleringsgrad aluminiumsplatene i Bankgata hadde, og det er antatt en grad på 40 %. Ifølge Rønning et al. er omtrent 50 % av aluminiumsproduksjonen basert på jomfruelige materialer på grunn av stor etterspørsel.

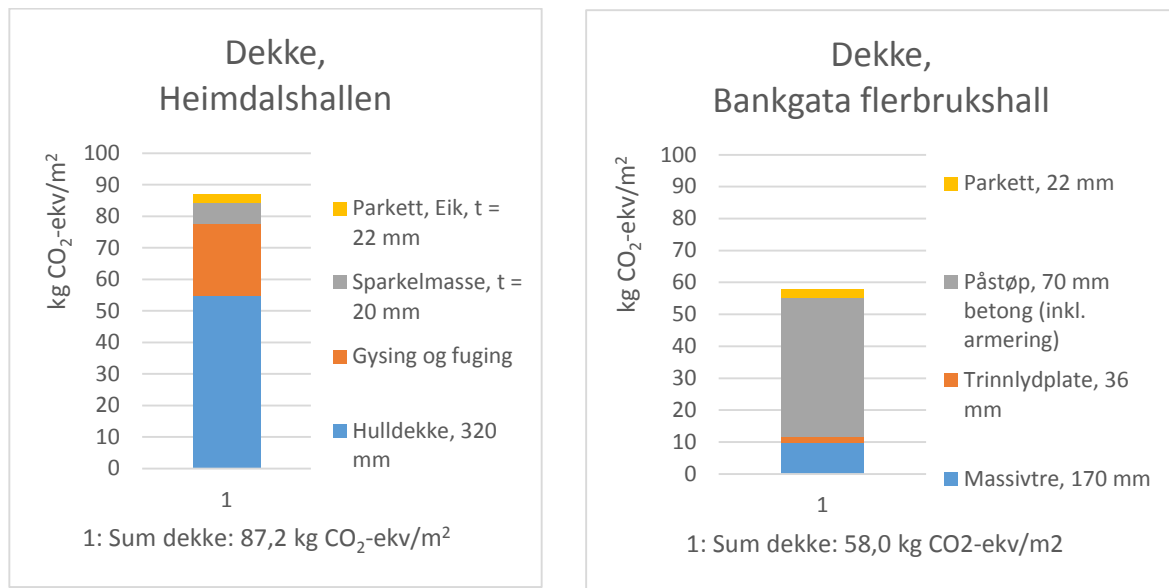
Heimdalshallen og Bankgata flerbrukshall er bygget opp som to ulike konstruksjoner. Heimdalshallen er bygget opp som en skivekonstruksjon etter «bokssystemet», mens Bankgata flerbrukshall er bygget opp som en utkragingskonstruksjon med søyler og bjelker. Konseptene er nærmere beskrevet og illustrert i underkapittel 3.2.1. Ytterveggene i Heimdalshallen er bærende, og har derfor ikke noe annet bæresystem. I Bodø er det i tillegg til ytterveggselementer av massivtre også bygget opp med bæresystem i form av søyler og bjelker i limtre. For å kunne sammenligne konseptene på et bedre grunnlag kan det være hensiktsmessig å inkludere bæresystemet som en del av ytterveggene. Bæresystemet i Bodø har et utslipp på ca. 14 080 kg CO₂-ekv. Med ca. 1 700 m² yttervegg i Bodø vil utslippet knyttet til bæresystemet være ca. 8,3 kg CO₂-ekv/m². Sammenligner en ytterveggene på nytt blir utslippet da 79,0 kg CO₂-ekv/m² i Heimdal mot 27,2 og 42,3 kg CO₂-ekv/m² i Bankgata.

Forskjellen mellom løsningene er henholdsvis 51,8 og 36,7 kg CO₂-ekv/m². I Bodø utgjør ytterveggene ca. 1 700 m², hvorav det antas at 1 000 m² er kledd med aluminium og 700 m² kledd med limtrepanel. Sammenligner en med løsningen valgt i Heimdal utgjør det en forskjell på ca. 73 000 kg CO₂-ekv.

Dekke

Dekkeløsningen som er valgt i Heimdalshallen har et utslipp på 87,2 kg CO₂-ekv/m². I Bankgata har den valgte løsningen et utslipp på 58,0 kg CO₂-ekv/m². Løsningene er stilt opp mot hverandre i Figur 5.2. Det er ikke utført beregninger av brannmotstand eller lydisolasjon. Himlinger er heller ikke inkludert i

sammenligningen. Valg av himlingstype kan påvirke både lydforhold og brannmotstand. Begge løsningene tilfredsstiller tekniske krav, så de antas å være sammenlignbare.



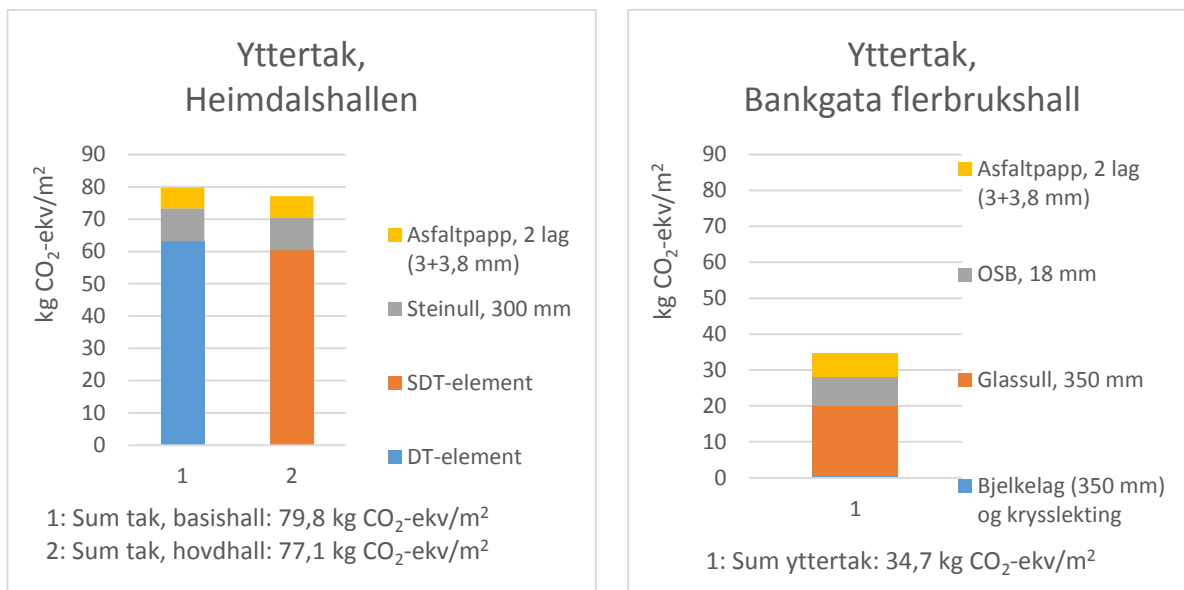
Figur 5.2 - Sammenligning av klimagassutslipp for dekker.

De mest betydelige utslippene er knyttet til betongen i begge løsningene. Utslipet fra hulldekkene er basert på EPD, mens påstøpet i Bankgata er beregnet ved hjelp av KG v.5. Utslippsfaktorene som KG v.5 benytter for betong og armering antas å være høyere enn utslippene som beregnes i EPD'er. En kan derfor anta at totalutslippet i dekkeløsningen i Bankgata kanskje ligger litt lavere enn 58,0 kg CO₂-ekv/m².

I Bankgata er det lagt ca. 850 m² med dekke. Ved sammenligning av løsningene utgjør dette ca. 25 000 kg CO₂-ekv.

Yttertak

I Heimdalshallen er det benyttet både DT-elementer og SDT-elementer i yttertaket. Hulldekkene som er i taket i tilbygget er ikke vurdert. Utslippene i Heimdal er på henholdsvis 79,8 og 77,1 kg CO₂-ekv/m². Til sammenligning er utslippene i Bankgata på 34,7 kg CO₂-ekv/m². Taket i Heimdal er isolert med 300 mm mot 350 mm i Bankgata. Dette bør en ta hensyn til i sammenligningen. Himlinger er ikke inkludert i beregningene og det er heller ikke tatt hensyn til brannmotstand.



Figur 5.3 - Sammenligning av klimagassutslipp for yttertaket.

Den store forskjellen mellom de ulike løsningene er bruk av betong fremfor tre. Bjelkelaget i tre er nærmest ubetydelig i klimagassregnskapet med et utslipp på 0,6 kg CO₂-ekv/m². DT- og SDT-elementene er beregnet ut ifra EPD'er. Hadde utslippsfaktorene i KG v.5 vært lagt til grunn for beregningene hadde nok utslippet vært enda høyere. Det antas at taket i Bankgata er bedre varmeisolerert da det innehar et tjukkere isolasjonslag. Med samme tykkelse på isolasjonslaget i taket på Heimdalshallen ville forskjellen i klimagassutslipp mellom takløsningene vært noe større.

