



Industrialisering af byggeriet

Søren Ditlev Bødker Blond Andersen
& Matthias Ragnar Ragnarsson

Vejleder: Henrik Sørensen

Hovedrapport



Titelblad/synopsis

Projekt:

Kandidatspeciale

Emne:

Industrialisering af byggeriet

Afleveringsdato:

01. juni 2016

Forfattere:

Søren Ditlev Bødker Blond Andersen, 20141350

31/6 Søren Ditlev Bødker Blond Andersen

Dato Søren Ditlev Bødker Blond Andersen

Matthias Ragnar Ragnarsson, 20142994

31/6 M. Ragnar Ragnarsson

Dato Matthias Ragnar Ragnarsson

Sted:

AAU – Aalborg University

Uddannelse og semester:

Management in the building industry –
Byggeledelse

Vejleder:

Henrik Sørensen (hensor@mil.dk)

Antal sider: 84

Antal appendiks: 8

Antal bilag: 4

Synopsis:

Nærværenden rapport er et afgangsprøveprojekt udarbejdet som afslutning på kandidatuddannelsen Management in the Building Industry – Byggeledelse på Aalborg Universitet.

Afgangsprøvet tager sit afsæt i den tilbagevendende kritik af produktiviteten i byggebranchen sammenlignet med andre brancher som produktionsbranchen.

På baggrund af en rapport udarbejdet af Ingeniørforeningen i Danmark (IDA) og et pilotprojekt på Aalborg Kaserne udarbejdes en problemformulering som fokuserer på industrialisering af byggebranchen gennem modulbaseret byggeri og hvor vidt dette kan være med til at øge produktiviteten samt forbedre kvaliteten og effektiviteten.

I en analyse sammenlignes anvendelsen af anerkendte produktionsfilosofier i forskellige situationer, herigennem hvordan det modulbaserede byggeri vha. af disse produktionsfilosofier kan øge produktiviteten, effektiviteten og kvaliteten i byggeriet, samt hvordan dette kan gavne projekt Grønne Etablissementer.

Afslutningsvis opstilles og præsenteres et bud på det optimale modulbaserede byggeris baggrund af rapportens resultater, og der opstilles en konklusion for, hvor vidt modulbaseret byggeri bidrager positivt til byggebranchen.

Generel information:

All rights reserved - ingen del af denne publikation må gengives uden forudgående tilladelse fra forfatterne.

Forord

Dette kandidatspeciale er udarbejdet ved institut for Mekanik og Produktion på Aalborg Universitet under studienævnet for Byggeri og Anlæg. Specialet er kulminationen af 4. semestre på kandidatuddannelsen "Management in the Building Industry", og er udarbejdet i perioden 01/02/16 – 01/06/16.

Rapportens målgruppe er bygge- og anlægsbranchens parter, herunder videninstitutioner og – foreninger, Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse som bistod med specialets Case projekt samt undervisere og vejledere på Aalborg Universitet.

Rapportens formål er at skabe klarhed i byggebranchen om det modulbaserede byggeri, dets anvendelsesmuligheder, og hvordan dette kan være med til at forbedre produktiviteten, kvaliteten og effektiviteten i byggebranchen.

Projektgruppen vil gerne rette en særlig tak til vejleder og civilingeniør ved Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse Henrik Sørensen for at være klar til at svare på spørgsmål og altid være velforberedt og oplagt til vores vejledninger. Der rettes også en særlig en tak til Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse for at stille projektmateriale og ansatte til rådighed for vores speciale. Derudover skal de medvirkende modulproducenter Scandi Byg A/S og BM Byggeindustri A/S også have tak for deres deltagelse i interviews samt imødekommenhed over for projektgruppen.

Aalborg, Juni 2016

Matthias Ragnar Ragnarsson & Søren Ditlev Bødker Blond Andersen



Abstract

This master thesis with the title: *“Is it possible to achieve higher productivity through modularization?”* is the final report on the program Management in the Building Industry, performed at the Department of Mechanical and Manufacturing Engineering at Aalborg University.

The starting point of the report is the continuous critique of the productivity in the Danish building sector compared to other sectors, especially the production industry. Though, it is not only the productivity that has been criticized, as the quality and the efficiency has faced criticism as well.

Through the problem analysis, a report written by The Danish Society of Engineers (IDA) play a central role because of its conclusion. The report concludes that the productivity can be better with the use of modularization. While completing this report, the Danish Apartment of Defence (FES) is developing a pilot project at the military barracks of Aalborg called “Grønne Etablissementer”. The idea is that this project should function as a “showroom” for new products, and methods in the building industry. Through this project, modularization is one of the initiatives, which will be developed and designed. The IDA report and knowledge of the project at the military barracks of Aalborg led to the formulation of the report’s main problem:

Does modularization contribute to the industrialization of the building industry in terms of increased efficiency and improved productivity, and if so – how?

The main part can be described as two separate halves. In the first part, modularization and “Grønne Etablissementer” is being described on information from literature and interviews. In the second part the conclusion of the report will be completed. The interviews concerning modularization are made with project managers at the Danish modular production companies Scandi Byg A/S and BM Byggeindustri A/S. The primary knowledge gained from the interviews, and the secondary knowledge gained in the literature, are combined to form a picture of what the building industry is able to produce with modularization, and how the firms are controlling their building projects. Afterwards the project “Grønne Etablissementer” is being described from interviews with two project managers from FES and a representative from the advising consortium, with focus on the modularization aspects of the project.

The second half of the report’s main part, the analysis concerns how the modularization can be used, and respected production philosophies as Lean, Supply Chain Management, Just in Time and Total Quality Management to enhance the productivity, quality and efficiency. Furthermore, the framework of the project “Grønne Etablissementer” will be analysed. This is done to understand whether these were right for the building industry in order to show the capabilities of modularization.

The analysis results in a solution, which contributes to answering the main problem of this report. This solution retains a description of “The optimal modularization project”. This means that if a building project is made in accordance with the suggested solution, it can properly increase the productivity, quality, and efficiency. “The optimal modularization project” is a project that is carried out as a Turnkey contracted project where the modular production company is able to form a project that fits their production, and the regulations concerning construction in wooden structures. Furthermore, the project has to be designed in a way where it is possible to “break down” the building down into modules which can be transported on the roads. Finally, the report points out building projects that benefit if constructed in a modularized manner like schools, apartments, family homes, and offices.

Læsevejledning og rapportstruktur

Rapportstrukturen er illustreret på *Figur 0.1* sammen med korte beskrivelser af rapportens afsnit. Derudover fremgår det hvilke bilag og appendiks der anvendes til hvert afsnit.

I rapporten anvendes begreberne "traditionelt byggeri" og "modulbaseret byggeri" disse beskrives herunder:

De traditionelle byggerier er byggerier som vi altid har kendt dem. Arbejdet udføres på byggepladsen og udarbejdes af håndværkere fra separate fag; murer, tømrer, VVS. Derudover er leverancer af større bygningselementer som betonelementer, vinduer og køkkener, som ligeledes monteres på byggepladsen.

I rapporten afviger modulbaseret byggeri fra traditionelt byggeri på den måde at det modulbaseret byggeri består af bokselementer, som udgør et eller flere færdige rum. Disse bygningselementer eller moduler som de kaldes, transporteres til byggepladsen, hvor de samles med andre i en specifik rækkefølge for at skabe det færdige produkt, lidt som et puslespil (Austin 2014).

Alle rapportens afsnit er nummeret X.Y.Z, hvor X henviser til hvilket hovedafsnittet, Y henviser til underafsnittet, og Z til delafsnit. Indholdsfortegnelsen indeholder blot de to øverste niveauer af overskifter for at overskueliggøre indholdsfortegnelsen. Tredje og fjerde niveau er medtaget i projektrapporten, for at gøre referencer på tværs af projektrapporten mere overskuelig. Figurer og tabeller nummereres X.Y, hvor X henviser til hvilket hovedafsnit figuren hører til, mens Y er fortløbende nummer i pågældende afsnit. Der vil blive henvist til figurerne og tabellerne vha. numrene.

Til kildeanvisning benyttes Chicago metoden, som markeres med (Andersen xxxx), hvor Andersen er forfatterens efternavn og xxxx er udgivelsesårstal. Litteraturlisten findes bagerst i rapporten.

Der er sammen med rapporten være afleveret en bilags-CD, som indeholder rapporten, bilag, appendiks samt lydfiler fra interviews.

		Bilag	Appendiks
Indledning	Baggrunden for rapporten beskrives samt vigtigheden af forbedringer i produktivitet sammenlignet med andre brancher som f.eks. produktionsbranchen. Udgangspunktet er bl.a. en rapport fra IDA, som beskriver at det vil være muligt at optimere produktiviteten ved anvendelse af modulbaseret byggeri.	Bilag 1	
Problemformulering	Med udgangspunkt i IDA's rapport udarbejdes problemformuleringen som skal for vurderingen af hvor vidt det modulbaserede byggeri kan bidrage til en øget produktivitet.		
Metodiske overvejelser	De metodiske værktøjer som anvendes gennem rapport, samt hvilke overvejelser der er gjort for at øge validiteten og pålideligheden.	Bilag 1	Appendiks 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 og 8
Entrepriseformer og partnering	Fordele og ulemper ved entrepriseformerne samt samarbejdsformen partnering beskrives.		
Industrialisering af byggeriet	Afsnittet beskriver, på baggrund af sekundær viden fra litteraturstudiet udvikling af det industrielle byggeriet og det modulbaserede byggeri.		
Undersøgelse af modulproducenter	Afsnittet beskriver på baggrund af primær viden fra interviews med modulproducenter hvordan deres projektleveringsmodel ser ud og hvordan det optimale modulbaserede byggeri skal være struktureret og designet således den optimale produktivitet kan opnås.		Appendiks 4
Case-projekt	Case projektet "Grønne Etablissementer" beskrives på baggrund af sekundær viden fra udleveret materiale og primær viden fra interviews.	Bilag 1, 2, 3 og 4	Appendiks 5, 6 og 7
Analyse	Der opstilles en analytisk model, som beskriver hvordan Industrialisering i byggeriet, modulbaseret byggeri – herunder modulproducenter og Projekt GE kan drage nytte af Lean, Just In Time, Total Quality Management og Supply Chain Management til forbedre produktivitet, effektivitet og kvalitet		Appendiks 5, 6 og 7
Opsamling – Analysematrix	Der samles op på analysen inden de enkelte produktionsfilosofiers bidrag til byggeriet stilles op niveau for niveau.		
Diskussion	Rapportens validitet og pålidelighed diskuteres inden der kan konkluderes.		
Konklusion	Problemformuleringens problemstilling besvares og rapportens resultater hertil præsenteres.		
Perspektivering	I perspektivering ses rapporten i en større sammenhæng og der fremlægges forslag til yderligere arbejde.		
Litteraturliste	Her præsenteres de anvendte litterære kilder		
Appendiksliste	I appendiks fremgår materiale som er udarbejdet af projektgruppen men ikke direkte er medtaget i rapporten men fungere som et støtte organ.		
Bilagsliste	Bilagene er materiale udarbejdet af andre end projektgruppen som anvendes i rapporten.		

Figur 0.1 - Rapportstruktur

Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING	3
1.1	LAV PRODUKTIVITET	3
1.2	SVINGENDE KVALITET	4
1.3	HØJE OMKOSTNINGER	6
1.4	FORBEDRING AF PRODUKTIVITET, KVALITET OG EFFEKTIVITET	7
1.5	CASE BESKRIVELSE	10
2	PROBLEMFORMULERING	11
2.1	AFGRÆNSNINGER	12
3	METODISKE OVERVEJELSER	13
3.1	VALIDITET OG PÅLIDELIGHED	13
3.2	LITTERATURSTUDIE	14
3.3	DATAINDSAMLING	15
4	ENTREPRISEFORMER OG PARTNERING	19
4.1	UDBUDSFORMER	19
4.2	TRADITIONELLE ENTREPRISEFORMER	21
5	INDUSTRIALISERING AF BYGGERIET	25
5.1	UDVIKLING	25
5.2	MODULBASERET BYGGERI	28
5.3	OPSAMLING	35
6	UNDERSØGELSE AF MODULPRODUCENTERNE	37
6.1	MODULPRODUCENTERNES ARBEJDSMETODER OG PROJEKTSTRUKTUR	37
6.2	MODULPRODUCENTERNES TILGANG TIL BYGGERIET IFT LITTERATUREN	40
7	FORSVARSMINISTERIETS EJENDOMSTYRELSES PROJEKT GRØNNE ETABLISSEMENTER	42
7.1	PROJEKTETS FASER	42
7.2	GRØNNE ETABLISSEMENTERS UDFORMNING OG OMFANG PÅ BAGGRUND AF BYGGEPROGRAMMET.	45
7.3	FES' OG RÅDGIVERKONSORTIETS TILBAGEBLIK PÅ PROJEKT GRØNNE ETABLISSEMENTER	47
8	ANALYSE	49
8.1	INDUSTRIALISERING AF BYGGERIET	49
8.2	MODULBASERET BYGGERI	53
8.3	MODULPRODUCENTER	56
8.4	GRØNNE ETABLISSEMENTER	59

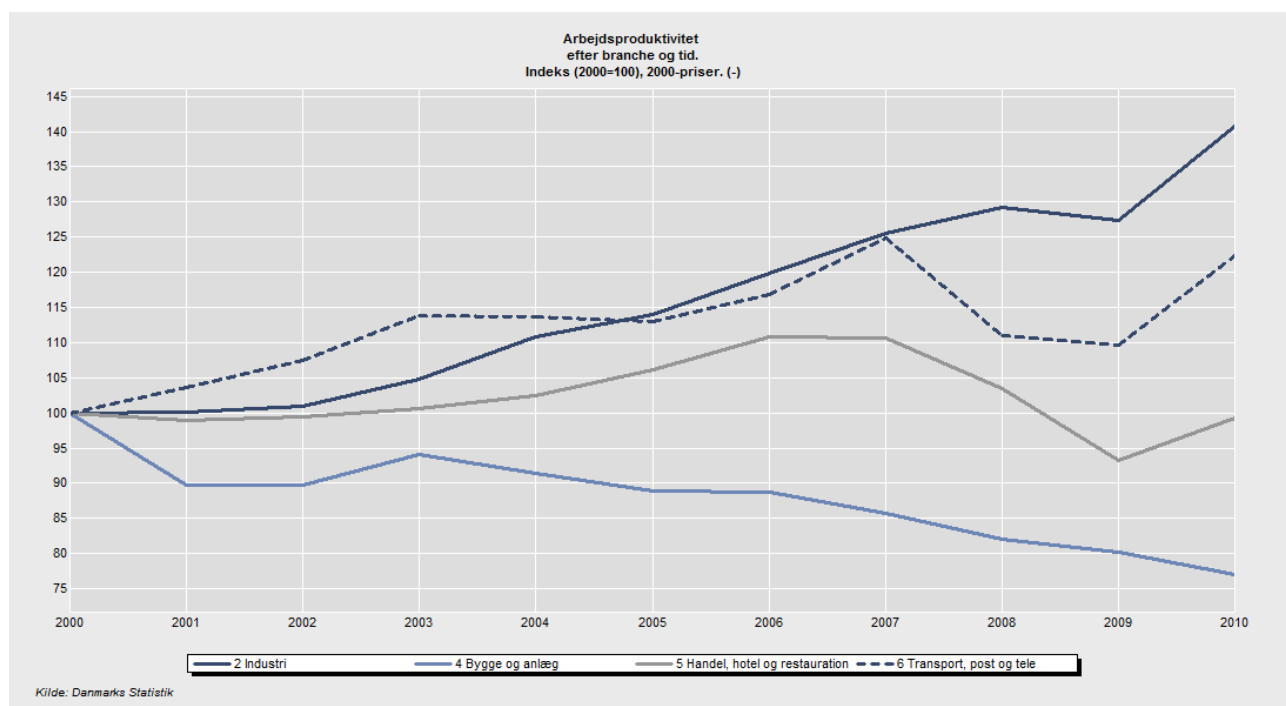
8.5	ANALYSESKEMA	62
8.6	KOMPARATIV ANALYSE	64
9	DET OPTIMALE MODULBASSEDE BYGGERI	68
9.1	ENTREPRISEFORM	68
9.2	OPTIMALT OMFANG AF BYGGERIET	69
9.3	OPTIMAL UDFORMNING AF BYGGERIET	70
9.4	BYGGEPROJEKTER HVOR MODULBASSET BYGGERI VIL VÆRE EN GEVINST	70
9.5	PROJEKT GRØNNE ETABLISSEMENTER VS. OPTIMALE FORHOLD FOR MODULBASSET BYGGERI.	71
10	DISKUSSION	73
11	KONKLUSION	75
12	PERSPEKTIVERING	78
13	LITTERATURLISTE	80
14	FIGURLISTE	83
15	APPENDIKSLISTE	83
16	BILAGSLISTE	84

1 Indledning

Byggebranchen har over en længere periode været kritiseret for lav produktivitet, svingende kvalitet og høje omkostninger. Kritikken kommer bl.a. fra repræsentanter for byggeriets organisationer herunder Erhvervsfremmestyrelsen, Akademiet for de Tekniske Videnskaber samt Erhvervs- og byggestyrelse. Hvor andet ikke fremgår er dette afsnit inkl. underafsnit på baggrund af (Bejder 2012).

1.1 Lav produktivitet

Nedenstående *Figur 1.1* illustrerer og sammenligner industriens arbejdskraftproduktivitet med bygge- og anlægsbranchens. Figuren viser, hvordan byggeriets arbejdskraftproduktivitet gennem de seneste årtier ikke har gennemgået den samme udvikling, som de brancher den sammenlignes med. Årsagerne hertil forklares bl.a. med, at byggeprocesserne ikke er blevet automatiseret i lige så høj grad som processerne i produktionsindustrien grundet byggeriets særlige produktionsvilkår, hvor vejr og arbejdsmiljø kan skabe udfordringer. Byggebranchen har ydermere ikke formået at være innovative i samme grad som industrien, og halter bagud med at implementere nye teknologier og produktionsfilosofier i et tilstrækkeligt omfang. Produktivitet betegnes som forholdet mellem input og output. Altså hvor stort et output entreprenøren får for hans input i form af arbejdskraft, lønninger og materialer.

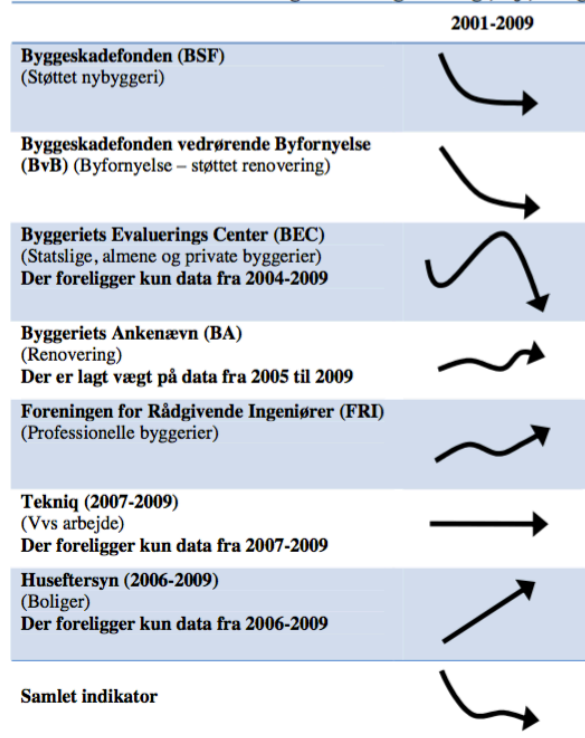


Figur 1.1 – Arbejdsproduktivitet 2000-2010 (Danmarks Statistik 2010)

1.2 Svingende kvalitet

Den svingende kvalitet som nævnes tidligere i afsnittet, beskrives i en rapport fra Erhvervs- og byggestyrelsen, 2011 (Erhvervs- og Byggestyrelsen 2011). *Figur 1.2* viser udviklingen af svigt, fejl og mangler i perioden 2001 – 2009.

Tabel 1. indikatorer for ændringen i omfanget af svigt, fejl, mangler og skader



Figur 1.2 – Ændring i svigt, fejl og mangler (IDA 2014)

Rapportens overordnede konklusion er, at det samlede omfang af svigt er faldet i den analyserede periode 2001-2009. Ser man dog på de indikatorer som relaterer sig til nybyggeri og boligbyggeri, som er mest aktuelt ift. denne rapport, er billedet ikke nær så positivt. Grafen og tallene bag Byggeskadefonden (*Figur 1.3*) viser, at niveauet for fejl og mangler, efter et brat fald fra 2001 til 2002, har ligget stabilt siden. Samtidig er det værd at nævne at omkring 22% af registrerede bygningsdele er fejlbehæftede, hvilket er en betydelig del til trods for at fejlraten har været stabil.

Byggeriernes afleveringsår	Registrerede bygningsdele i alt	Andel af bygningsdele med svigt	Indeks, 2005=1
2001	12.000	25,5	1,18
2002	13.000	22,8	1,06
2003	16.000	21,1	0,98
2004	15.500	20,9	0,97
2005	11.500	21,6	1,00
2006	9.500	21,7	1,00
2007	7.500	22,6	1,05
2008	6.000	21,7	1,05
2009	4.000	21,6	1,00

Anm.: Tallene er baseret på 1-årseftersyn.
Kilde: BSF, egne beregninger.

Figur 1.3 – Byggeskadefondens tal for bygningsdele med svigt

Ser man på tal fra Foreningen for Rådgivende Ingeniører (FRI), viser det sig at der er en stigning i antallet af skader per mia. kr. inden for "professionelle byggeaktiviteter" (Figur 1.4). Selvom der ikke kan siges noget om, hvor væsentlige eller omkostningstunge skaderne er, vil stigningen i antal skader ikke kunne betragtes som positivt for den samlede kvalitet i byggebranchen.

År	Antal skader	Byggeaktivitet i mia. kr. ¹	Skader pr. mia. kr.	Indeks, 2005=1
2001	70	178,4	0,39	0,81
2002	70	169,7	0,41	0,85
2003	73	172,2	0,43	0,87
2004	94	176,2	0,54	1,10
2005	89	183,1	0,49	1,00
2006	96	199,4	0,48	0,99
2007	92	199,9	0,45	0,95
2008	103	191,0	0,53	1,11
2009	112	162,9	0,68	1,41

Note 1: Samlet omsætning inden for 'professionel byggeaktivitet'. Omsætningen er i kædede 2011-priser.

Kilde: FRI, Dansk Byggeris løbende konjunkturanalyser, Danmarks Statistik, egne beregninger.

Figur 1.4 – Skader ved "professionel byggeaktivitet" (FRI)

Tal fra tilstandsrapporter for huse viser ligeledes en klar stigning antallet af fejl og mangler i form af synlige skader (Figur 1.5). Tallene dækker over huse opført i samme år som rapporten, og dermed nybyggeri. Særligt 2009 viser en voldsom stigning i antallet af K0 og K1 skader, hvilket man fra Erhvervs- og boligstyrelsen ikke forstår baggrunden for. Til trods for at der er tale om de mildeste skadestyper, er det problematisk, at der er så højt et niveau af skader. Antallet af K3 skader er ligeledes steget 50% fra 0,6 til 0,9 skader pr. hus mellem 2008 og 2009.

År	Antal huse	Type af skade - gennemsnit pr. hus					Gennemsnitligt antal skader pr. hus	Indeks, 2006=1
		K0	K1	K2	K3	UN		
2006	442	0,57	2,89	0,79	0,58	0,10	4,93	1,00
2007	449	0,78	3,23	0,83	0,55	0,09	5,48	1,11
2008	268	0,62	3,32	0,83	0,60	0,06	5,43	1,10
2009	171	2,40	5,22	0,85	0,90	0,05	9,42	1,91

Anm. 1: KO-K3 samt UN beskriver forskellige typer af skader, hvor K0 er den mildeste, og K3 er den groveste. UN betyder, at skaden ikke er klassificeret.

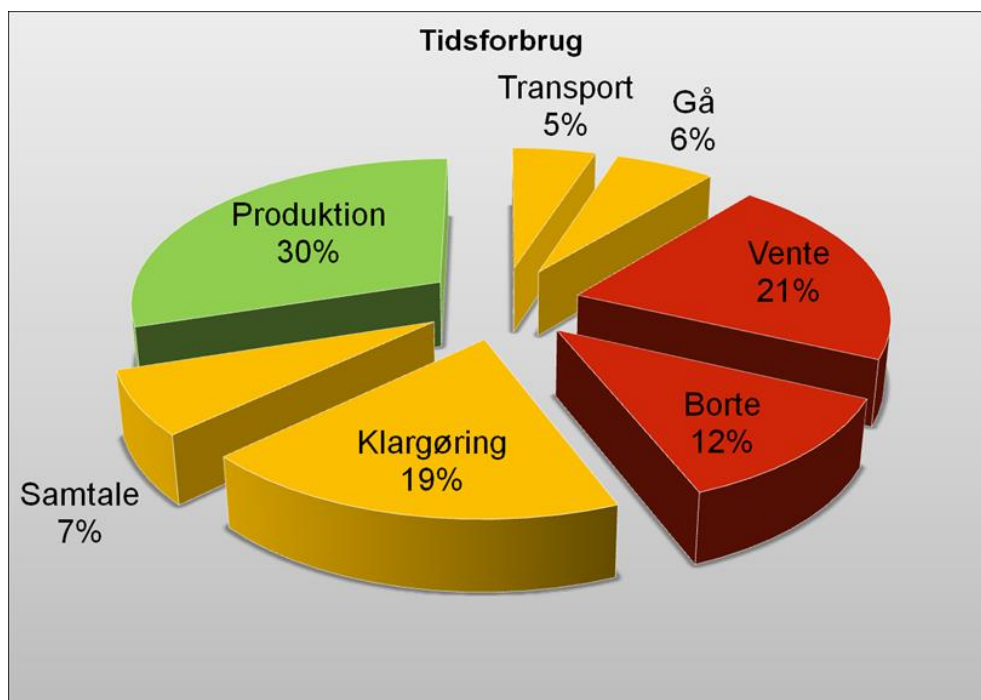
Anm. 2: Ved udregning af det samlede indeks er alle typer af skader tillagt samme vægt, da der ikke nødvendigvis er nogen sammenhæng mellem typen af skade og omkostningen til udbedring af skaden.