Det er lagt ca. 2 430 m² tak i Bankgata. Ved sammenligning mellom SDT-taket og bjelkelagstaket i Bodø utgjør forskjellen ca. 103 000 kg CO₂-ekv.

Betong vs. trematerialer

Av løsningene som er valgt kommer det tydelig frem at utslippene knyttet til betongelementer er vesentlig høyere enn ved bruk av limtre og massivtre. *Norsk Betongforening* (2009) kommenterer også dette gjennom at betong som materiale kommer dårlig ut om det sammenlignes på grunnlag av produksjon av materialene. Dette skyldes hovedsakelig høyt utslipp knyttet til produksjon av sement som krever store ressurser. Påstanden til Kittang et al. (2011) og Zapffe (2003) om at tre er et vesentlig mer klimavennlig materialet ser ut til å stemme bra med resultatene som er presentert ovenfor. Ved sammenligning av løsningene opp mot arealene i Bodø utgjør forskjellen ca. 200 000 kg CO₂-ekv. Med et bruttoareal på 3 500 m² utgjør det ca. 57 kg CO₂-ekv/m² BTA. Dette stemmer bra overens med studiene til Gustavsson et al. (2006, referert av Kittang et al. 2011) som mente forskjellen ville ligge et sted mellom 30-130 kg CO₂-ekv/m² BTA.

Det er vanskelig å sammenligne ulike bygg og materialer. Hvert materiale har sine unike egenskaper og sine fordeler og ulemper. Dette kan være forhold som lyd, brannmotstand, varmeisolering, inn klima, estetikk, krav til vedlikehold, levetid, etc. Krav til funksjonalitet må settes før en begynner å sammenligne. Valg av et materialet kan fort påvirke andre valg av materialer og en må se på systemet som helhet. En betongvegg kan for eksempel eliminere behovet for brannkledning, hvor det ved trevegger kan stilles krav til bruk av gipsvegger. I Bankgata var det satt krav om energiklasse B, mens Heimdalshallen var kravene fra TEK10 satt som grunnlag i konkurransegrunnlaget. Dette gjør det også

vanskelig å sammenligne. Det antas at det vil utgjøre en forskjell i form av valg av løsninger, men at det ikke vil påvirke klimagassutslippene i særlig grad.

I beregningene av klimagassutslippene er det ikke tatt hensyn til verken karbonatisering eller opptak av CO₂ i trematerialer slik som de ulike forskningsinstansene i bransjen ønsker. Fenomenet med opptak av CO₂ i trematerialer er nå så godt dokumentert og standardisert at det blir implementert i EPD'ene. Potensialet for lagring av CO₂ er stort og vil variere etter hvilket tremateriale det velges å bygge med. Etter å ha studert flere EPD'er vil potensialet ligge et sted mellom 660-800 kg CO₂-ekv/m³ materiale. Inkluderes det CO₂-opptak i regnskapet vil dette slå positivt ut for massivtreet. I bygg som er utført i massivtre vil det gå med betydelig større mengder tre hvis en sammenligner mot bindingsverk og bjelkelag. I flerbrukshallen i Bankgata har det gått med ca. 1 000 m³ med trematerialer. Dette bidrar til at om lag 700 000 kg CO₂-ekv bindes opp.

5.3 Flerbrukshaller og prefabrikasjon

Oppgavens tredje forskningsspørsmål er utformet: «I hvilken grad er flerbrukshaller egnet til bygging med prefabrikkerte elementer?» Funnene fra litteratursøket er i stor grad basert på bygging av andre typer bygg og er lite spesialisert. Det er forsøkt å trekke frem de forholdene som vil være av betydning for flerbrukshaller, og samtidig diskutere dem opp mot resultatene fra case studiene.

Det å bygge idrettsanlegg kan ikke sammenlignes med husbygging. En mer riktig tilnærming vil være å sammenligne det med industribygg. Flerbrukshaller er bygninger som gjerne blir bygget med lav hyppighet. Arkitekten fra Bankgata viste til at det kan gå 30 år mellom hver gang. Byggherre og lokale entreprenører mangler ofte erfaring, noe som kan utgjøre en usikkerhet i prosjektet. Det kan derfor være vanskelig å innhente rett teknisk kompetanse. Innsikt i tekniske oppgaver blir trukket frem av Slevin og Pinto (1987) som en av suksessfaktorene i byggeprosjekter. Arkitekten fra Bankgata påpekte at den største usikkerheten i prosjektet var hvordan byggherren forholdt seg til at konkurransegrunnlaget ble fraveket på mange områder. I utarbeidelsen av konkurransegrunnlaget vil det derfor være viktig å unngå at det ikke settes krav som utelukker muligheten for å prise med alternative byggemetoder. Lædre (2009) viser til at usikkerheten bør tilfalle den parten som er best egnet til å håndtere den. For byggherren kan det derfor være lurt å ikke sette for spesifikke krav.

I flerbrukshallprosjekter vil det ofte være flere ulike idrettsgrupper som har interesser. Kommunen er i de fleste tilfellene eier av prosjektet og ønsker samtidig ofte å legge til rette for at bygget skal kunne brukes av andre kulturinstanser. Det at mange ulike interessenter involveres vil føre til ulike behov og flere grensesnitt. Dette kan fort føre til behov for endringer i prosjektet da kommunen som eier stadig får tilgang til ny informasjon. Gibb (1999) og Berg (2008) viste til at bygging med prefabrikasjon ikke var egnet for bygg som krevde flere endringer underveis i prosjektet. For å unngå dette er det viktig med godt forarbeid gjennom behovsanalyser og kommunikasjon med de ulike interessentene. Det vil uansett være begrensninger for hvor mange måter en kan designe bygget på siden krav til aktivitetsflate og takhøyde vil være det samme for alle flerbrukshaller. Ved eventuelle endringer vil det som oftest være snakk om nye behov knyttet til ulike service- og publikumslokaler. Dette kan eksempelvis være behov for lagerplass eller ekstra garderober. Ved bygging med elementer vil en oppnå store spennvidder. Flexibiliteten til å kunne disponere arealene på ulike måter vil derfor være stor.

Ett forhold som byggherren i stor grad bør være bevisst på tidlig i prosessen er mulighetene for å få støtte gjennom spillemidler. Det er ikke uvanlig at det forekommer endringer i prosjektet som følge av at det skal tilpasses kravene for spillemiddelstøtte. Dette kan for eksempel gjelde ønske om å bygge styrketreningsrom, ekstra garderober, klatrevegg eller mindre basishaller. Kulturdepartementet publiserer hvert år hvilke retningslinjer som gjelder for mulighetene til å søke om støtte. Der angis det krav og bestemmelser til ulike arealer. Ved bygging med prefabrikkerte elementer vil det være vanskelig å ta hensyn til endringer som for eksempel økt høyde under taket.

Standardisering ble trukket frem som en viktig forutsetning for prefabrikasjon (Gibb, 2001; Berg, 2008). For å utnytte fordelene med prefabrikasjon viser Gibb (1999) til at det er nødvendig å produsere i store serier og oppnå gjentakelseeffekter. Slike effekter kan se ut til å ha påvirket byggingen av flerbrukshallen i Bodø. Byggelederen rapporterte om at produktiviteten blant arbeiderne ble forbedret med opp til 150 % fra første til andre prosjekt når det gjaldt produksjon av elementene. Idrettshaller er bygget opp med store søylefrie spenn og har store vegg- og takflater. Behovet for vinduer og dører

er vesentlig redusert sammenlignet med boligbygg. De fleste intervjuobjektene trakk frem at idrettshaller er spesielt egnet for bygging med prefabrikasjon da de kan bygges opp med mange like elementer. Dette gir besparelser i tid ved prosjektering, produksjon og montasje. Ifølge Pasquire og Connolly (2002) vil risikoen for feil også bli redusert. I enkelte tilfeller vil det å bygge idrettshaller med prefabrikkerte materialer være et naturlig valg. Dette vil for eksempel være tilfelle ved bygging med betong. Her vil det være behov for spennarmering for å kunne håndtere de store spennene, noe som best lar seg gjøre på fabrikk.

Behovet for flere flerbrukshaller henger ofte sammen med økt befolkning og større press på de eksisterende hallene i nærområdet. Befolkningsveksten vil ofte føre til tett bebyggelse og lite tilgjengelige arealer. Ved utbygging av nye flerbrukshaller kan det derfor gjerne være behov for å bygge ut på trange tomter. Ifølge arkitekten fra Bankgata trenger ikke tomten å være mye større enn bygget for å kunne bygge med prefabrikasjon. Elementene kan produseres på en annen plass enn byggeplassen og frigjøre plass på riggen. Dette poengterer også Gibb (1999) og Pasquire & Connolly (2002). Behovet for lagring av materialer og utstyr vil elimineres. Dette tyder på at bygging av idrettshaller gjerne vil være mer egnet for prefabrikasjon enn andre typer bygg. Store spennvidder, god takhøyde og stort søylespenn vil gi gode forhold for å komme til med kran og lift, noe som kan legge grunnlaget for en effektiv produksjonsprosess.

I andre tilfeller kan det være små kommuner som har behov for utbygging av en idrettshall, da avstanden til nærmeste hall kan være stor for lokalbefolkningen. Arkitekten fra Bankgata trakk frem at ved bygging med prefabrikasjon vil en være mindre følsom overfor beliggenheten til prosjektet. Blant annet vil behovet for kvalifisert arbeidskraft i nærområdet reduseres betraktelig. Kostnadene for arbeidskraft er høyere på byggeplass enn i industrien (Gibb & Isack, 2003). Gibb (1999) viser også til at kostnadene kan bli høye dersom det er stor avstand for arbeidere til byggeplassen og det blir behov for ekstra velferdsbrakker. Økt overtidsbetaling er også noe som kan være nødvendig ved lang reisetid. Dette indikere at bygging med prefabrikasjon også vil være gunstig for slike type prosjekter med tanke på flere forhold.

Gibb (1999) viste til at prefabrikasjon var egnet som byggemetode hvis byggherren ønsket rask ferdigstillelse. Parallell bygging ble av arkitekten fra Bankgata og av Gibb trukket frem som en stor fordel for å korte ned byggetiden. Dette ble også illustrert i Figur 3.15. Lædre (2009) nevnte kort byggetid som hensiktsmessig hvis byggherren ønsket å ha prosjektet klart til et spesielt idrettsarrangement. Andre ønsker byggherren kan ha er å ha bygget klart til skolestart dersom det skal benyttes som gymsal av nærliggende skoler. Leie av midlertidige løsninger kan være dyrt for kommunene, og prefabrikasjon kan derfor være fordelaktig som byggemetode.

6 Konklusjoner og anbefalinger

Formålet med denne oppgaven er å heve kompetansen og gi innsikt i hvilke muligheter en har i det å gjennomføre byggingen av flerbrukshaller. Tema for oppgaven har vært bruk av prefabrikkerte løsninger. Det var utarbeidet tre forskningsspørsmål som oppgaven baserte seg på. Med utgangspunkt i disse oppsummeres resultatene

Hvilken innvirkning på byggeprosessen har bygging med prefabrikkerte elementer?

Prefabrikkerte elementer kan utgjøre en stor del av prosjektets kostnader. Det vil derfor være snakk om en stor verdiskaping som ofte flyttes til et annet ledd i verdikjeden. Resultatene viser at det å flytte verdiskapingen vekk fra byggeplass gjør at en oppnår mer effektive produksjonsforhold. Ved bruk av prefabrikasjon er mulighetene gode for å implementere prinsipper fra Lean. Forutsatt at samarbeidet i verdikjeden fungerer bra, kan en konkludere med at bruk av prefabrikkerte elementer vil bidra til å øke produktiviteten i byggeprosessen. En av de største fordelene ved bygging med prefabrikkerte elementer vil være mulighetene for parallell bygging. Dette gir en kortere byggeprosess, som vil medføre kostnadsbesparelser for prosjektet som helhet.

Hvilke forskjeller er det mellom bygging med prefabrikkerte elementer av betong og tre?

Kostnader: Case studiene viser at kostnadene for råbygget vil være lite påvirket av materialvalget. Bygging med trematerialer vil tillate montasje med lastebilkran. Dette vil gi en besparelse på ca. 50 000 kr/uke sammenlignet med betong som krever bruk av mobilkran.

Tid: Totalt sett viste studiene små forskjeller i montasjetid for de ulike materialene. Case studiene viste at betongelementene tok lenger tid pr. løft, men kompenserte med færre løft på grunn av større elementer. Ut ifra mangelfullt datagrunnlag er det vanskelig å si noe konkret om forskjellen i produksjonstid mellom de ulike materialene.

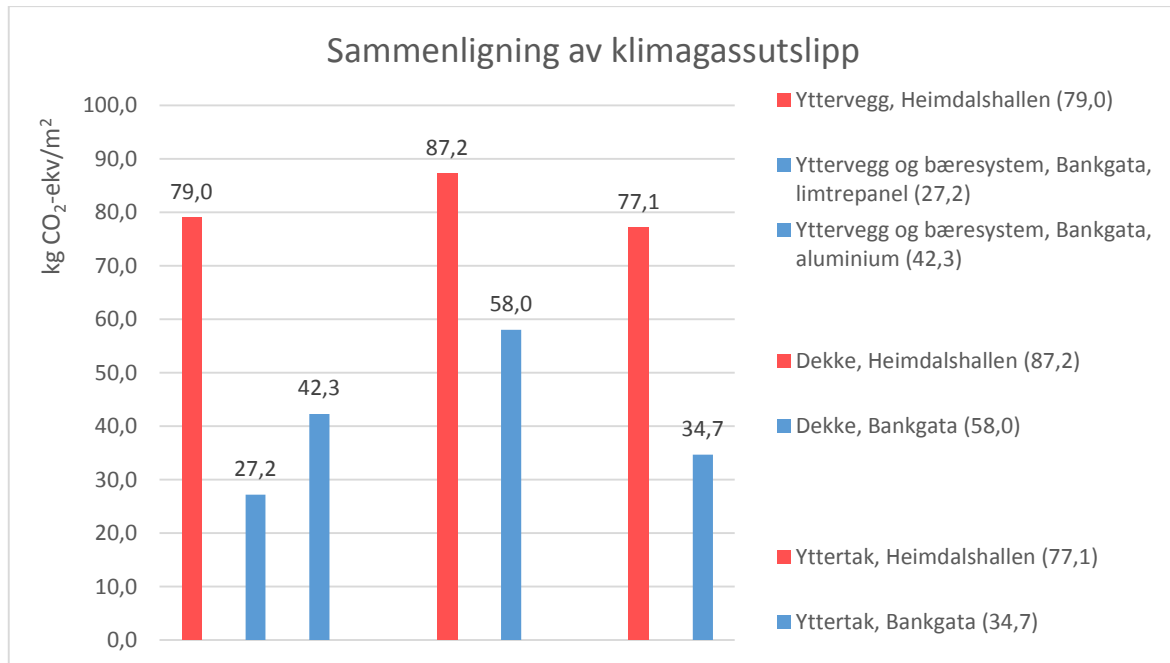
Kvalitet: Resultatene viser at bruk av trematerialer vil gi vesentlig bedre fleksibilitet sammenlignet med betong. Det vil være lettere å håndtere endringer da tilpasninger i større grad kan gjøres på byggeplass. Case studiene indikerte også andre ulikheter. Betongelementer tilfredsstiller normale brannkrav uten ekstra behandling. Ved bruk av trelementer vil det med dagens krav være nødvendig å utføre brannforebyggende tiltak i rømningsveier og tekniske rom.

Ytre miljø og SHA: Det ble ikke identifisert vesentlige forskjeller mellom materialene i case studiene. Den største ulikheten oppstår på grunn av vektforskjellen. Betongens høye tetthet vil føre til en mer omfattende avfallshåndteringsprosess. Konsekvensen ved potensielle ulykker vil også kunne være større.

Logistikk og transport: Betongens tyngde og mangel på fleksibilitet setter begrensninger for transport. Store elementer kan sette krav om spesialiserte kjøretøy. For å kunne gjennomføre montasjen uten stopp viser resultatene at lav tilgang på slike kjøretøy vil skape behov for mellomlagring av elementene nært byggeplassen. Trematerialene har den fordel av at de kan skjøtes og de samme utfordringene kan unngås. Av case studiene kom det frem at tre har en fordel siden elementene kan prefabrikeres direkte på byggeplass. Det gjør de mindre følsom overfor forsinkelser ved levering, samt kvalitetsfeil.

Klimagasser: Det ble utført klimagassberegninger for bygningsdelene fra vugge til port. En sammenligning av aktuelle bygningsdeler fra casene er presentert i Figur 6.1. Beregningene viser at

treetelementene er forbundet med vesentlig lavere klimagassutslipp. Det oppnås en besparelse på ca. 200 000 kg CO₂-ekv ved å bygge hallen i Bodø med den valgte løsningen, fremfor betongelementene fra Heimdalshallen. Dette utgjør om lag 57 kg CO₂-ekv/m² BTA. Dersom en inkluderer trematerialenes potensiale for lagring av CO₂, vil forskjellen bli enda tydeligere. Hallen i Bodø er bygget opp med ca. 1 000 m³ med trematerialer og vil dermed kunne binde opp om lag 700 000 kg CO₂-ekv.



Figur 6.1 - Sammenligning av klimagassutslipp fra Heimdalshallen og Bankgata flerbrukshall.

I hvilken grad er flerbrukshaller egnet til bygging med prefabrikkerte elementer?

Flerbrukshaller er bygget opp av søylefrie spenn med store vegg- og takflater, ofte uten vinduer og dører. Resultater fra både litteraturstudiet og casene viser at effektivitet kan oppnås ved å produsere standardiserte elementer i store serier. Derfor er flerbrukshaller spesielt godt egnet for prefabrikasjon da de kan bygges opp med flere like elementer.