Kilde: FEM-sekretariatet, egne beregninger.

Figur 1.5 – Synlige skader ved boliger opført samme år

1.3 Høje omkostninger

En årsag til at byggebranchen er forbundet med høje omkostninger kan udspringe af den måde, som det traditionelle byggeri er struktureret på. Der bliver som regel samlet et nyt udførende team af entreprenør og underentreprenører som f.eks. tømrer, murer, elektriker og maler. Eftersom hver entreprise, som indgår i et projekt, skal generere et overskud på projektet, kan dette medføre en suboptimering, som udspringer af at hvert firma optimerer sit eget arbejde med egen profit for øje. Suboptimeringen kan på den baggrund gå ud over samarbejdet på projektet faggrupperne imellem. En anden årsag til de høje omkostninger er den manglende effektivisering af byggeprocessen. Effektivitet kan beskrives som den del af en håndværkers arbejdsdag, hvor håndværkeren udfører arbejde som skaber værdi for bygherren. På Figur 1.6 ses et diagram for en betonarbejders tidsforbrug i løbet af en typisk arbejdsdag.



Figur 1.6 – En betonarbejders tidsforbrug (Bejder 2012)

Som det fremgår af *Figur 1.6* er der mulighed for at øge effektiviteten og herved mængden af det værdiskabende arbejde. Der er en del årsager til at effektiviteten ikke er større i det traditionelle byggeri, herunder store afstande mellem arbejdsstation og materialelager, ventetid på og transport af hjælpemidler såsom kran og løfteudstyr samt vejrmæssige forhold. Definitionen på effektivitet er at gøre de rigtige ting (indre effektivitet) på den rigtige måde (ydre effektivitet) (Eriksen og Skadhede 2013). Hvis dette opnås, kan de høje omkostninger ved byggeri mindskes, fordi entreprenøren samtidig får en bedre produktivitet, da de midler entreprenøren putter i projektet udnyttes bedre.

1.4 Forbedring af produktivitet, kvalitet og effektivitet

Ifølge et byggepanel nedsat blandt medlemmer i IDA, kan produktiviteten i byggeriet forbedres med op mod 15-20%. Som følge af, at byggeri udgør 6% af Danmarks samlede Markedsøkonomi vil det svare til, at der kan opnå en gevinst ved optimering på mellem 11 og 15 mia. Herunder vurderer dette byggepanel, at de største optimeringer vil kunne ske ved effektivisering af nybyggeri, erhvervsbyggeri, samt offentlige institutioner. Der blev ligeledes nedsat tre hovedpunkter for, hvor der kan optimeres: (IDA 2014)

- Forøget indførelse af Lean i byggeriet
- Bedre samarbejde på byggepladsen faggrupper imellem
- Højere grad af industrialisering i byggeriet i form af modulbaseret byggeri, som er færdigproduceret før levering på byggepladsen.

Sidstnævnte vil i så fald kunne bidrage til bedre planlægning og derved mere effektivitet og herved en hurtigere udførelsesfase. Samtidig vil et øget fokus på modulbaseret byggeri i færdige løsninger kunne bidrage til forbedrede eksportmuligheder inden for den danske byggebranche (IDA 2014). Ved højere grad af industrialisering i form af f.eks. modulbaseret byggeri, vil der naturligt opnås bedre vilkår for en forøget indførelse af Lean i byggeriet, eftersom der flyttes arbejde fra byggepladsen og ind i produktionshaller, hvor Lean er opstået og derved har optimale vilkår. Forbedret samarbejde på byggepladsen er ligeledes vigtigt, men vil i denne rapport ikke berøres idet der fokuseres mere på modulbaseret byggeri og industrialisering, og dermed det arbejde som *ikke* foregår på byggepladsen.

Lean som værktøj til optimering af produktivitet, kvalitet og effektivitet

Man har siden start 90'erne langsomt forsøgt at indarbejde Trimmet Byggeri, som har sin oprindelse i Lean Production. Ser man på Lean, vil man ikke kunne komme uden om at skulle kigge på nogle af de forsøg, der er gjort for at industrialisere byggeprocessen gennem årene. Begyndende med elementbyggeri af præfabrikerede betonelementer, og siden tiltag i retning af hele moduler som især lette konstruktioner, har man i nogle byggerier fjernet produktionen fra byggepladsen og flyttet den ind i industrielle rammer. Og det er netop her, der findes en tydelig sammenhæng mellem Lean og industrielt byggeri, idet Lean er udviklet til at fintune en række af processer, som gentages med samme flow af materialer i en veldefineret strøm fra A til B – Fra

råmateriale til færdigt produkt. Selvom Lean er en af de helt store strømme i optimeringen af både byggeri og produktion, er der også andre relevante produktionsfilosofier som er værd at nævne. Nogle udspringer fra Lean, mens andre læner sig op ad Lean eller understøtter Lean. Af disse metoder beskrives her Supply Chain Management, Just In Time og Total Quality Management samt hvad disse metoder og begreber kan bidrage med til industrialiseret byggeri, og hvordan det kan være med til at forbedre produktiviteten og kvaliteten i byggeriet.

Supply Chain Management (SCM) kan anvendes til at forbedre leveringsvilkår og informationsniveauet, enten fra projekt til projekt eller ved længerevarende samarbejder med leverandør eller underentreprenør. Ved at samarbejde med leverandøren og koordinere materialeleverancer, kan der opnås en betydelig fordel ved at sikre, at materialerne er samlet i units (pakker) af materialer som alle skal bruges samme tid og sted i byggeriet. (Lean Construction 2012)

Just In Time (JIT) er en anden måde at optimere projektet på og kan kombineres med SCM ift. leverancer. Ved at lade leverancerne ankomme så tæt på anvendelse som muligt, vil det være muligt at aflevere materialer direkte på det sted hvor de skal anvendes frem for at skulle flytte materialerne yderligere fra depot til anvendelsesområdet. JIT kræver også et vidt samarbejde med leverandørerne, idet de skal forklares præcist, hvor og hvornår de enkelte materialer skal leveres, eller som minimum kommunikeres tydeligt ud som krav til ordreløserne. Et velfungerende JIT system vil også medvirke til at virksomheden ikke binder for meget kapital i materialer.

JIT kan også tilkobles Total Quality Management (TQM), som sikrer en høj kvalitet igennem hele byggefasen. Des færre fejl der opstår i byggeriet, jo færre udfordringer vil der være ved at koordinere leverancer som følge af den tid der skal benyttes på at udbedre en fejl eller mangel. TQM handler, som navnet måske antyder, ikke kun om kvalitetssikring, men om at sikre at kvaliteten er bevaret gennem hele projektet, og i samtlige dele af virksomhedens organisation. Der skal være check på, at alle tegninger og instruktioner er kvalitetssikrede og fejlfri inden de forlader kontoret, og medarbejderne som står for produktionen skal være klar over, hvilke dele af produktet som særligt skal kvalitetstestes før det sendes videre i produktionen eller ud af huset.

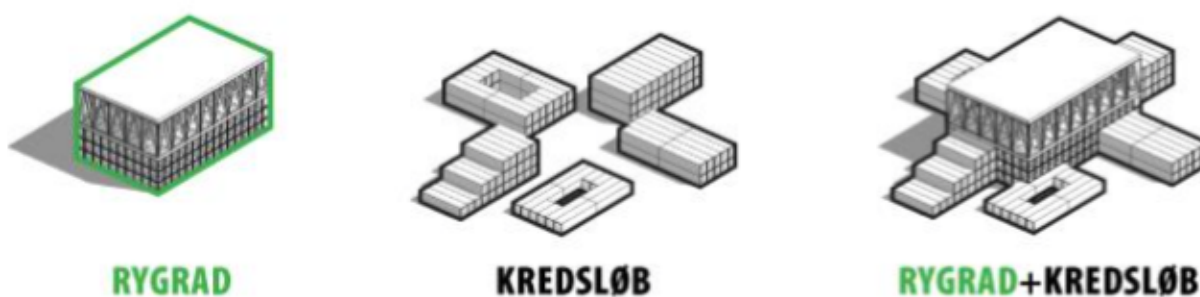
Forbedring af produktivitet, kvalitet og effektivitet gennem modulbaseret byggeri

Modulbaseret byggeri kan medvirke til optimering af produktiviteten og sikre færre fejl i byggeriet samt øge effektiviteten. Den basale tanke i det modulbaserede byggeri er, at størstedelen af alle komponenter samles inden levering på byggepladsen. Dette indebærer væg- og loftmoduler, som på forhånd er udstyret med vvs og ventilationskanaler og samlet til færdige kasseformede moduler, som samles direkte på pladsen. De præfabrikerede elementer som indgår i hvert modul samles i fabrikskøber, hvor arbejdet ikke er berørt af vejrforhold samtidig med, at de nødvendige hjælpemidler og materialer er let tilgængelige. I forbindelse med denne løsning kan der kigges nærmere på en standardisering af samlingerne af de forskellige produkter og materialer

imellem, såsom vvs-, ventilations og elinstallationer samt køkkener og badeværelser. Her kan der skæves til bilindustriens ISO 10487 for bilradioer, hvor det - uanset hvilken bilradio der skal installeres - vil være den samme type kabel der skal forbindes til bilen. Lignende standardisering kan med fordel overføres til byggeriet (Hermes 2015). Herudover vil det modulbaserede byggeris produktionsforhold øge muligheden for indarbejdelse af Lean og de tidligere nævnte produktionsfilosofier som SCM, JIT, TQM og CE, hvilke kan medfører en øget produktivitet, kvalitet og effektivitet (IDA 2014).

1.5 Case beskrivelse

Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse (FES) er i skrivende stund i gang med et pilotprojekt som har til formål at erstatte eksisterende bygninger med byggeri i lavenergiklassen. FES anerkender, at de bruger store mængder af energi til drift af deres ejendomme, som hovedsageligt er bygget i '60erne. Forsvarsministeriet anser det som en pligt at bidrage til at værne om miljøet gennem energioptimering (Forsvarsministeriet 2012), hvilket FES sørger for idet de "varetager Forsvarets bygge-, anlægs- og vedligeholdelsesprojekter" (Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse 2015). Projekt Grønne Etablissementer (GE) på Aalborg Kaserne er udbudt som rådgiverudbud, og skal indeholde forslag til et grønnere og mere energirigtigt byggeri, samtidig med at det skal fungere som inspiration for fremtidige byggerier. Gennem dette udbud er FES med NIRAS som bygherrerådgiver nået frem til et projektforslag, som udover energirenoveringen også tager hensyn til, at Forsvaret ofte flytter rundt på deres enheder. Forslaget lyder på en kombination mellem en fast "rygrad" med permanente funktioner, samt et "kredsløb" bygget i moduler, som monteres på rygraden. Disse moduler skal kunne flyttes geografisk alt efter, hvor Forsvaret har brug for de enkelte enheder. Det er blandt andet denne modulbaserede løsning til FES som gør det interessant at undersøge, hvilke produktivitmæssige fordele der kan opnås ved anvendelse af modulbaseret byggeri. Samtidig er der opstillet krav til, at projektet skal være et "udstillingsvindue" for byggebranchen og derved i stand til at give et billede af, hvad der kan produceres på industrielt niveau med modulbaseret byggeri. Dette giver anledning til at se på, om konsortiet bag projektforslaget (Cowi, arkitektfirmaerne ADEPT ApS og NORD A/S samt GBH landskabsarkitekter A/S) har holdt sig opdateret omkring, hvor vidt den løsning som er beskrevet i byggeprogrammet er "state of the art" eller om modulproducenterne som arbejder med modulbaseret byggeri er i stand til mere. Derudover vil det være interessant at se på om projektets udbudsform var den optimale og på den måde tegner mest præcise billede af industrien for modulbaseret byggeri.



Figur 1.7 - Illustration af "Rygrad" og "Kredsløb" (Bilag 1)

2 Problemformulering

Eftersom byggeriet udgør 6% af markedsökonomien i Danmark (Erhvervs- og Byggestyrelsen 2011), og da der går mange offentlige midler til byggeri af offentlige bygninger og almene boliger, vil byggeriets generelle produktivitetsniveau naturligt have indvirkning på samfundet. Ser man på byggeriets udvikling i arbejdsproduktivitet mellem 2000-2010, vil man se at udviklingen er negativ i næsten hele perioden, mens særligt industrien lader til kun at udvikle sig i en positiv retning (*Figur 1.1*).