Som følge av mange interessenter i prosjektet kan det oppstå behov for endringer underveis i prosjektet. Prefabrikasjon vil da være mindre egnet. Dette kan også være tilfelle dersom prosjektet endres for å tilfredsstillere kravene for spillemidler. God fleksibilitet i bygningstypen kan oppveie noe for dette.

Under noen omstendigheter vil bruk av prefabrikasjon i flerbrukshaller være spesielt egnet. På grunn av fordelen med kort byggetid er dette tilfellet når det er behov for tidlig overlevering, for eksempel til et idrettsarrangement eller skolestart. Dette er også tilfelle ved bygging på trange tomter, da prefabrikasjon ikke krever samme forhold på riggen som tradisjonell bygging. Ved bygging av flerbrukshaller i usentrale strøk vil prefabrikasjon være fordelaktig i form av lavere behov for lokal arbeidskraft. Dersom betong benyttes som byggemateriale vil det også være naturlig å benytte prefabrikkerte elementer på grunn av behov for spennarmering.

7 Videre arbeid

Dette kapittelet redegjør for hvordan arbeidet med denne oppgaven kan videreføres. Etter endt studie, og av oppgavens begrensninger er det identifisert flere temaer som kan være interessant å studere nærmere.

Oppgaven er hovedsakelig basert på kvalitative forskningsmetoder. Det har vært fokus på å danne et bilde av helheten i temaet. Etter å ha studert helheten, ble det forsøkt å innhente kvantitative resultater. Det viste seg at det var vanskelig å finne data med høy validitet og reliabilitet. Dataene som ble funnet var derfor lite egnet for sammenligning. For å kunne dokumentere funnene fra oppgaven med større sikkerhet vil det være behov for å ta i bruk flere kvantitative forskningsmetoder. Casene som er undersøkt i denne oppgaven var ferdigstilt og overlevert når data ble innhentet. En mulighet for å bedre datagrunnlaget, vil være å ta utgangspunkt i case studier som er under oppføring. Da vil en eksempelvis ha mulighet til å utføre nøyaktige tidsstudier ved hjelp av videoovervåking.

Casene i denne oppgaven er begge basert på et prefabrikkert byggesystem. Det vil også være interessant å sammenligne prefabrikasjon i større grad opp mot tradisjonell bygging. Litteraturen viste til at prefabrikasjon gir flere gevinster for helheten i prosjektet. Et forslag til videre arbeid vil være å utvikle et måleverktøy som tar for seg nødvendig informasjon og ulike nøkkeltallsindikatorer (KPI). En kan da for eksempel ta utgangspunkt i modellen til Apleberger (2007). Faktorene i modellen er presentert i Tabell 3.10. Videre kan en identifisere nøkkeltall for tid, kostnader, sikkerhet, kvalitet, miljø, og sammenligne prestasjonene opp mot grad av industrialisering. Det er stort fokus på å utvikle et prestasjonsmålingsverktøy i byggebransjen, og flere forskningsprosjekter pågår for å identifisere ulike indikatorer for måling.

Denne oppgaven er avgrenset til ikke-volumetriske elementer i råbygget. Bygging med moduler og andre prefabrikkerte elementer er ikke sett nærmere på. Det vil være interessant å undersøke hvilken effekt bruk av moduler har for bygging av flerbrukshaller, spesielt i garderobe- eller våtromsløsninger. Dette vil gjøre det mulig å prefabrikkere innvendige arbeider før montasjen.

Prefabrikkerte elementer av betong og tre er sammenlignet på et overordnet nivå. For å ta sammenligningen videre vil det være interessant å studere verdikjedene nærmere. Et forslag til videre arbeid vil være å utføre verdistrømsanalyser for de ulike verdikjedene. Ved å studere verdiskapingen bakover i kjeden vil det være mulig å identifisere potensialet for å redusere ikke-verdiskapende aktiviteter, samtidig som det vil gi et bedre sammenligningsgrunnlag. Videre kan det også være interessant å studere stål som byggemateriale.

Resultatene fra case studiene tilsier at bruk av prefabrikkerte elementer er gunstig for flerbrukshaller. For å verifisere dette på et mer generelt grunnlag, vil det være nødvendig å studere et større antall caser. Det vil videre være interessant å studere nærmere hvilke kontraktstrategier som vil være hensiktsmessige å velge for å utnytte styrkene ved prefabrikasjon. Utbyggingsraten av nye flerbrukshaller vil variere fra kommune til kommune. Det at kommunene er ansvarlig for utbyggingen i sin kommune, gjør at kompetansenivået vil variere stort. Deling av erfaringer og kompetanse vil utvikle alle kommuner som utbyggere. Forslag til videre arbeid kan derfor være å etablere en felles portal eller database, hvor en kan dele erfaringer og dokumenter. God dokumentasjon fra flere ulike prosjekter vil kunne være hensiktsmessig i å identifisere beste praksis.

Klimagassberegningene i denne oppgaven er beregnet fra vugge til port. For å gi et mer riktig bilde av hvilken miljøbelastning de ulike materialene har, vil det være nødvendig å studere utslippene gjennom hele prosjektets livsløp. *Klimagassregnskap.no* har moduler for å beregne utslipp knyttet til transport, byggefasen, utskiftninger og vedlikehold, samt energibehov i bruksfasen. For å utføre dette vil det være behov for full tilgang til prosjektdokumentasjon.

Referanser

- Albriksen, R. O. (1989). *Produktivitet i byggebransjen: forskjeller i produktivitet: teori, metode, analyser, forklaringer* (Vol. 48). Oslo: Instituttet.
- Apleberger, L. Jonsson, R. og Ahman, P. (2007). *Byggandets industrialisering: Nulägensbeskrivning*. Göteborg: Sveriges Byggindustrier.
- Arbulu, R., Tommelein, I., Walsh K. & Hershauer, J. (2003). *Value stream analysis of a reengineered construction supply chain*, Building Research & Information, 31:2, 161-171.
- Arge, K., Wågø, S. & Knudsen, W. (2008). *Valuta for pengene. En studie av 15 boligprosjekter*. SINTEF prosjektrapport 18.
- Ashworth, A. (2010). *Cost studies of buildings*. Harlow: Pearson Education.
- Asphjell, J. (2014). *Finansiering av norsk idrett og anleggssituasjonen i Norge*. Paper presentert på Anleggspolitisk konferanse, Trondheim 2014. Tilgjengelig fra: <http://www.idrett.no/nyheter/Sider/Presentasjoner-fra-Anleggskonferansen.aspx> (Hentet: 16.12.2014).
- Aubert, V. (1985). *Det skjulte samfunn*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Ballard, G., & Howell, G. (1998). *What kind of production is construction?* In Proc. 6 th Annual Conf. Int'l. Group for Lean Construction (pp. 13-15).
- Berg, T. F. (2008). *Industrialisering og systematisering av boligbyggproduksjon*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Betongelementforeningen. (2007). *Bind D: Brannmotstand, bestandighet og tetting*. 2. opplag. Asker: SB Grafisk.
- Betongelementforeningen. (2009). *Bind G: Transport og montasje*. 1. opplag. Asker: SB Grafisk.
- Betongelementforeningen. (2010). *Bind A: Bygging med betongelementer*. 4. opplag. Asker: SB Grafisk.
- Bichao, H., Tilseth, M. (2014). *Litteratursøk – Hva Hvor Hvordan*. Paper presentert på forskningsmetodekurs, Trondheim, 2014.
- Bruland, A. (2014). *Hva kan Senter for idrettsanlegg og teknologi gjøre for idretten?* Paper presentert på Anleggspolitisk konferanse, Trondheim 2014. Tilgjengelig fra: <http://www.slideshare.net/Idrettsforbundet/2-1-amund-bruland> (Hentet: 03.01.2015).
- CII. (u.d.). *IR171-2 – Prefabrication, Preassembly, Modularization, and Offsite Fabrication: Decision Framework and Tool*. Construction Industry Institute. Tilgjengelig fra: https://www.construction-institute.org/scriptcontent/more/ir171_2_more.cfm (Hentet: 23.06.2015).
- Christopher, M. (1992). *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Costs and Improving Service*. Pitman Publishing, London.
- Čuš-Babič, N., Rebolj, D., Nekrep-Perc, M., & Podbreznik, P. (2014). *Supply-chain transparency within industrialized construction projects*. Computers in Industry, 65(2), 345-353.

- Cox, A. (1999). *Power, Value and Supply Chain Management*. Supply Chain Management. 4 (4): 167-175.
- Dalland, O. (2000). *Metode og oppgaveskriving for studenter*. 3. utg. Oslo: Gyldendal akademisk.
- DiBK. (2010). *Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK10), Kapittel 9. Ytre miljø*. Direktoratet for byggkvalitet.
- Edvardsen, K. I. & Ramstad, T. (2006). *Håndbok 53 - Trehus*. 3. utg. Oslo: Norges Byggforskningsinstitutt.
- Egan, J. (1998). *Rethinking Construction*, The Egan Report, Department of the Environment, Transport and the Regions, London.
- Eikeland, P. T. (1999). *Samspillet i byggeprosessen. Teoretisk analyse av byggeprosesser*.
- Forbes, L. H. & Ahmed, S. M. (2011). *Modern construction: lean project delivery and integrated practices*. Boca Raton: CRC Press.
- Gibb, A. G. F (1999). *Off-site fabrication: prefabrication, pre-assembly, modularization*. Scotland: Whittles Publishing.
- Gibb, A. G. F. (2001). 'Standardisation and pre-assembly—distinguishing myth from reality using case study research' *Construction Management and Economics*. 19(3), s. 307–315.
- Gibb, A. G. F. & Isack, F. (2003). *Re-engineering through pre-assembly: client expectations and drivers*. Building Research & Information, 31:2, 15.
- Holthe, K., Rolstad, A. N., & Wærp, S. (2007). *Avfall, byggkvalitet og prefabrikasjon i boligprosjekter - erfaringer fra case-studier: oppdragsrapport*. Oslo: Sintef Byggforsk.
- Höök, M. (2008). *Lean culture in industrialized housing a study of timber volume element prefabrication*.
- Ingvaldsen, T. (2001). Skader på bygg. *Grunnlag for systematisk måling. Prosjektrapport, 308*.
- Ingvaldsen, T. & Edvardsen, D. F. (2007). *Effektivitetsanalyse av byggeprosjekter: måle- og analysemetode basert på referansetesting av 122 norske boligprosjekter fra perioden 2000-2005 (Vol. 1-2007)*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Jaillon, L & Poon, C. S. (2009). "The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector." *Automation in Construction*. 18(3), s. 239-248.
- Kittang, D., Narvestad, R. A. & Nyrud, A. Q. (2011). *Tre i by - en kunnskapsoversikt*. 2011. ISBN 978-82-536-1204-1. SINTEF Byggforsk Prosjektrapport (74).
- Koskela, L. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Technical Report 72, CIFE, Stanford University, Stanford, CA.
- Kristensen, T. (1999). *Bygningselementer av massivtre (Vol. 45)*. Oslo: Norsk treteknisk institutt.
- Kulturdepartement, D. K. (2005). *Veileder: Flerbrukshaller Planlegging, bygging, drift og vedlikehold (V-0690)*.
- Kulturdepartement, D. K. (2014). *Bestemmelser om tilskudd til anlegg for idrett og fysisk aktivitet (V-0732 B)*.

- Kvale, S. (1997) Det kvalitative forskningsintervju. 2. utg. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Langlo, J. A., Bakken, S., Karud, O. J., Malm, E. & Andersen, B. (2013). *Måling av produktivitet og prestasjoner i byggenæringen*. Trondheim: SINTEF Teknologi og samfunn.
- Lædre, O. (2009). *Kontraktstrategi for bygg- og anleggsprosjekter*. Trondheim: Tapir akademisk forl.
- Martinsons AB. (u.d.). *Byggnader i limträ. Stomleveranser och montage*. Tilgjengelig fra: http://www.martinsons.se/Allm%C3%A4n/Filer/System/Nedladdning/martinson_stombroschyr_low.pdf (Hentet: 12.05.2015)
- Meland, Ø. H. (2000). *Prosjekteringsledelse i byggeprosessen: suksesspåvirker eller andres alibi for fiasko?* (Doktoravhandling, NTNU). Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Meld. St. 26 (2011-2012). (2011). *Den norske idrettsmodellen*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/nb/dokumenter/meld-st-26-20112012/id684356/>
- Moore, R. (2007). *Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools*. Burlington: Butterworth-Heinemann.
- Neale, R. H., Price, A. & Sher, W., (1993). *Prefabricated Modules in Construction: A Study of Current Practice in the United Kingdom*: Chartered Institute of Building.
- NHP. (2013). *Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall 2013-2016* . Oslo: NHP-nettverket.
- Norsk Betongforening. (2009). *CO2-utslipp – sement og betong: utfordringer og perspektiver*. Oslo: Norsk betongforening
- Norsk prisbok 2014: et oppslagsverk for byggebransjen*. (2014). Sandvika: Norconsult informasjonssystemer.
- Pasquire, C. L., & Connolly, G. E. (2002). *Leaner construction through off-site manufacturing*. Proc. 11th Annual Conference, International Group for Lean Construction, Gramado, Brazil, 263-266.
- Picchi, A. F. (2000). *Lean Principles and the Construction Main Flows*, Lean Enterprise Institute.
- Rolstadås, A. (1997). *Praktisk prosjektstyring*. Trondheim: Tapir.
- Rønning, A., Lyng, K.A. & Vold, M. (2011). *Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer*. Litteraturstudie. OR.02.11 - Østfoldforskning.
- Samset, K. (1998). *Project management in a high-uncertainty situation* (Doktoravhandling, NTNU).
- Samset, K. (2007). Concept rapport nr 17: Beslutninger på svakt informasjonsgrunnlag. Tilnærminger og utfordringer i prosjekters tidlige fase. Generelt om prosjekter og utfordringer i tidligfasen. Trondheim: NTNU.
- Samset, K. (2008). *Prosjekt i tidligfasen: valg av konsept*. Trondheim: Tapir akademisk forl.
- Sander, K. (2014a). *Induktiv vs. deduktiv studier*. Tilgjengelig fra <http://kunnskapssenteret.com/induktiv-deduktiv/> (Hentet 04.05.2015).
- Sander, K. (2014b). *Intervjumetoden*. Tilgjengelig fra <http://kunnskapssenteret.com/intervjumetoden/> (Hentet 04.05.2015).
- Schmidt, L. (2009). *Industrialisering av trehusproduksjonen: En kunnskapsoversikt*. Oslo: Nordberg AS.

- SINTEF Byggforsk. (1994). *Betongelementer i fasader*. Byggforskserien 523.611.
- SINTEF Byggforsk. (1996). *Dekker av betong- og lettbetongelementer*. Byggforskserien 522.881.
- SINTEF Byggforsk. (1997). *Planlegging av betongelementbygg*. Byggforskserien 520.120.
- SINTEF Byggforsk. (2000). *Trelast av gran og furu. Egenskaper og dimensjoner*. Byggforskserien 571.523.
- SINTEF Byggforsk. (2001). *Massive treelementer. Typer og bruksområder*. Byggforskserien 520.205.
- SINTEF Byggforsk. (2009). *Idrettsanlegg Flerbrukshaller*. Byggforskserien 341.706. Oslo: SINTEF Byggforsk Kunnskapssystemer.
- SINTEF Byggforsk. (2010). *Tilsetningsstoffer for betong*. Byggforskserien 572.207.
- Slevin, D. P. & Pinto, J. K. (1987). *Balancing strategy and tactics in project implementation*. *Sloan management review*, 29(1), 33-41.
- Standard Norge. (2004). *Miljøstyringssystemer: spesifikasjon med veiledning: (ISO 14001:2004)*. Oslo: Standard Norge.
- Standard Norge. (2013). *Norsk Standard NS 3457-3:2013 Klassifikasjon av byggverk*. Oslo: Standard Norge.
- Standard Norge. (2014). *Norsk Standard NS 3450:2014 Konkurransgrunnlag for bygg og anlegg- Redigering og innhold*. Oslo: Standard Norge
- Statsbygg. (2012). *Klimagassregnskap.no/versjon 4*. Tilgjengelig fra: <http://www.klimagassregnskap.no/wordpress/wp-content/uploads/2015/04/kgr4-dokumentasjonsrapport.pdf> (Hentet: 01.05.2015).
- Statsbygg. (2014). *Brukermanual www.klimagassregnskap.no*. Tilgjengelig fra: <http://www.klimagassregnskap.no/wordpress/wp-content/uploads/2015/04/brukermanual-til-versjon-5-28-nov-2014.pdf> (Hentet: 01.05.2015).
- Söderholm, E. (2010). *Applicability of continuous improvements in industrialised construction design process*. Luleå: Luleå tekniska universitet. (Licentiate thesis / Luleå University of Technology).
- Takano, A., Pittau, F., Hafner, A., & Ott, S. (2013). Greenhouse gas emission from construction process of multi-story wooden buildings. In *Proceedings of Sustainable Building Conference* (Vol. 27, No. 28.09).
- Tam, V. W. Y. Tam, C. M. Zeng, S. X. & William, C. Y. (2007). 'Towards adoption of prefabrication in construction' *Building and Environment*, 42(10), s. 3642-3654.
- Treteknisk og Trefokus. (2011). *FOKUS på tre: Massivtre*. (Fokus 20).
- Vold, M., Rønning, A. & Nyland, C.A. (2005). *EPD'er, Hva? Hvem? Hvor?*. Teknisk rapport, Stiftelsen Østfoldforskning.
- Vrijhoef, R. & Koskela, L. (2000). *The four roles of supply chain management in construction*. *European Journal of Purchasing & Supply Management* 6 (2000) 169-178.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Free Press.

Yin, R. K. (2009). *Case study research: design and methods*. Thousand Oaks, Calif.: Sage.

Zapffe, C. D. (2003). *En studie av massivtre som byggemateriale*. [Trondheim]: C.D. Z.