Med afsæt i den flytbare modulløsning, som skal udføres på Aalborg Kaserne, og dennes funktion som et udstillingsvindue til industrien, samt IDA's rapport vil gruppen undersøge, hvordan dette kan skabe gavn i fremtidige projekter. Dette giver anledning til at undersøge, hvad modulbranchen er i stand til på nuværende tidspunkt, hvilke typer moduler der benyttes, hvor stor fleksibiliteten er inden for modulbaseret byggeri, og i hvilke sammenhænge modulbaseret byggeri kan benyttes. For at finde svar på dette, inddrages modulproducenter inden for produktion og levering af moduler for at få et indblik i, hvordan de deres projektleveringsmodel ser ud og foretrækker at indgå i projekter, som anvender modulbaserede løsninger. Samtidig skeles der til litteraturen for at undersøge, hvilke studier der allerede er foretaget i forhold til, hvordan modulbyggeriet gavner byggebranchen, eller hvilke muligheder der evt. måtte findes i at udvide brugen heraf.

For at se på om det har nogen potentiel effekt at skifte fra det traditionelle byggeri til modulbaseret byggeri, vil det ligeledes være relevant at se på, om der beviseligt findes muligheder for effektivisering i byggebranchen, om den kvalitet man opnår med modulbaseret byggeri adskiller sig væsentligt fra de traditionelle metoder, samt om produktiviteten kan forbedres gennem modulbaseret byggeri. Hvis der ved modulbaseret byggeri ikke opnås den samme kvalitet som ved traditionelt byggeri, er der antageligvis ikke noget fornuftigt incitament fra bygherrens side til at acceptere en sådan løsning, med mindre prislejet er anseeligt lavere. Ligeledes bør produktiviteten også være forbedret gennem en mere effektiv udførelsesmetode for at det bør kunne betale sig at flytte byggeriet fra byggeplads til fabriksdal.

Med viden om industrien inden for modulbaseret byggeri og dennes mulighederne, vil det ligeledes være relevant at undersøge, om konsortiet bag det vindende projektforslag for projekt Grønne Etablissementer (GE) på Aalborg kaserne har holdt sig informeret omkring "best practice" i byggebranchen. Dermed vil vi undersøge om deres projektforslag bygger på erfaringer med lignende projekter, samt hvor meget nyt der tilføjes til branchen ved udførelsen af dette projekt, hvor leverandørerne har fået muligheden for at fremvise nye løsninger. Vi vil undersøge projektet nærmere i forhold til den oprindelige vision samt muligheder og begrænsninger, og holde dette op mod erfaringer fra modulproducenterne af denne type modulbaserede byggerier og øvrig litteratur, som beskriver processer og erfaringer med modulbaseret byggeri. På denne måde vil det være muligt at vurdere, hvor vidt man i projekteringen har taget højde for præmisser for

modulbaseret byggeri, om der er mulighed for forbedring af projektet, og hvor vidt det ville have gavnet projektet at have en leverandør med i konsortiet.

Hermed kommer problemformuleringen for kandidatprojektet til at lyde:

Kan det modulbaseret byggeri bidrage til industrialiseringen af byggeriet med øget produktivitet kvalitet og effektivitet, og i så fald hvordan?

- Hvad er modulbaseret byggeri og hvad er byggebranchen på nuværende tidspunkt i stand til at levere?
- Hvordan kan modulbaseret byggeri være med til at øge produktiviteten, kvaliteten og effektivitet i byggeriet?
- I hvilket omfang er GE med til at give et billede af udviklingen indenfor modulbaseret byggeri?

2.1 Afgrænsninger

Optimering af kvalitet, produktivitet og effektivitet i byggeriet gennem industrialiseringen muliggøres ikke udelukkende gennem modulbaseret byggeri. Det er ligeledes muligt gennem anvendelse af f.eks. Lean tankegangen, som i den danske byggebranche omtales Trimmet Byggeri. I projektet fokuseres der primært på modulbaseret byggeri, da der også her er indbygget en mulighed for at anvende Trimmet Byggeri i produktionen sammen med JIT, TQM og SCM.

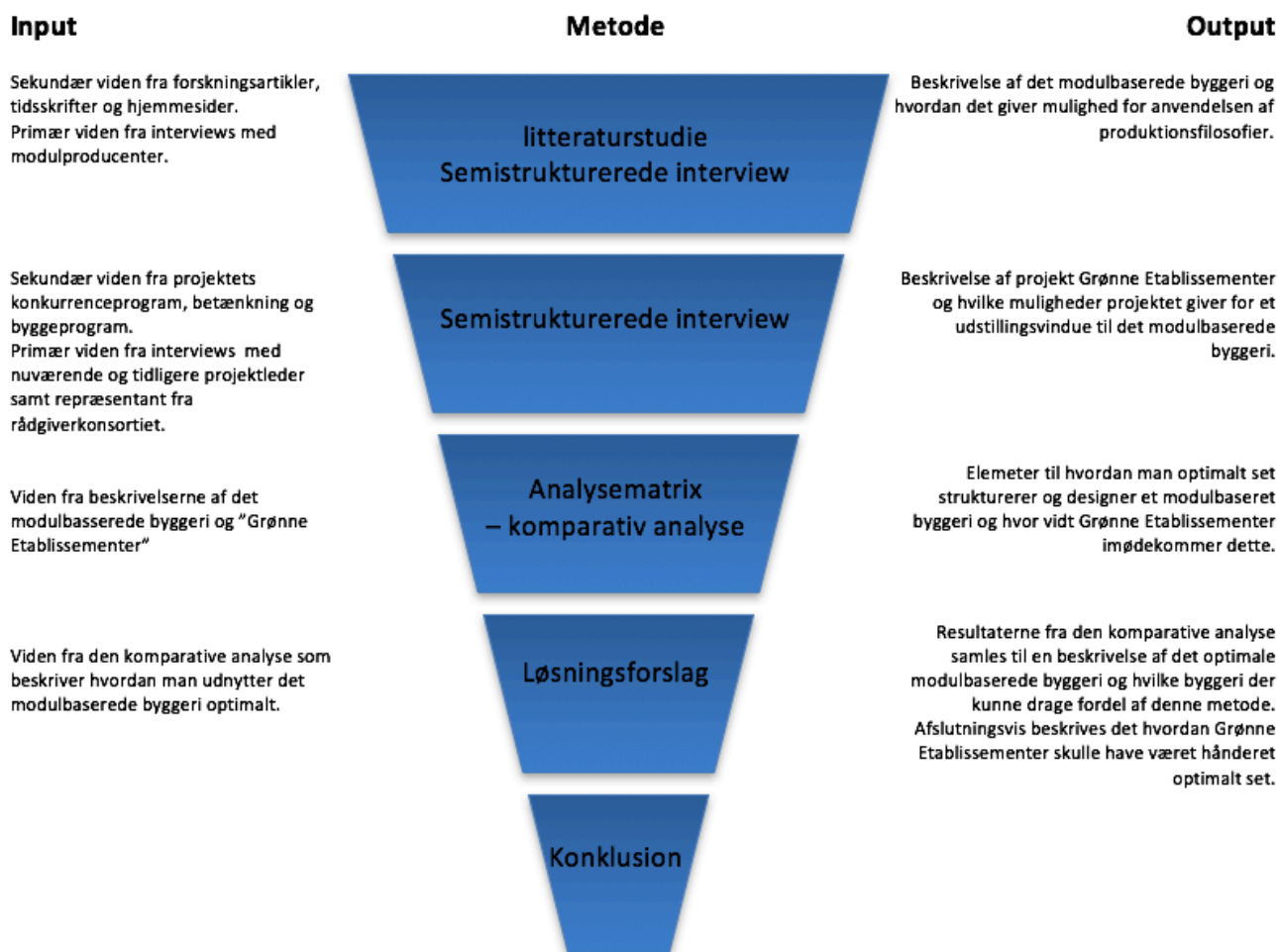
Rapportens case FES' projekt GE indeholder et "udstillingsvindue" for byggeindustrien, som skal udføres med delvist modulbaseret byggeri. Dette udstillingsvindue har stort fokus på energioptimering og bæredygtighed samt en innovativ tilgang til opførelsen af byggerier – særligt kasernebyggerier – som i projektet kommer til udtryk i form af modulbaseret byggeri og muligheden for at kunne flytte bygninger mellem kaserne og udstationeringer. Der vil i rapporten kun blive fokuseret på den del af casen, som omhandler modulbaseret byggeri.

IDA's rapport om produktivitet i byggeriet nævner bedre samarbejde på byggepladsen som et af de områder der kan forbedres for at øge produktiviteten i byggeriet. Denne rapport fokuserer dog hovedsageligt på modulbaseret byggeri, hvorfor koordinationen på byggepladsen ikke vil blive undersøgt eller behandlet.

Dette projekt behandler primært det modulbaserede byggeri gennem tilgængelig litteratur, og stiller det op mod udtalelser fra modulproducenter om, hvordan de varetager deres produktion, samt hvilke redskaber og produktionsfilosofier de anvender for at sikre en effektiv produktion med fokus på kvalitet og produktivitet. Der er dermed ikke inddraget undersøgelser af modulproduktionernes produktionslinje.

3 Metodiske overvejelser

Dette afsnit har til formål at give læseren en overblik over rapportens struktur samt hvordan undersøgelserne, som ligger til grund for rapporten, er udført. Rapporten er struktureret således at der gennem hele processen samles viden, som kan være med til at rette fokus ind mod netop det område, som skal være med til at besvare problemformuleringen. **Figur 3.1** herunder illustrer afgrænsningen af fokusområdet gennem rapporten, og beskriver hvilke input som tilføres rapportens metodiske værktøjer og hvilket output dette medfører.



Figur 3.1 - Rapportens overordnede metodiske struktur - Timeglasmodel

3.1 Validitet og pålidelighed

Idet der i forbindelse med rapportens udarbejdelse skal indsamlet primær viden er der to begreber som spiller en vigtig rolle, validitet og pålidelighed. Validiteten betegner hvor gyldig og hvor relevant den kvalitative undersøgelsen er, altså om der indsamles viden omhandlende de rigtige ting i forhold til problemformuleringen. Validitet vurderes både internt og eksternt. Den interne validitet referer til troværdigheden af den frembragte viden og den eksterne validitet referer til hvorvidt den frembragte viden er generaliserbar (Aarhus Universitet 2016).

Pålideligheden betegner hvorvidt den metode som er anvendt til vidensproduktion, er anvendt på

den rigtige måde og giver de ønskede svar, således at undersøgelsen kan gentages. Validiteten og pålideligheden af den kvalitative undersøgelses diskuteres i afsnit 10 Diskussion.

3.2 Litteraturstudie

I det følgende afsnit vil det blive beskrevet hvordan det strukturerede litteraturstudie er udført og hvilke overvejelser der er gjort i den forbindelse.

Litteratursøgningen kræver strukturering for at sikre, at den litteratur som findes, har et sammenhængende tema og har en relevans for rapporten. Der opstilles således nogle generelle søgetermer i forhold til problemstillingen, som både skal sikre en afgrænsning af kilder inden for rapportens emne og sørger for at kildesøgningen er ensartet. En indledende litteratursøgning gav ikke noget resultat på aub.aau.dk's søgefunktion for bøger, og tilgængelige kilder. Der er i stedet fundet databaser til hjælp, som har bidraget med relevante artikler om modulbaseret byggeri, præfabrikation af elementer, samt industrialisering. De primært anvendte databaser er www.IGLC.net og ProQuest med adgang gennem aub.aau.dk

3.2.1.1 IGLC

International Group for Lean Construction (IGLC) afholder hvert år konferencer omkring Lean Construction/Trimmet byggeri, og der udarbejdes i forbindelse med hver konference en længere række rapporter, som har til formål at udarbejde relevant teori, som kan bidrage til undervisning og forbedret udførelse af projekter inden for Lean Construction. Artiklerne tager udgangspunkt i eksisterende teori og litteratur såvel som Case studier, som undersøger effekten ved at anvende principper fra Lean Construction. For at få en artikel publiceret i forbindelse med IGLC's konferencer kræver det at forfatterne tager stilling til validitet, formål og relevansen af artikel og analyse. Det kan derfor anslås at kilder herfra er både relevante og valide.

3.2.1.2 ProQuest

ProQuest er et database, som hjælper med at give adgang til litteratur inden for en lang række fagområder række fagområder. For at finde de mest relevante artikler er der anvendt søgeord for at finde litteratur, som har relevans og tilknytning til det aktuelle emne. De anvendte søgeord er:

- Industrialisation/Industrialization
- Modularisation/Modularization
- Prefabrication
- Construction

De mest anvendte kilder fra resultatet af denne søgning består af artikler fra videnskabelige magasiner, og bygger på eller beskriver erfaringer, som forfatteren har gjort sig eller erfaret gennem interviews. Artiklerne anslås til at have en validitet i forhold til at beskrive "best practice" på området for modulbaseret byggeri.