Østby-Deglum, E., Svalestuen, F. & Drevland, F. (2012). *TBA4127/AAR4951 Prosjekteringsledelse*. Kompendieforlaget.

Bilagliste

Bilag A: Oppgavetekst.

Bilag B1: Intervjuguide, Heimdalshallen, byggherre.

Bilag B2: Guide, befaring Overhalla Betongbygg AS (Leverandør, Heimdalshallen).

Bilag B3: Intervjuguide, Bankgata flerbrukshall, arkitekt/byggeleder.

Bilag C: Antakelser og forutsetninger for klimagassberegninger.

Bilag D: Antakelser ved utregning av enhetstider for montasje av betongelementer.

BILAG A**MASTEROPPGAVE**
(TBA4935 Anleggsteknikk, masteroppgave)VÅREN 2015
for
Kjell Erik Bakke

Flerbrukshaller og prefabrikasjon

BAKGRUNN

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT). Formålet til SIAT er å forske, utvikle og formidle kunnskap innenfor sentrale temaer knyttet til idrettsanlegg og teknologi. Ved SIAT har de gående et prosjekt med tittelen «Gode Idrettsanlegg», hvor visjonen til prosjektet er å få bygget bedre og billigere idrettsanlegg. Det skal bygges med rett kvalitet, til rett pris. Hovedmålet til prosjektet er å heve kompetansen innenfor byggeprosjektets faser; planlegging, prosjektering, bygging og drift av idrettsanlegg. I 2014 ble det bygget idrettsanlegg for 4,3 milliarder kroner. En redusering i kostnadene vil være av interesse for det offentlige, idrettslagene og andre utbyggere.

Byggenæringen står overfor flere utfordringer deriblant lav produktivitet. Mellom 40-60 % av arbeidsdagen hevdes å være uproduktiv. Ved bruk av prefabrikasjon flyttes store deler av verdiskapingen vekk fra byggeplass, og over til et mer egnet miljø for produksjon. Samtidig som en ønsker å effektivisere produksjonsprosessen er det ønskelig at det ikke går på bekostning av kvalitet, miljø eller sikkerhet. Gode arbeidsforhold vil kunne øke produktiviteten og gi bedre lønnsomhet i prosjektene.

OPPGAVE**Beskrivelse av oppgaven**

Oppgaven tar for seg bygging av flerbrukshaller med ulike prefabrikkerte løsninger. Det studeres nærmere hvilken innvirkning bruk av prefabrikasjon har på byggeprosessen. Videre sammenlignes to løsninger hvor den ene omfatter bygging med betongelementer, og den andre med elementer av tre. Til slutt studeres egnetheten til å bygge flerbrukshaller med prefabrikkerte løsninger. Det tas utgangspunkt i to case studier som baserer seg på ulike løsninger. Ved sammenligningen av materialene er forholdene kostnad, tid, kvalitet, ytre miljø, SHA, logistikk og transport undersøkt. For faktoren «ytre miljø», er det utført et studie som tar for seg klimagassberegninger.

Målsetting og hensikt

Oppgaven har som formål å heve kompetansen rundt bygging av idrettshaller. Det er grunn for å tro at mange av dem som er involverte i slike prosjekter har liten eller ingen erfaring fra tilsvarende prosjekter. Denne oppgaven har fokus på produksjonsprosessen av bygget. Innsikt i hvilke muligheter en har til å gjennomføre produksjonen på, vil kunne gi et bedre grunnlag til å planlegge og utforme prosjektene. Oppgaven kan være til hjelp for prosjektutviklere i det å utvikle mer gjennomtenkte konkurransegrunnlag, så vel som entreprenører og leverandører gjennom effektivisering av produksjonen og verdikjeden.

Deloppgaver og forskningsspørsmål

Oppgaven tar for seg tre forskningsspørsmål:

1. Hvilken innvirkning på byggeprosessen har bygging med prefabrikkerte elementer?
2. Hvilke forskjeller er det mellom bygging med prefabrikkerte elementer av betong og tre?
3. I hvilken grad er flerbrukshaller egnet til bygging med prefabrikkerte elementer?

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødige voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinaviske språk og som ikke behersker et skandinaviske språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på <http://www.ntnu.no/bat/studier/oppgaver>.

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturer underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.
Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til sonja.hammer@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskedeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM.

Faglærer ved instituttet: Amund Bruland

Veileder hos ekstern samarbeidspartner: Bjørn Aas (SIAT)

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 21.01.2015, (revidert: 10.07.2015)

Underskrift



Faglærer

B.1 Intervjuguide: Heimdalshallen, byggherre (styreleder, HIF)

Intervjuet gjennomføres i forbindelse med en masteroppgave ved NTNU, institutt for bygg, anlegg og transport. Resultatene fra intervjuet vil presenteres i oppgaven. Hovedtema for oppgaven er bygging av flerbrukshaller med bruk av prefabrikkerte elementer.

Mål for besøk: Bli kjent med prosjektet, og se hvilke byggemetoder som er benyttet. Innhente fakta og dokumentasjon. Få informasjon om hvilke aktører som har vært involvert i prosessen.

Info rundt prosjektet:

- Størrelse
- Pris
- Byggetekniske løsninger
- Organisering
- Entrepriseform
- Tid: Idé, prosjektet initiert, byggestart, ferdigstillelse
- Romprogram
- Eie- og driftsforhold

Spørsmål:

Hva er din rolle i prosjektet?

Hvordan var prosjektet organisert?

Når ble eie- og driftsansvaret avklart?

I hvilken grad ble arkitektur og kvalitet på byggematerialene valgt?

Hvilke endringer ble gjort underveis i prosjektet?

Hvordan var samspillet mellom aktørene i prosjektet?

Var det avvik mellom prosjektets faktiske og planlagte kostnader?

Hvilke konsepter eller prosjektalternativer ble vurdert?

I hvilken grad ble det tatt hensyn til FDV-kostnader ved prosjektets utforming?

B.2 Befaring: Overhalla Betongbygg AS (Prefab. leverandør, Heimdalshallen)

Oppgaven omfatter bygging av idrettshaller med prefabrikkerte elementer og hvordan det påvirker byggeprosessen frem til og med tett bygg. Elementer av interesse er da vegg, dekker og takelementer. Brukt i Heimdalshallen er betong-sandwich, hulldekker, DT- og SDT-elementer. Forhold som studeres er byggetid, økonomi, kvalitet, miljø, sikkerhet og logistikk.

Mål for besøk: Få innblikk i prosedyrer rundt produksjonen av elementene (fra A til Å). Operasjoner, maskinbruk, bemanning, standardisering/repetisjon av oppgaver, Lean produksjon. Lagervarer eller bestilling etter behov? Mellomlagring, beskyttelse, pakking og transportering.

Få gjennomført intervju med personer involvert i Heimdalshallen-prosjektet, og evt. andre med innsikt i oppgavens tema. Intervjuguide er tatt med på neste side.

Det er ønskelig i størst mulig grad beskrive og dokumentere forholdene som oppgaven tar for seg. Faktorene er listet opp under.

Tid

Enhetstid for:

- Produksjon av elementer (tid/m² bygningsdel, nødvendig utstyr og bemanning)
- Montasjetid (tid/m² bygningsdel, nødvendig/supplerende utstyr og bemanning)

Kostnad

- Utsalgspris (for mellomstore entreprenører som er flergangskunder)
- Transportkostnader.
- Andre innvirkninger på prosjektets totale kostnader

Ytre miljø

- Rutiner for avfallsbehandling (system, mengder)
- Sorteringsgrad
- Klimagassutslipp, EPD for elementer?

HMS

- Sikkerhetsrutiner og ryddighet
- Arbeidsuhell, siste skade med fravær

Kvalitet

- Omfang av feil, skader og mangler på elementer. Hvordan løses dette hvis det oppdages på byggeplass. Vanligste feil ved montasje?
- Standardisering, kontrollerte produksjonsomgivelser, kvalitetskontroll

Logistikk og transport

- Transport: kostnader, begrensninger på last, lokalisering av kunder, beskyttelse, skader ved transport, store spenn (SDT-elementene)
- Leveringstid (Fra bestilling til ferdig levert), tid for ny levering ved hasteordre eller feil på elementer

Intervjuguide

Kort om bakgrunnen til intervjuobjektet

Om forholdene på fabrikken:

Hvilke elementer produseres det mest av, og i hvilket omfang?

Hvem er kundene og hvordan er relasjonen til dem?

Hvilke typer prosjekter leveres det mest til?

I hvilken grad er dere involvert i prosjekteringen/utformingen av prosjektet?

Om bygging med prefabrikkerte elementer:

Hvorfor velger entreprenører å bygge med prefabrikkerte elementer?

Stikkord:

- Byggetid
- Økonomi
- Kvalitet
- Miljø
- HMS
- Logistikk

Hva er utfordringene ved å bygge med elementer? (Samme stikkord som over)

Viktige forutsetninger når man skal bygge med elementer?

Hvor egnet er det å bygge idrettshaller med elementer?