3.2.1.3 Øvrige kilder

De artikler som er fundet gennem IGLC.net og ProQuest har også bidraget med yderligere kilder gennem litteraturlisten. Dette er primært kilder som er gået igen i flere af de anvendte kilder, som er anvendt flere gange i samme artikel, eller som er citeret eller henvist til noget som interessant. Disse kilder er ligeledes videnskabelige artikler, som derved anslås at være valide.

3.3 Dataindsamling

I det følgende afsnit vil overvejelserne for rapportens kvalitative undersøgelser blive beskrevet. Dette indebærer beskrivelse af de udvælgelseskriterier som modulproducenterne er udvalgt på baggrund af samt udvælgelseskriterierne for hvem der vil blive interviewet i forbindelse med projekt Grønne Etablissementer (GE). Herefter vil det blive beskrevet hvordan de semistrukturerede interviews er udført, hvordan der enkelte spørgeguides er udformet samt hvordan der føres til referat. Det følgende afsnit er skrevet på baggrund af (I. Andersen 2013).

3.3.1 Modulproducenter

I forbindelse med beskrivelsen af hvad byggebranchen kan levere indenfor modulbaseret byggeri, vil det været nødvendigt at udføre interviews med modulproducenter som er specialister indenfor modulbaseret byggeri. Dette gøres for ud over at kunne hvad der kan leveres også at kunne beskrive hvordan modulproducenterne selv beskriver det optimale modulbaserede byggeri til at øge produktivitet, forbedre kvalitet og effektivitet.

Udvælgelseskriterierne er fastsat således at undersøgelserne bliver så valid som muligt.

De tre udvælgelseskriterierne der navigeres efter ved udvælgelsen er følgende:

1. Erfaring
2. Performance
3. Produktionsapparat

Erfaring

Byggevirksomheden skal primært have arbejdet med modulbaseret byggeri i over 10 år. For at undersøgelsen tegner det mest valide billede af hvad byggebranchen kan levere, er det vigtigt, at de adspurgte modulproducenter over en årrække har bevist, at de kan aflevere projekter og genere overskud. Dette skyldes, at hvis en "ung" byggevirksomhed på f.eks. 2 år kommer ud og siger, at de kan levere alt på deres nye og spændende måde, er det ikke med sikkerhed rentabelt for denne modulproducent. Det kan vise sig, at den nye modulproducent har forbedret det modulbaserede byggeri, men da de f.eks. ikke har udstået deres garantier på 5 år (AB92), med mindre andet er aftalt og ikke har bevist stabilitet i byggebranchen over en periode på 10 år ved at genere overskyd på deres forretningsmodel, vurderes disse ikke til at indgå i et validt branchebillede.

Performance

Modulproducenterne vurderes også på baggrund af deres evne til at tjene penge. Dette gøres ved at kigge på afkastningsgraden. Afkastningsgraden viser, hvor meget byggevirksomheden opnår i indtjening af den samlede investerede kapital. En afkastningsgrad på over 0% viser at byggevirksomheden over de seneste år har formået at tjene penge på deres projekter. Dette viser, at modulbaseret byggeri kan være en god forretning.

Ydermere skal byggevirksomheden kunne løfte en opgaven på Aalborg kaserner. Dette vurderes, ud fra modulproducenternes hjemmesider, med referencer til tidligere projekter af en tilsvarende størrelse mht. areal. Modulproducenterne skal tidligere have leveret projekter af en tilsvarende størrelse. Derudover skal modulproducenterne kunne levere modulbaseret byggerier som overholder BR10 og bygningsklasse 2020 som forskrevet i byggeprogrammet (Bilag 1).

Produktionsapparat

Modulproducenterne skal have et produktionsapparat, hvor deres moduler produceres i fabrikshaller som fjerner påvirkningen fra vejret. Derudover er det muligt at have alt det nødvendige værktøj og materialer inden for rækkevide og herigennem optimere produktiviteten ved at mindske den tid som bruges på klargøring og transport. Ydermere skal der indgå minimum tre forskellige fag i produktionen. F.eks. murer, tømrer og elektriker. Denne del af udvælgelseskriteriet er medtaget for at der kan ses bort fra betonelementleverandører og andre som levere færdige byggelementer som tage og vægge.

3.3.1.1 Udvalgelsen

Der er på baggrund af de ovennævnte udvælgelseskriterier udvalgt 4 modulproducenter som ønskes at skulle danne grundlag indsamlingen af primære viden omhandlende hvad byggebranchen kan levere inden for modulbaseret byggeri. De udvalgte er Scandi Byg i Løgstør, BM Byggeindustri (BM Byg) i Hobro, Jytas A/S i Galten uden for Århus og Flex Modul i Vinderup udenfor Struer. En samlet opsummering af de fire modulproducenters resultater ses på Appendiks 1. Det var kun Scandi Byg og BM Byg som ønskede at deltage i undersøgelsen.

3.3.2 FES' projekt Grønne Etablissementer

I arbejdet med den konkrete case, er det nødvendigt at indsamle primær data om projektet. Disse data er nødvendigt for at kunne svare på hvorvidt projektet er et korrekt billede af hvad byggebranchen kan levere inden for industrielt fremstillede modulbaseret byggerier. For at kunne besvare dette spørgsmål er det nødvendigt med et gennemgående kendskab til projektet og overvejelserne bag de beslutninger som er truffet undervej i processen både fra bygherre og rådgivers side. Dette opnås ved interviews med en tidligere og den nuværende projektleder fra FES og en repræsentant fra rådgiverkonsortiet. Ved at interviewe begge parter tegnes det mest valide billede af casen.

3.3.3 Fremgangsmåde ved de semistrukturerede interviews

Tilrettelæggelse modulproducenter

Modulproducenter der ønskes deltager i undersøgelsen på baggrund af de ovenstående udvælgelseskriterier kontaktes via telefon. Der er udarbejdet en kort præsentation af projektet (Appendiks 2) som præsenterer gruppen og opgaven, samt hvilke emner som har relevans iht. opgaven, denne fremsendes forud for mødet. Hvis modulproducenten ønsker at deltage i undersøgelsen aftales dag og tidspunkt for mødet. Afslutningsvis under tilrettelæggelsen præsenteres projektet på Aalborg kaserne på baggrund af offentligt tilgængelige materialer, her bedes, byggevirksohmheden om at vurdere, hvorvidt de vil være i stand til at udfører opgaven.

Tilrettelæggelse Aalborg kaserner

De personer som tænkes at kunne bidrage til projektet ud fra de ovenstående beskrivelse i afsnit 3.3.2 kontaktes gennem vejleder Henrik Sørensen som til daglig arbejder ved FES og som selv også er tidligere projektleder på projektet. Efter kontakten er skabt fremsendes der her ligeledes en kort præsentation af projektet og gruppen, samt hvilke emner som har relevans iht. opgaven (Appendiks 3).

Udførelse

Under udførelsen af interviewet vil begge gruppens medlemmer være repræsenteret. Den ene vil være ansvarlig for at føre ordet, mens den anden vil have mulighed for at byde ind med supplerende kommentarer og spørgsmål. Den anden vil også være ansvarlig for at følge med i spørgeguide og sikre at interviewet giver alle de fornødne svar.

3.3.4 Udformning af spørgeguides

Der vil før hvert interview med være udarbejdet en spørgeguide med åbne og neutrale spørgsmål, der giver mulighed for yderligere uddybende spørgsmål eller for at forfølge emner der dukker op undervejs. Denne spørgeguide vil ikke blive sendt til den interviewede før interviewet. Dette skyldes, at spørgeguiden er udført med punkter, som den interviewende kan krydse af løbende, når punktet er besvaret under interviewet. Derudover er der som nævnt allerede inden interviewet fremsendt en beskrivelse af hvad interviewet kommer vil omhandle. Spørgeguiden vil blive fremsendte hvis byggevirksohmhedens repræsentant efterspørger dette.

Der udarbejdes fire forskellige spørgeguides til interviews med henholdsvis modulproducenterne, projektlederne og rådgiver repræsentanten. Hver spørgeguide er opbygge af tre kolonner som vist herunder. Spørgeguides ses på Appendiks 4, 5, 6 og 7.

Hvad vil vi gerne vide?	Indledende spørgsmål:	Svar:
--------------------------------	------------------------------	--------------

Figur 3.2 - Spørgeguidedesign

I kolonnen "Hvad vil vi gerne vide?" er der beskrevet to forskellige ting. Den første ting som beskrivelse af hvad gruppen gerne vil have svar på gennem det indledende spørgsmål. Den anden som beskrives er hvilken del af problemformuleringen spørgsmålet skal lede mod en besvarelse af.

I kolonnen "Indledende spørgsmål" er der udarbejdet et indledende spørgsmål for at få samtalen omkring et givende emne indledt. Under det indledende spørgsmål er der en række forskellige spørgsmål som kan gruppen ønsker besvaret gennem samtalen.

I den sidste kolonne "svar" kan de interviewende, hvis dette er nødvendigt, notere svar eller kommentarer så f.eks. det samme spørgsmål ikke stilles flere gange eller hvis der er blevet givet nogle svar som kunne være brugbar i forbindelse med kommende spørgsmål i interviewet.

3.3.5 Referater

Efter hvert interview udarbejdes der et referat. Alle interviews optages efter aftale med den interviewede. Der vil under alle omstændigheder altid være chance for, at noget vil gå tabt i forbindelse med referats udarbejdelsen, dette kan være betydningen af kropssprog, ændringer i toneleje og sarkasme. Chancen for dette mindskes så vidt muligt ved, at interviewende udføres hos byggevirksomheden med begge gruppens medlemmer repræsenteret og ikke over telefonen. Der anvendes beslutningsreferat som referat type for, at de interviewedes holdninger og udsagn bliver forkortet til få korte formuleringer for at skabe et bedre overblik, og samtidig sikre at hovedbetydningen træder frem.

4 Entrepriseformer og partnering

I det traditionelle såvel som det modulbaserede byggeri anvendes tidligt og sent udbud alt efter hvilken entrepriseform der udbydes i. For at kunne identificere hvilken udbudsform der er mest fordelagtig for modulbaseret byggeri, er det nødvendigt at opstille en række fordele og ulemper for anvendelsen af entrepriseform, samt projektførelsen ved tidligt hhv. sent udbud. Dette skal synliggøre, hvornår i processen det vil være mest fordelagtigt at inddrage en modulproducent, såfremt der skal anvendes modulbaseret byggeri. Afsnittet er skrevet på baggrund af (Bejder 2012), (Naldal 2011) og (Bech, Westh og SandFeld 2013). Afsnittet er kortet ned, for den fulde beskrivelse se Appendiks 8.

4.1 Udbudsformer

I det følgende afsnit vil tidligt og sent udbud blive beskrevet samt hvilke entrepriseformer, som knytter sig hertil. Derudover vil det blive beskrevet, hvor der er mulighed for at opnå en forkortet projekttid ved faseintegration.

En traditionelle lineære byggeproces ses på *Figur 4.1*. Byggeprocessen kan bestå af programfasen, projekteringsfasen, udførelsesfasen og driftfasen.



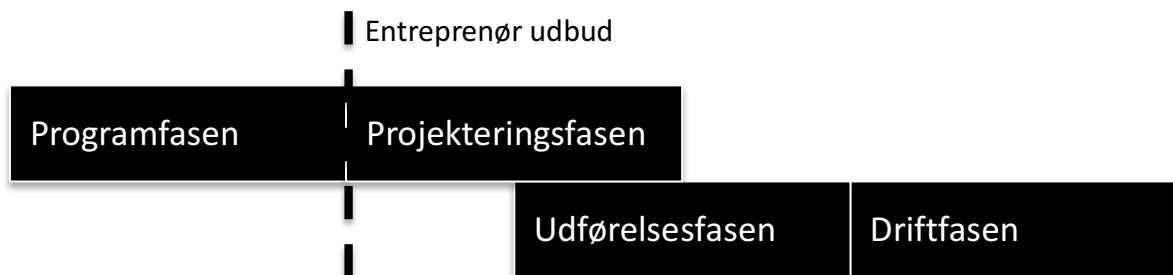
Figur 4.1 - Traditionel byggeproces

4.1.1 Tidligt udbud

Tidligt udbud er betegnelsen for de entrepriseformer, hvor projektet udbydes til entreprenøren allerede inden projekteringsfasen. Dette gør sig gældende ved projekter i totalentreprise, OPP og partnering.

Ved totalentrepriser udarbejdes der et byggeprogram i programfasen som totalentreprenøren, i samarbejde med deres rådgivere, udarbejder et projekt på baggrund af. Det vil her være muligt at opnå faseintegration mellem projekteringsfasen og opførelsesfasen. Dette skyldes at totalentreprenøren selv har mulighed for at bestemme projekteringsrækkefølge og derved få projektet projekteret således, at de kan påbegynde udførelsesfasen inden endt projektering.

Ved partnering bliver projektet udbudt til entreprenørerne og en samarbejdsaftale indgås inden projekteringen påbegyndes. Herved vil der også være mulighed for at opnå faseintegration, da entreprenørerne vil have mulighed for at påvirke projekteringsrækkefølgen.