Hvordan er markedet for bygging med elementer? (Etterspørsel, variasjon i pris, utvikling og innovasjon)

B.3 Intervjuguide: Bankgata flerbrukshall, arkitekt og byggeleder

Intervjuet gjennomføres i forbindelse med en masteroppgave ved NTNU, institutt for bygg, anlegg og transport. Resultatene av intervjuet vil presenteres i oppgaven. Hovedtema for oppgaven er bygging med bruk av prefabrikkerte elementer. Egnetheten til å bruke prefabrikasjon til å bygge idrettshaller blir også undersøkt. Med prefabrikkerte elementer er det fortrinnsvis sett på bygningsdeler. Faktorer som studeres nærmere er kostnad, tid, kvalitet, miljø og SHA/HMS.

Generell informasjon: Rolle i prosjektet, bakgrunn/utdannelse/erfaringer?

Green Building System

Om produksjonen av elementene? Beskrivelse av bæresystem, yttervegger, dekker og tak.

Hvilke erfaringer tas med fra prosjektet? Utvikling av GBS? Noen nye løsninger under utvikling? Vurdert prefabrikkerte moduler (f.eks baderom)?

Tomtens betydning for konseptet GBS?

Betydning av konkurransegrunnlaget for dette prosjektet? (todelt totalentreprise, kravspek., (påslag for risiko)) Ideell anskaffelsesstrategi for GBS og bygging av idrettshaller?

Hvilke typer bygg/prosjekter egner seg best for GBS? Viktige forutsetninger. Hvor egnet er idrettshaller? Strategi for å finne prosjekter tilpasset GBS?

Generelle spørsmål knyttet til prefabrikasjon

Fordeler og utfordringer ved prefabrikasjon (i forhold til plassbygging)?

Påvirkning på faktorer som

- Tid (Stikkord: prosjekteringsomfang, byggetid, tett bygg, standardisering, størrelse på elementer, bufferaktivitet)
- Kostnad (Stikkord: totale, rigg- og drifts-, levetids-)
- Kvalitet (Stikkord: Energiklassifisering, lyd, lys, byggefeil/skader, arkitektur, tetthet, brannkrav)
- Miljø (Stikkord: Avfallsmengde, resirkulering, inneklime, klimagassutslipp)
- SHA/HMS (Stikkord: Risiko, konsekvens, skader, ulykker, arbeidsmiljø (ryddig, arbeidsforhold))
- Annet: logistikk, fleksibilitet, transport, kompleksitet

Fordeler og utfordringer ved bruk av tre som byggemateriale (i forhold til andre materialer)?

Hvordan varierer markedet/prisnivået på trematerialer og elementer?

Hvordan tror du utviklingen i bruk av prefabrikkerte elementer blir fremover?

C Forutsetninger og antakelser ved klimagassberegningene

Klimagassberegningene er delvis utført ved hjelp av verktøyet klimagassregnskap.no (KG v.5) og delvis ved bruk av EPD'er. I henhold til brukermanualen til klimagassregnskap.no er det noen materialtyper som ikke dekkes av databasen for utslippsfaktorer. Dette gjelder for produkter som vindsperrer av papp, dampsperrer eller andre dukformater. Det hevdes at disse manglene normalt utgjør mindre enn ca. 5 % av samlet materialmengde (Statsbygg, 2014). Det er derfor valgt å se bort ifra disse produktene.

Himlinger er ikke inkludert i beregningene da valgt løsning varierer i ulike deler av bygget. Valg av himlingsmaterialer kommer heller ikke tydelig frem av tegningsgrunnlaget. Det tas ikke hensyn til materialenes levetid og klimagassberegningene er basert på prinsippet fra «vugge til port». Dette er nærmere beskrevet i kapittel 2.3.2. Målingene av klimagassutslippene baserer seg på 1 m² bygningsdel. I KG v.5 finner en utslippsfaktorer (UF) og tetthet til ulike materialer. Disse er benyttet til å finne utslipp knyttet til ulike materialer.

Antakelser, Bankgata flerbrukshall

Bæresystem

- Limtrebjelkene og limtresøylene er beregnet ut ifra EPD (Martinsons-a, 2009). Det er benyttet en UF på 45 kg CO₂-ekv/m³ for limtreet. Totalt består bygget av 50,4 m³ limtresøyler og 262,6 m³ limtrebjelker. Dette gir utslipp på henholdsvis 2 268 kg CO₂-ekv og 11 817 kg CO₂-ekv.

Yttervegg

- Massivtre er beregnet ut ifra EPD (Martinsons-b, 2009). KG v.5 har ikke tilsvarende produkt i materialdatabasen. UF = 57 kg CO₂-ekv/m³. Med tykkelse på 70 mm blir utslippet 4,0 kg CO₂-ekv/m².
- Dampsperre og vindsperre neglisjeres.
- Bindingsverk og krysslektingen er beregnet i KG v.5.
- Isolasjonen er beregnet ut ifra verdier i KG v.5. Glassull har en UF på 2,772 kg CO₂-ekv/kg og tetthet på 20 kg/m³. I ytterveggen er det benyttet 200 mm isolasjon. Dette gir et utslipp på 11,1 kg CO₂-ekv/m².
- Limtrekledning er beregnet ut i fra EPD (EPD-Norge, 2014). KG v.5 hadde ikke et lignende kledningsprodukt. *MøreRoyal* antas å være et tilsvarende kledningsprodukt som er benyttet i Bankgata. Tykkelse på kledningen er 19 mm. EPD'en inkluderer opptak av CO₂. Fratrasket CO₂-opptaket er utslippsfaktoren 178 kg CO₂-ekv/m³. Utslippet blir da 3,4 kg CO₂-ekv/m².
- Sinusplatene består av aluminium. Tilsvarende produkter er undersøkt. Det er antatt en platetykkelse på 1 mm og en tetthet på 3 kg/m². Utslippene er beregnet med hensyn på verdier fra KG v.5. Det er antatt en resirkuleringsgrad på 40 % av aluminiumet. Ifølge Rønning et al. (2011) er omtrent 50 % av aluminiumsproduksjonen basert på jomfruelige materialer grunnet stor etterspørsel. Ved 40 % resirkulering er utslippsfaktoren 6,15 CO₂-ekv/kg. Dette gir et utslipp på 18,5 kg CO₂-ekv/m². Utslippet knyttet til platene vil variere stort etter graden av resirkulert aluminium. I databasen til KG v.5 har 100 % resirkulert en UF på 0,521 kg CO₂-ekv/kg og nyutvunnet aluminium har en UF på 9,908 kg CO₂-ekv/kg. Dette utgjør en faktor på nesten 20.

Dekker

- Massivtreet er beregnet på samme grunnlag som ytterveggen. 170 mm massivtre gir et utslipp på 9,7 kg CO₂-ekv/m².
- Trinnlydplaten er 36 mm av glassull. Dette gir et utslipp på 2,0 kg CO₂-ekv/m². Utslipet er beregnet med verdier fra KG v.5.
- Polypropylenduken er neglisjert
- Påstøpet består av 70 mm minimumsarmert betong. Beregningen er utført med KG v.5. Det er anbefalt av *SINTEF Byggforsk (2005)* å bruke K 257 som minste armeringsnett uansett påstøpsklasse. K 257 har en tetthet på 4,11 kg/m², som ligger til grunn for beregningen. UF for betongen er 0,188 kg CO₂-ekv/kg og tettheten er 2 400 kg/m³. Dette gir et utslipp på 31,6 kg CO₂-ekv/m². For armeringen er UF = 2,89 kg CO₂-ekv/kg. Utslipet knyttet til armeringen blir da 11,9 kg CO₂-ekv/m². Totalt utgjør utslippet 43,5 kg CO₂-ekv/m².
- Som gulv er det lagt parkett. Det er tatt utgangspunkt i verdier fra KG v.5. UF = 0,2427 kg CO₂-ekv/kg. Tettheten er 517 kg/m³. Det er tatt utgangspunkt i 22 mm eikeparkett. Dette gir et utslipp på 2,8 kg CO₂-ekv/m².

Yttertak

- Dampsperreren og vindsperreren (forenklet undertak) er neglisjert.
- Bjelkelaget og krysslektingen er beregnet med KG v.5.
- Det er lagt 350 mm glassull i taket. Dette gir et utslipp på 19,4 kg CO₂-ekv/m².
- OSB-platen i taket har tykkelse på 18 mm. Det er benyttet verdier fra KG v.5. UF = 0,736 kg CO₂-ekv/kg. Tettheten er 620 kg/m³. Utslipet blir da 8,2 kg CO₂-ekv/m².
- Taket er tekket med to lag asfaltpapp. Total antatt tykkelse er 6,8 mm (3 mm + 3,8 mm). Det er benyttet verdier fra KG v.5. Asfaltpapp har UF på 0,826 kg CO₂-ekv/kg. Tettheten er 1 150 kg/m³. Utslipet blir da 6,5 kg CO₂-ekv/m²

Antakelser, Heimdalshallen

Bæresystemet i stål inkluderes ikke i beregningene, da det rettes fokus mot idrettshallene og ikke tilbygget.