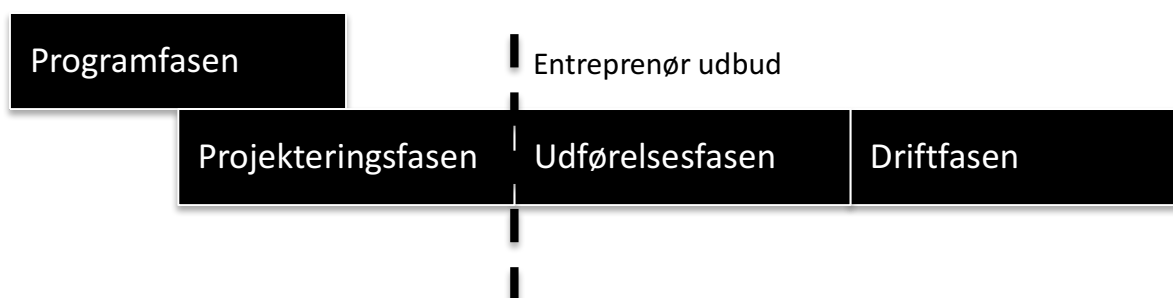


Figur 4.2 - Tidligt udbud

4.1.2 Sent udbud

Sent udbud er betegnelsen for de entrepriseformer, hvor projektet udbydes til entreprenørerne efter projekteringsfasen. Dette gør sig gældende ved projekter i hoved- og fagentrepriser.

Ved hoved- og fagentreprise udbydes projekt først til entreprenørerne når projektet er dimensioneret og færdig projekteret. Dette gør det ikke muligt at påbegynde udførelsen under projektfasen. Men det er muligt for rådgiverne i samarbejde med bygherren at udvikle projektet med et meget begrænset byggeprogram. Derved er det muligt at opnå faseintegration mellem program- og projekteringsfasen.

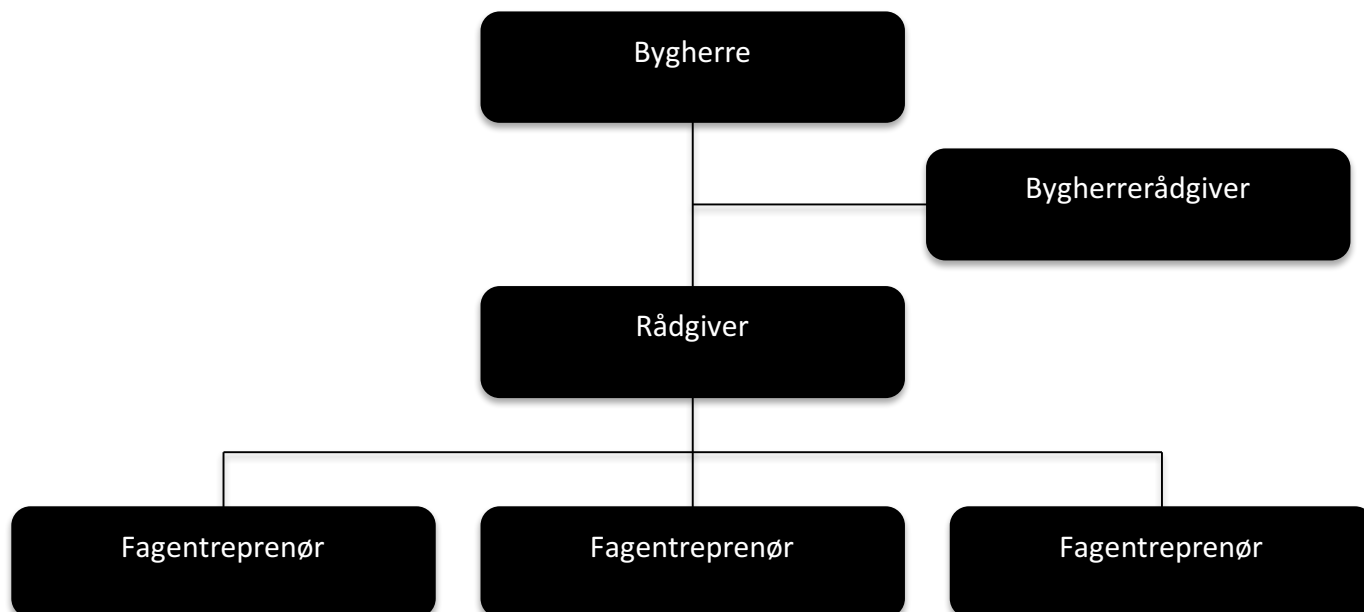


Figur 4.3 - Sent udbud

4.2 Traditionelle entrepriseformer

I processen med at udpege den mest fordelagtige entrepriseform er der inddraget fordele og ulemper fra Fag- hoved- og totalentreprise samt partnering.

4.2.1 Fagentreprise



Figur 4.4 - Fagentreprise

Fordele

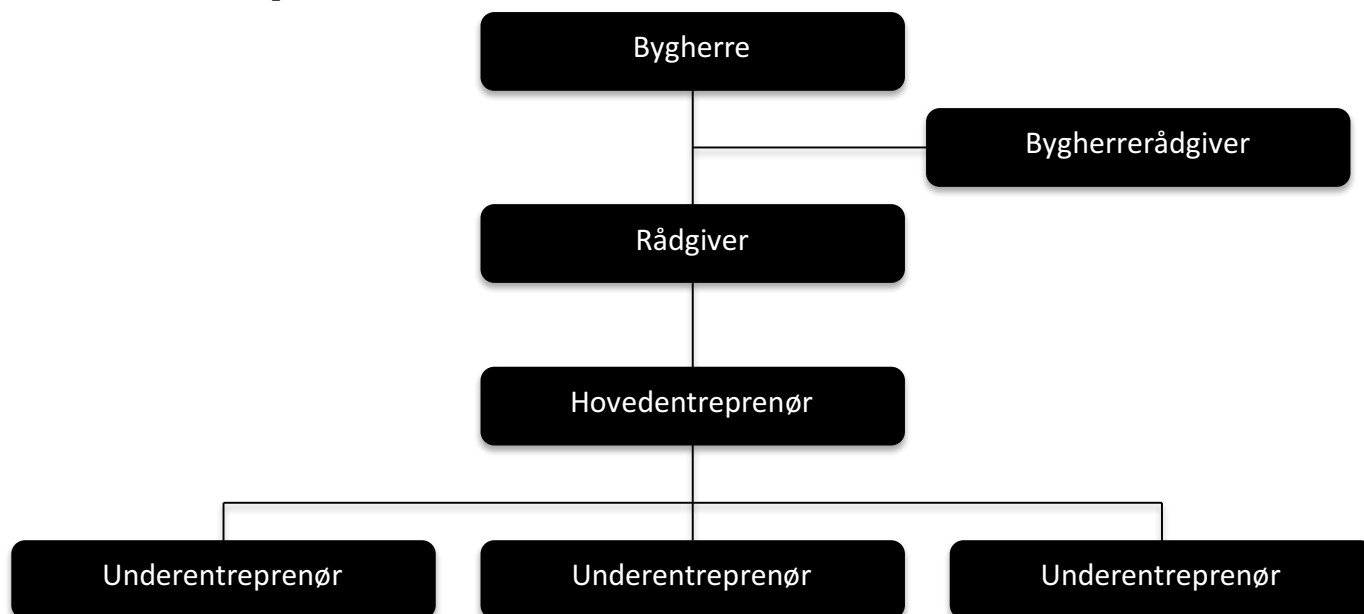
- Bygherren har maksimal indflydelse på projektet, dvs. bygherren kan udforme byggeriet som han helt selv ønsker mht. materialer og løsninger, dette er muligt idet at der ikke skal tages hensyn til de entreprenører som skal udføre projektet.
- Bygherren har kendskab til et beløb tæt på den egentlige pris for udførelse på et tidspunkt i processen, hvor arbejdet endnu ikke er påbegyndt på byggepladsen. Dette beløb er kun tæt på da der i praksis altid vil komme ekstraudgifter under udførelsesfasen.
- Projektet er færdigarbejdet inden udbud, hvilket giver tilbudsgiverne bedre betingelser for at ramme den korrekt pris og derved mindske mængden af uforudsete udgifter i form af kommende ændringer eller nødvendige tilkøb. Der vil dog i praksis altid opstå uforudsete udgifter.

Ulemper

- Da der ikke er faseintegration mellem projekteringsfasen og udførelsesfasen vil tidsplanen for det samlede byggeri som oftest være længere end ved f.eks. en totalentreprise.

- Ansvar for koordinering og byggeledelse ligger ved bygherre og/eller hans rådgivere. Dette kan være meget tidskrævende for en bygherre og skal derfor overvejes nøje.

4.2.2 Hovedentreprise



Figur 4.5 - Hovedentreprise

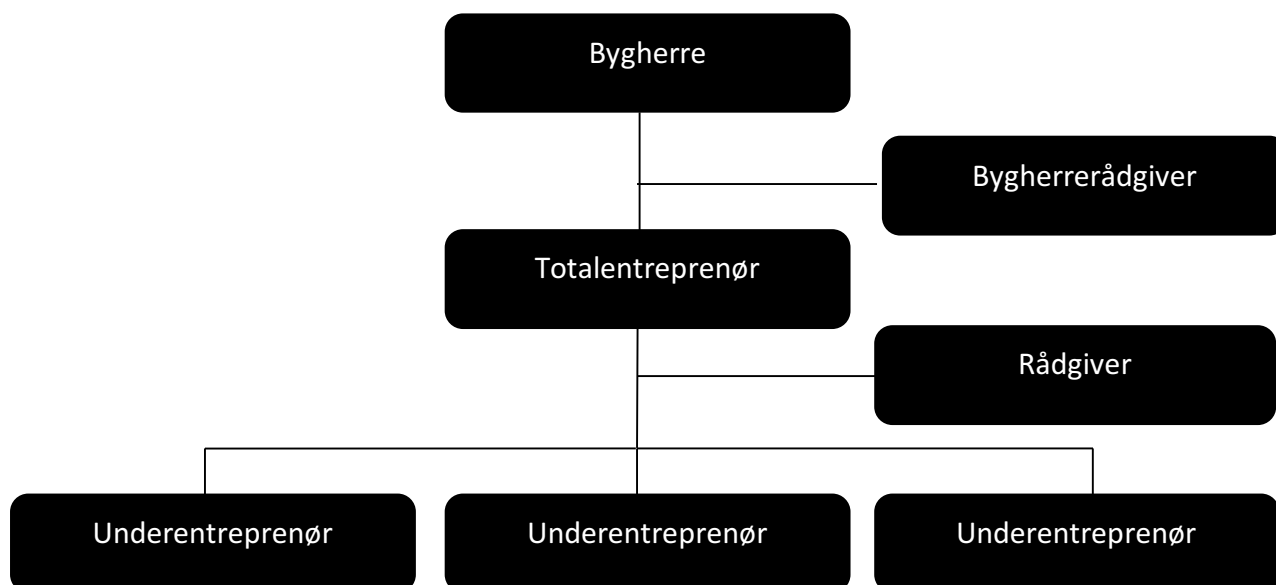
Fordele

- Bygherren har stadig maksimal indflydelse på projektet som ved fagentreprise.
- Bygherren har kendskab til anlægssummen som ved fagentreprise.
- Hovedentreprenøren kender projektet til fulde inden der tilbuddet udarbejdes som ved fagentreprise.
- Koordinering, byggeledelse og kvalitetssikring er hovedentreprenørens ansvar og vil derfor ikke belaste bygherrens tid. Samtidig vil udgifter i forbindelse med ophold i arbejdet samt fejl og mangler som skyldes koordinering, byggeledelse og/eller kvalitet afholdes af hovedentreprenøren.

Ulemper

- Der er ikke mulighed for faseintegration som der heller ikke er ved fagentreprise.
- Byggeledelsen varetages af hovedentreprenøren, hvilket der tages betaling for. Denne betaling er i de fleste tilfælde en procentdel af enterprisesummen. Da enterprisesummen oftest er højere end beløbet til bygherrerådgiveren vil det blive dyre for bygherre.

4.2.3 Totalentreprise



Figur 4.6 - Totalentreprise

Fordele

- Kendskab til et beløb som er meget tæt på den faktiske anlægssum for hele projektet.
- Der kan ske en optimering mellem projekteringen og udførelsen således, at de valgte løsninger og materialer tilgodeser udførelsesfasen.
- Den samlede projekttid vil kunne forkortes da der kan ske faseintegration mellem projektering og udførelse. Dette betyder, at projektet kan påbegyndes på pladsen, inden det er færdigprojekteret.
- Ved at udbyde projektet som totalentreprise kan bygherren få en række forskellige forslag til, hvordan opgaven kan løses.

Ulemper

- Bygherren har mindre indflydelse på projektet samt valget af f.eks. materialer og udførelsesmæssige løsninger end ved fag- og hovedentreprise. Bygherre må derfor være klar over, at totalentreprenøren vælger dette ud fra at skulle optimere sin egen økonomi.
- Byggeledelsen varetages ligeledes af totalentreprenøren, dette vil gøre den samlede entreprisesum større af samme årsager som ved en hovedentreprise.

4.2.4 Partnering

Fordele

- Alt efter hvilken entrepriseform som vælges i forbindelse med partnering vil dette give øget indflydelse for projektets parter.
- Der vil være gode muligheder for at opnå besparelser på projektet. Besparelser kan fremkomme i projekteringsfasen og udførelsesfasen. I projekteringsfasen har de(n) involverede entreprenør(er) mulighed for at påvirke byggeriet således, at byggeriet kan udføres nemmest muligt. Dette kan gøres gennem valget af løsninger og/eller materialer. I udførelsesfasen vil entreprenøren have en stor interesse i ikke at udføre noget arbejde, som skal laves om efterfølgende, da dette kan medføre en mindre fortjeneste efter projektet via den indgåede samarbejdsaftale.
- Samarbejdsformen skaber gode betingelser for at bygge innovativt da alle parter i projektet kan komme med deres "Best practice" og bidrage til projektet med ny viden og oplyse hinanden om, hvad der er muligt.
- Alle projektets parter har et stort medansvar for økonomien. Det vil sige at hvis projektet giver underskud deles udgiften hertil mellem parterne. Dette skal kan øge samarbejdsvilligheden.

Ulemper

- Det forventes at bygherren er aktiv gennem hele processen og ikke bare kan få leveret et færdigt produkt som ved traditionel totalentreprise.
- Der stilles krav til prækvalifikationskriterierne da de parter som indgår i et partnering projekt skal stå inde for konceptet og tro på samarbejdsformen. Hvis dette ikke er tilfældet, og de som vinder udbuddet ikke vil indgå i en samarbejdsaftale, eller parterne ikke kan blive enige gennem projektet, vil dette medføre at udbuddet skal tages om, hvilket tager tid.

5 Industrialisering af byggeriet

Modulbaseret byggeri er blot et led i industrialiseringen af byggeriet. For at få en bedre forståelse for det modulbaserede byggeris betydning inden for industrialiseringsprocessen, og generelt i forhold til forbedringer af produktiviteten, kvaliteten og effektiviteten vil det være væsentligt at dykke ned i industrialiseringens historie. Dette afsnit skal være med til at danne baggrund for en besvarelse af, hvordan modulbaseret byggeri bidrager til industrialiseringen af byggeprocessen, og hvordan dette er med til at forbedre kvalitet, produktivitet og effektivitet i byggeriet.

5.1 Udvikling

Byggeriet har undergået nogle forsøg på industrialisering gennem tiden, som dog er blevet negligeret eller afløst igen af den traditionelle og fagspecifikke byggemetode. En af de lidt ældre metoder, som har tilnærmet sig en industrialisering er landbrugsbygninger, der gjorde brug af byggematerialer fra Norge, som inden afsendelse var tilpasset til byggeriet. Der har her været tale om en tidlig form for præfabrikerede elementer. I starten af det 20. århundrede fandt industrialiseringen sted gennem Bauhaus, som introducerede en praktisk tilgang til opførelsen af billige huse. Efter 2 verdenskrig blev industrialiseringen nødvendig i Danmark som følge af, at der pludselig var mange som manglede beboelse i by- og forstadsområder, som følge af befolkningstilvækst, øgede skilsmisserater og ungdommen, som ikke længere agtede at bo hjemme indtil de blev gift. Set fra et arkitektonisk synspunkt kan dette dog kritiseres for ikke at være hverken spændende at se på eller bidrage til nuancerede boligmiljøer, hvilket førte Ghettolignende tilstande med sig. (Lean Construction 2012)



Figur 5.1 – Eksempel på kransorsbyggeri: Tåstrupgård (Sadolin 2008)

På trods af, at man gentagende gange har forsøgt sig med industrialiseringsprocesser, og nye tilgange til byggeri i form af nye materialer, præfabrikerede elementer og byggeprocesser, er der stadig et behov for en optimering af byggeprocessen, hvis denne skal have en chance for at komme til at minde om standarden inden for de klassiske produktionsindustrier mht. produktivitet, effektivitet og kvalitet. Dette problem kan muligvis skyldes, at innovation og nytænkning som oftest er fremprovokeret af perioder, hvor der er akutte problemer at løse frem for at fastholde en kontinuerlig udvikling og innovation i branchen. Når der ikke følges op på de nye tiltag vil der som følge af tradition og manglen på videreudvikling være en tendens til at falde tilbage til gamle metoder (Morte 2011) (Jacobsen og Kreiner 2009).

I Danmark/norden har vi en særlig stor anvendelse af præfabrikerede betonelementer, som fremskynder byggeprocessen, idet de er hurtige at installere og kræver mindre arbejde på pladsen. En af grundene til, at bl.a. Danmark har netop denne mulighed for at anvende byggeri i betonelementer er, at vi herhjemme ikke er påvirket af jordskælv, som ellers kan problematisere rent elementbyggeri, pga. de svækkede samlinger ift. in-situ beton. Efter indførelsen af betonelementer, har man benyttet flere præfabrikationer i byggeriet.

En af de helt store fordele ved disse præfabrikerede elementer er, at de kan produceres under kontrollerede ensartede forhold i en lagerhal, og derved komme tættere på produktionsindustriens produktivitets-, effektivitets- og kvalitetsstandarder. Blandt grundene til, hvis ikke undskyldninger for, den manglende kvalitet og ensartethed i byggeriet er der fire væsentlige årsager ifølge Lauri Koskela (Koskela 1992):

- Unikke projekter
- Produktion på byggepladsen
- Midlertidig multiorganisation
- Indvendinger fra myndigheder

Det unikke projekt er en hindring i og med, at processerne i byggeriet ikke er de samme fra projekt til projekt og derved ikke kan drage fordel fra gentagne ensartede processer. Produktionen på byggepladsen sætter begrænsninger eftersom vejret spiller ind ved arbejder udendørs inden byggeriet lukkes af. Samtidig forandres byggepladsen løbende igennem byggeprocessen i takt med, at projektet skrider frem, hvilket medfører ændring af adgangsveje og bevægelse samt en ekstra koordinering af de enkelte arbejdssjåk, idet flere sjåk ikke kan arbejde samme sted på samme tid. Den midlertidige organisation bestående af forskellige sammensætninger af virksomheder fra byggeprojekt til byggeprojekt begrænser på sin vis optimeringen af samarbejdet på lang idet det er forskellige kulturer der arbejder sammen på skift.

5.1.1 Forsøgsbyggerier

Boligministeriet har i Danmark medvirket til, at der skete en udvikling inden for byggerier, og har forsøgt sig med forsøgsbyggerier, som skulle anvende forskellige produktionsfilosofier i løbet af projektet for at etablere standarder indenfor god byggeskik, med det primære formål at forbedre

kvaliteten og produktiviteten i byggeriet. Initiativer fra boligministeriet indbefatter Byggeriets Planlægningssystem fra 1974 og Udviklingskvoten fra midten af 1980'erne. Blandt andet Udviklingskvoten var med til at sikre, at der kom gang i udviklingsprojekter i og med, at regeringen reserverede nogle af de almene boligbyggerier til udviklingsformål. Særligt ved et forsøgsprojekt i Ullerød lykkedes det ved at sætte fokus på leveringen. Projektet må siges at være en vellykket inddragelse af Supply Chain Management (SCM) og Just In Time (JIT), idet byggetiden faldt med hele 20%, og der blev tjent flere penge blandt de involverede parter. SCM kom i spil ved at sikre, at der foregik et optimeret samarbejde mellem dengang Højgaard & Schultz og deres leverandører for at sikre, at materialerne blev leveret færdigpakket i såkaldte "Units", som alle sammen skulle bruges samme sted i byggeriet – det kan forklares som IKEAs møbelkoncept i større skala. I stedet for at have en samling af forskellige lagre på byggepladsen har det på denne måde været muligt at flytte lageret tilbage til leverandøren og på denne måde forhindre en ikke værdiskabende aktivitet i form af unødvendig flytning af materialer. Det var samtidig muligt i projektet at forsinke leveringen mest muligt i og med, at der ikke skulle anvendes tid på pladsen til at sortere i leveringen inden anvendelse. (Lean Construction 2012)

5.1.2 Modulbaserede mål

Henrik Nissen beskriver modulbaserede byggeri i Danmark i det 20 århundrede og hvordan byggebranchen begyndte at standardisere mål i byggeriet ud fra foretrukne mål i branchen (Nissen 1984). Dette skete først vertikalt i 1958 gennem DS 1000, som fastlagde et fast mål for etagehøjden i byggeriet og senere horisontalt i 1960, gennem byggelovens Kapitel 1 §6 stk. 2 og senere i bygningsreglementet fra 1961 kapitel 4.1.4 stk. 4: *"Beboelsesbygninger, der opføres med udleje for øje, skal projekteres i overensstemmelse med »Modulregler for byggeriet« DS 1011.1 (Byggemodul) og DS 1011.2 (Planlægningsmoduler)"*. Ved at indføre standardmål i byggeriet gjorde man det muligt at overføre en del af komponenterne i byggeriet til præfabrikerede elementer, eftersom vinduer, døre mm. kunne produceres i standard størrelser, som anvendes i de fleste byggerier. Vigtigheden i modulmålene bestod også i, at præfabrikation af elementer kræver, at man holder sig inden for nogle tolerancekrav, når der skal fremstilles elementer, som kan installeres på pladsen uden yderligere tilpasning på pladsen. Ud over at standardiseringen blev stadfæstet nationalt gennem bygningsreglementet, blev de optaget som international standard i ISO 1006 i 1973. Indførelsen af disse standardiserede var, ud over præfabrikerede vinduer, døre og trapper, desuden med til at sætte gang i produktiviteten i byggeriet, samt en markant forøgelse i kvaliteten. Dette opsving i produktivitet og kvalitet faldt dog til jorden igen, idet man begyndte at gøre op med alt ensartet byggeri, og gik over til at fokusere på unikke projekter ifølge (Bertelsen 2005), som mener at det kan skyldes, at branchen ikke forstod begrebet til fulde. Udfasningen af de standardiserede mål, kommer også til udtryk gennem senere opdateringer af bygningsreglementet, hvor der efter 1995 ikke længere er fastsat krav til, at beboelsesbyggerier med udleje for øje (1961-1967) eller modulbaseret byggeri (1977-1995) skal projekteres efter faste modulmål.

5.1.3 Modularisering

Modularisering handler om at standardisere byggeriet og optimere det til masseproduktion, således at dele af byggeriets processer kan udføres væk fra byggepladsen. Standardisering af modulmål kan som beskrevet i forrige afsnit sørge for, at eksempelvis betonelementer vinduer og døre kan masseproduceres i nationale. Modularisering kan også benyttes til at nedbryde byggeriet i mindre komponenter, som produceres under industrielle forhold og samles på pladsen. Disse komponenter er samlet efter funktion, og produceres med standardiseret grænseflade og samlinger, således at de kan samles nemt og enkelt på pladsen. En standardiseret samling og grænseflade tillader at der kan anvendes komponenter fra konkurrerende modulproducenter uden problemer (Bertelsen 2005). Modularisering kan dog også finde sted på pladsen, ved at etablere et værksted, hvor moduler som installationskanaler eller maskinelle dele af byggeriet kan samles inden, det installeres i byggeriet (Court, et al. 2009). Modulbaseret byggeri, der i denne rapport primært henviser til brugen af boksmoduler, er en del af modulariseringsbegrebet, eftersom der også her benyttes standardiserede elementer, som nemt og enkelt kan samles på byggepladsen.

5.2 Modulbaseret byggeri

Anvendelsen for modulbaseret byggeri spænder fra almindeligt boligbyggeri, over byggeri af hospitaler til opførelse af kemiske fabrikker. Omfanget af moduler kan ligeledes variere fra modulbaseret installationsnet (EI, VVS og ventilation), til hele bygningsdele, som efterfølgende sættes sammen. Der er altså en lang række muligheder for det præfabrikerede og modulbaserede byggeri på trods af at kompleksitet og opbygning er vidt forskellige. Fordelene og ulemperne kan variere fra byggeri til byggeri, men der er bestemt fordele som går igen over hele linjen, hvilket vil blive beskrevet i dette afsnit.