Yttervegg

- Utslippene knyttet til sandwich-veggen er beregnet ut ifra EPD fra *Spenncon (EPD-Norge-a, 2010)*. Elementet er et tilsvarende produkt som det som Overhalla Betongbygg produserer. UF = 171 kg CO₂-ekv/tonn. Sandwich-veggene som er produsert av Overhalla Betongbygg har en tetthet på 462 kg/m². Utslipet blir da 79,0 kg CO₂-ekv/m² vegg.
- Utslippene knyttet til ytterveggen i tilbygget er beregnet med KG v.5. Dette gjelder sjiktene fibersementplater, bindingsverk, lekting, isolasjon og innvendige gipsplater. Innvendig vegg er kledd med 12 mm gips. Gips har en UF på 0,213 kg CO₂-ekv/kg. Tettheten = 900 kg/m³. Utslipet blir da 2,3 kg CO₂-ekv/m².
Det er lagt 300 mm steinull i ytterveggen. UF for steinull er 1,136 kg CO₂-ekv/kg. Tettheten er 30 kg/m³. Utslipet blir da 10,2 kg CO₂-ekv/m².
Ytterveggen er kledd med 9 mm fibersementplater. Disse har en UF på 0,451 kg CO₂-ekv/kg. Tettheten = 1 580 kg/m³. Utslipet blir da 6,4 kg CO₂-ekv/m².

Dekke

- Utslippene knyttet til hulldekket er beregnet ved bruk av EPD fra *Contigas HD320* (EPD-Norge, 2013). *Overhalla Betongbygg* kjøpte elementene fra denne leverandøren. Utslipper er 55 kg CO₂-ekv/m².
- Gysing og fuging er beregnet ut ifra KG v.5. Det er antatt en mengde på 0,05 m³/m². Gysingen og fugingen utgjør totalt et utslipp på 22,6 kg CO₂-ekv/m².
- Utrekningen av sparkelmassen er utført ved hjelp av KG v.5. Sparkelmassen har en UF på 0,599 CO₂-ekv/kg. Tettheten er 570 kg/m³. Det er sparklet med en tykkelse på 20 mm. Dette utgjør et utslipp på 6,8 kg CO₂-ekv/m².
- Som gulv er det lagt parkett. Det er tatt utgangspunkt i verdier fra KG v.5. UF = 0,2427 CO₂-ekv/kg. Tettheten er 517 kg/m³. Det er tatt utgangspunkt i 22 mm eikeparkett. Dette gir et utslipp på 2,8 kg CO₂-ekv/m².

Yttertak

- Til utregning av DT- og SDT-elementer er det tatt utgangspunkt i EPD fra Spenncon (EPD-Norge-b, 2010). Det er ikke mulig å velge DT- eller SDT-elementer i KG v.5. EPD tar utgangspunkt i et DT-element. Det er antatt at *Overhalla Betongbygg* sine DT- og SDT-elementer vil ligge på tilsvarende nivå. UF i EPDen er 171 kg CO₂-ekv/tonn. DT-elementene fra *Overhalla Betongbygg* har en tetthet på 369 kg/m². Utslipper blir da 63,1 kg CO₂-ekv/kg. SDT-elementene har en tetthet på 353 kg/m². Utslipper for SDT-elementene blir da 60,4 kg CO₂-ekv/m².
- Dampsperre er neglisjert
- Det er lagt 300 mm steinull på taket. Dette utgjør et utslipp på 10,2 kg CO₂-ekv/m²
- Taket er tekket med to lag asfaltpapp. Total antatt tykkelse er 6,8 mm (3 mm + 3,8 mm). Det er benyttet verdier fra KG v.5. Asfaltpapp har UF på 0,826 kg CO₂-ekv/kg. Tettheten er 1 150 kg/m³. Utslipper blir da 6,5 kg CO₂-ekv/m²

Referanser

EPD-Norge-a. (2010). *Environmental Declaration ISO 14025 – DT-element Spenncon*. Tilgjengelig fra: <http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Byggevarer/EPD013NDT-elementrev.pdf> (Hentet: 13.05.2015).

EPD-Norge-b. (2010). *Environmental Declaration ISO 14025 – Veggelement med isolasjon*. Tilgjengelig fra: <http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Byggevarer/EPD016Nisolert%20veggrev.pdf> (Hentet: 13.05.2015).

EPD-Norge. (2013). *Environmental Declaration ISO 14025 – HD320 Contiga AS*. Tilgjengelig fra: <http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Byggevarer/NEPD%20160N%20Hulldekke%20HD%20320%20Contiga.pdf> (Hentet: 13.05.2015).

EPD-Norge. (2014). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION – MøreRoyal*. Tilgjengelig fra: <http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Byggevarer/NEPD%2000243N%20Royal-timber%20MoreRoyal%20s.pdf> (Hentet: 31.05.2015).

Martinsons-a. (2009). *Byggvarudeklaration BVD 3 – Limträ*. EPD. Tilgjengelig fra: http://www.martinsons.se/Allm%C3%A4n/Filer/System/Nedladdning/U2179_EP_D_BVD_Limtra.pdf (Hentet: 13.05.2015).

Martinsons-b. (2009). *Byggvarudeklaration BVD 3 – Korslimmat trä KLT*. EPD. Tilgjengelig fra: http://www.martinsons.se/Allm%C3%A4n/Filer/System/Nedladdning/U2676_EPD_BVD_KL-tra.pdf (Hentet: 12.05.2015).

Rønning, A., Lyng, K.A. & Vold, M. (2011). *Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer*. Litteraturstudie. OR.02.11 - Østfoldforskning.

SINTEF Byggforsk. (2005). *Påstøp og gulvpuss på golv*. Byggforskserien 541.201.

Statsbygg. (2014). *Brukermanual www.klimagassregnskap.no*. Tilgjengelig fra: <http://www.klimagassregnskap.no/wordpress/wp-content/uploads/2015/04/brukermanual-til-versjon-5-28-nov-2014.pdf> (Hentet: 01.05.2015).

D Antakelser for utregning av enhetstider ved Heimdalshallen

I dette bilaget presenteres de ulike forutsetningene og antakelsene som er lagt til grunn for å beregne enhetstider for montasje av ulike betongelementer. Etter samtaler med Overhalla Betongbyggs prosjektleder ved Heimdalshallen og kalkulasjonsansvarlig kom det frem at alle elementene har monteringsstid på 1-1,5 timeverk pr. element. Montasjelaget bestod av fem mann pluss kranfører.

Sandwich-element:

Det ble levert totalt 1 392 m² med sandwich-vegger fordelt på 64 elementer. Gjennomsnittsstørrelse på element blir da 21,75 m². Antar 1,25 tv/element.

$$\text{Enhetstid: } 6 \times 1,25 \text{ tv} / 21,75 \text{ m}^2 = 0,34 \text{ tv/m}^2$$

SDT-element:

Det ble levert totalt 1 237 m² med SDT-elementer fordelt på 19 stk. elementer. Hvert element utgjør da et areal på 65,11 m². Antar 1,5 tv/element.

$$\text{Enhetstid: } 6 \times 1,5 \text{ tv} / 21,75 \text{ m}^2 = 0,14 \text{ tv/m}^2$$

DT-element:

Det ble levert totalt 830 m² med SDT-elementer fordelt på 20 stk. elementer. Hvert element utgjør da et areal på 41,50 m². Antar 1,4 tv/element.

$$\text{Enhetstid: } 6 \times 1,4 \text{ tv} / 21,75 \text{ m}^2 = 0,20 \text{ tv/m}^2$$

Hulldekker

Prosjektleder opplyste om at det monteres mellom 150-200 m² pr. dag. Antar at det da monteres 175 m² pr. dag og at det arbeides 7,5 timeverk per dag.

$$\text{Enhetstid: } 6 \times 7,5 \text{ tv} / 180 \text{ m}^2 = 0,26 \text{ tv/m}^2$$

Etterkontroll:

Montasjen tok totalt 40 dager. Med 6 mann og arbeidsdager på 7,5 tv utgjør det totalt 1 800 tv.

I tillegg til elementene over ble det også levert kompaktvegger, trapper og stålbæring. Det ble levert totalt 49 kompakte veggelementer fordelt på 732 m². Det gir 14,94 m²/element. Antar 1 tv/element. Det gir en enhetstid på 0,40 tv/m² og totalt 294 tv.

$$\text{SW-vegger: } 0,34 \text{ tv/m}^2 \times 1\,392 \text{ m}^2 = 473 \text{ tv}$$

$$\text{SDT-elementer: } 0,14 \text{ tv/m}^2 \times 1\,392 \text{ m}^2 = 173 \text{ tv}$$

$$\text{DT-elementer: } 0,20 \text{ tv/m}^2 \times 830 \text{ m}^2 = 166 \text{ tv}$$

$$\text{HD: } 0,26 \text{ tv/m}^2 \times 2\,204 \text{ m}^2 = 573 \text{ tv}$$

Totalt utgjør dette 1 679 tv. Antar man 131 tv totalt ved montasje av trapper og stålbæring er en oppe i 1 800 tv.