5.2.1 Hvad er modulbaseret byggeri?

For at fastlægge hvad modulbaseret byggeri indebærer, er litteraturen blevet afsøgt for definitioner af et modul og begrebet modularisering Ifølge (Nissen 1984) kan et modulprojekt betegnes som *"et projekt, i hvilket der kan anvendes flest mulige præfabrikerede, standardiserede bygningsdele."*, hvilket er en meget passende beskrivelse, som lever op til industrialiseringsbegrebet. (Bertelsen 2005) beskriver et modul som værende *"et produkt designet og produceret af håndværkere fra flere forskellige fag, som oftest installeres på pladsen af producentens egne, specialtrænede folk"* ligesom (Austin 2014), der kort og enkelt betegner modularisering som anvendelsen af færdige "units" såsom et helt lokale, der transporteres i et samlet hele til installering på pladsen i en bestemt rækkefølge. I (Lennartsson, Björnfoth og Stehn 2009) beskrives modularisering som en metode, hvor system eller projekt nedbrydes i mindre moduler, som kan samles til en helhed bestående af flere funktioner. Formålet med præfabrikation er dog primært at sørge for at standardisere elementer og sørge for, at disse kan fremstilles under optimale vilkår. (Jensen, Hamon og Olofsson 2009) tager udgangspunkt i at modularisering handler om at optimere vilkårene for "mass customization" ved at opdele

projektet i standardiserede dele med en ensartet grænser, som kan varieres og tilpasses kundens ønsker og behov. Ved at opdele hele projektet i mindre elementer reduceres kompleksiteten væsentligt i byggeriet. (Court, et al. 2009) tager udgangspunkt produktionsindustrien, hvor modularisering ligeledes handler om at bryde et komplekst system ned i mindre særskilte dele - moduler – som består af et stort antal mindre elementer, der kan samles til et hele på en ny produktionslinje, hvilket i byggerimæssig sammenhæng vil være på byggepladsen.

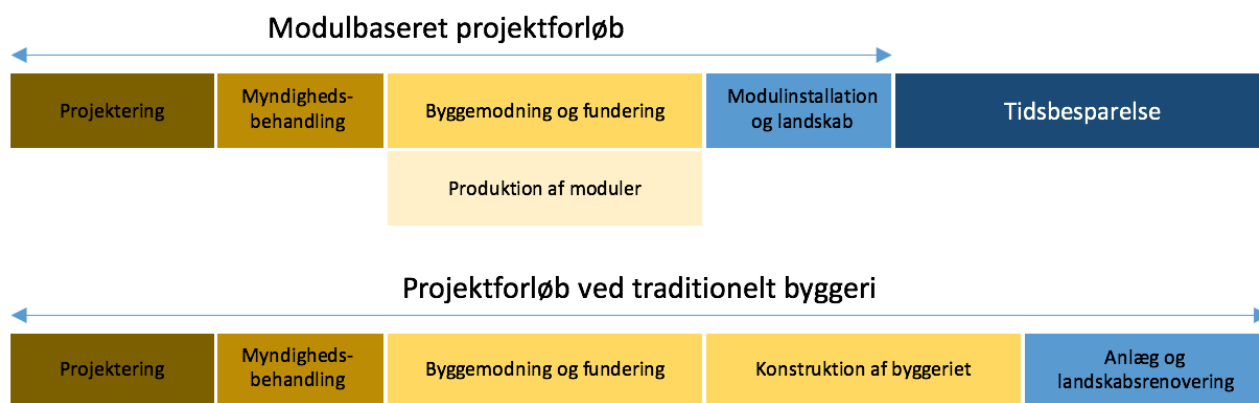
Modulbaseret byggeri kan derved anslås til at være byggeri, der benytter processer til at dele et komplekst byggeri op i mindre dele, som kan samles på en optimal og standardiseret måde under fordelagtige vilkår. På denne måde kan man som modulproducent tilbyde løsninger, der i deres samlede indtryk er vidt forskellige, men består af de samme standardiserede løsninger inde bag en varierende facade. Entreprenører kunne få gavn af modulbaseret byggeri eller modularisering ved at bryde større projekter ned i mindre dele, der kan produceres enten af entreprenøren selv eller dennes leverandør. Derved bliver arbejdspresset på byggepladsen reduceret, og den samlede kompleksitet i byggeriet bliver mindre, idet der vil være færre elementer at skulle administrere og håndtere.

5.2.2 Fordele ved modulbaseret byggeri

Der er som nævnt en række fordele ved modulbaseret byggeri. Gennem litteratursøgningen er der identificeret en række fordele ved modulbaseret byggeri, som konferencedokumenter fra International Group for Lean Construction (IGLC), artikler fra diverse tidsskrifte, samt videnskabelige artikler har beskrevet. En af de væsentligste årsager til disse fordele skyldes, at en stor del af byggeprocessen flyttes væk fra den traditionelle byggeplads og ind i kontrollerede omgivelser under tag, hvor arbejdsvilkårene kan justeres og tilpasses, så det bliver langt mere optimalt for den enkelte håndværker at udføre sit arbejde.

Reduceret Byggetid

Som følge af at byggeriet flyttes væk fra byggepladsen, bliver muligt at foretage byggemodning og udføre fundamenter på pladsen samtidig med, at bygningen kan produceres andetsteds, hvilket er med til at reducere den samlede tid anvendt til byggeriet. *Figur 5.2* illustrerer hvordan den parallelle udførelsesproces sikrer en tidsbesparelse i forhold til den sekventielle tilgang.



Figur 5.2 – Tidsplan for modulbaseret byggeri vs. traditionelt byggeri

Ved hjælp af den parallelle byggeproces kan den samlede udførelsesperiode forkortes med 30% til 50% i forhold til, hvis man havde anvendt den traditionelle byggemetode (Rich 2012) (Morton 2011) (Austin 2014) (Eagle 2014). De indledende faser for byggeriet der berører projektering og indhentning af tilladelser er naturligvis stadig til stede, og kan derfor ikke skæres væk. Men foruden den fordel, at modulerne kan produceres samtidig med byggemodningen, så er opførelsesfasen af de færdige moduler også hurtigere udført, end hvis alt arbejde foregik på pladsen, idet der kun mangler 10-25 % af arbejdet når først modulerne er leveret til pladsen. Udførelsen er betinget af tørt vejr med begrænset vind, således at modulerne og andre materialer ikke udsættes for vandskader og dermed forringelser i den kvalitet, som produktionen af dem har tilladt.

Forbedringer i arbejdsmiljø

Forbedring af arbejdsmiljøet er en særdeles relevant faktor, hvilket kommer til udtryk i undersøgelser af arbejdsmiljøet på et svensk projekt (Simonsson og Rwamamara 2007). Her er der tydeligt belæg for, at håndværkerne har væsentligt forbedrede arbejdsvilkår ved at anvende armeringsnet, som er bundet inden det installeres i støbformen vha. kran. Det bliver derved muligt at binde armeringen uden de dårlige arbejdspositioner for håndværkerne, som er forbundet med at binde armeringen hvor den skal anvendes. Omsættes de forbedrede arbejdspositioner fra armeringsbinding til samling af hele boksmoduler, og derved flere dele af byggeriet end blot betonarbejde, må der nødvendigvis være større gavn at hente rent arbejdsmiljømæssigt. Dette sker ved, at Gulv-, væg- og loftselementer vil kunne hæves til en bedre arbejdshøjde under produktionen. Samtidig vil nødvendigheden for at arbejde på høje stiger eller stilladser blive elimineret eller væsentligt reduceret, hvilket reducerer risikoen for fald fra store højder (Austin 2014). Arbejdsmiljøet på byggepladsen vil også være forbedret, idet der er færre mennesker og mindre maskineri, som skal finde plads til at arbejde på samme område (Morton 2011) (Blankinship 2008). Under de skærmede forhold, som modulfremstillingen tilbyder, er det muligt - foruden at negligere skiftende vind og vejr - at regulere arbejdsmiljøet og forbedre luftforholdene når der laves støvende arbejde ved mere effektivt at kunne ventilere støvet væk lokalt, eller tilføje

vanddamp for at opretholde optimal luftfugtighed i arbejdsmiljøet. Ifølge vejledning om vinterforanstaltninger fra Branchearbejdsmiljørådet for Bygge og Anlæg er der krav om, at der ikke må være under 15 grader der hvor der udføres arbejde (BAR 2013). På en normal byggeplads ville det kræve, at man lukker bygningen tæt, så snart råhuset er på plads for at kunne varme bygningen tilstrækkeligt op, hvilket kræver store mængder af energi. Når byggeriet i form af moduler, i forvejen produceres under tag, betyder det at det vil være meget nemmere at sikre den rigtige temperatur og derved spare energi til opvarmning på byggepladsen, der ikke er nær så godt isoleret som en produktionshal.

Forøget implementering af Lean

Ifølge (Björnfort og Stehn 2004) vil anvendelsen af lean construction ikke nødvendigvis kræve eller drage fordel af en modulbaseret tilgang, mens modulbaseret byggeri omvendt kan drage stor nytte af Lean construction.

- **Lean Construction \Rightarrow Modulbaseret byggeri**
- **Modulbaseret byggeri \Rightarrow Lean Construction**

Fordelen ved at anvende Lean Construction i det modulbaserede bygger kommer af, at alle elementer bliver udført samme sted i produktionshallen hver gang af de samme håndværkersjak, hvilket tillader endnu en optimering af, hvordan arbejdet udføres, inkl. forbedret arbejdspositur og forhold. Produktionsforholdene for modulbaseret byggeri minder dermed om den klassiske produktionslinje fra forbrugermarkeder som f.eks. bilindustrien. En undersøgelse foretaget af (Ikuma og Nahmens 2010) har vist, at nogle få optimeringer i processen hos en modulproducent i USA hjalp til at reducere arbejdszyklussen hos holdet der producerede gulvelementer med 55% ved at løfte elementer op i god arbejds højde og udskifte midlertidige betonklodser til at rette elementerne ind efter med fast installerede vinkeljern, som ikke skal flyttes. Derudover hjalp morgenmøder og transportable værktøjskasser til at sikre, at alle vidste hvad de skulle lave i løbet af dagen, og at værktøjerne var mere let tilgængelige og tilstede når de skulle bruges. Dette sikrede dermed også at der ikke blev ført ledninger til værktøjer på kryds og tværs af gulvet med snublefare til følge. Fordelen ved mindre rod og lettere tilgængelighed er en generel forbedring fra traditionelt til modulbaseret byggeri (Mostafa og Dumrak 2013). Denne optimering ville ikke være ligeså effektiv på en byggeplads, idet arbejdet skifter placering undervejs i byggeriet, samtidig med at der fra tid til anden vil være flere arbejdsjak, som kommer til at arbejde samme sted på samme tid. Dermed er arbejdsomgivelserne konstant i forandring, hvilket er en forhindring i forhold til at tilpasse og optimere arbejdsforholdene andre steder end i et afgrænset område.

Optimeret udførelse af projekter

Ved modulprojektering vil der være en bedre mulighed for at anvende JIT princippet, og dermed vil behovet for store lagre af materialer blive reduceret. I stedet er det muligt at få leveringer i mindre "batches", hvilket har den fordel, at materialerne kan opbevares under tag og dermed er beskyttet for vind og vejr. Dette mindsker risikoen for, at materialer bliver våde i regnvejr, og

derved ender med at skabe fugtskader i byggeriet, når det er færdigt. Anvendelsen af automatiserede maskiner med præcise lasermål, vil medvirke til at sikre, at materialer skæres mere præcist ud, hvorved spildet i produktionen kan reduceres fra indtil flere fyldte containere om ugen til nogle få containere for hele projektet (Eagle 2014). Reduktion i spildte materialer er ikke uvæsentligt idet materialerne altid vil koste det samme i byggeriet, hvad enten de anvendes til traditionelt eller modulbaseret byggeri. En anden årsag til det mindre materialespild og samtidig en reduktion i ændringer i projektet generelt består i, at projekteringen skal være overstået tidligere i processen ved modulbaseret byggeri end ved traditionelt byggeri (Austin 2014) (Bildsten 2011). Det produktionsapparat som fremstiller moduler er langt mere standardiseret, og alle overflader og løsninger skal derfor være færdigprojekteret før produktionen starter, idet ændringer er med til at øge prisen for projektet samt direkte årsag til ikke-værdiskabende arbejde - hvilket netop er det leanprincipperne har til formål at eliminere.

Reduceret risiko og fremtidssikring af byggeriet

Ved at benytte modulbaseret byggeri vil man kunne reducere nogle væsentlige risici ved byggeriet, idet der vil være langt større grad af sikkerhed for at overholde tidsplan og budgetter. Dette skyldes ligesom baggrunden for den øgede sikkerhed, at produktionen flytter ind under tag, og dermed fjerner risikoen for, at arbejdet ligger stille som følge af vejrlig (LePree 2013). En mulig risiko ved opførelse af byggeri til research/forskningsformål kan desuden være, at et aktuelt forskningsprojekt, som bygningen skulle benyttes til, er overstået inden byggeriet står færdigt, som følge af den lange udførelsesperiode (Rich 2012). Rich beskriver også muligheden for, at bygningen senere i sin levetid skal bruges til noget andet end oprindeligt planlagt, eller blot kunne rumme teknologi som ikke være udviklet ved byggeriets opførelse. Her vil et fleksibelt modulbaseret byggeri kunne imødekomme begge dele, hvilket man har opnået ved et projekt i England med projektet Öppen. Som følge af at man ved modulbaseret byggeri er i stand til at forkorte tidsrammen for udførelse af byggeriet, og at seriefremstillingen under favorable vilkår tillader en reduktion i spild og ensartet tidsforbrug for udførelsen af hvert modul, vil der også være større muligheder for at sikre, at deadlines bliver overholdt for udførelse. Mindre variation i tidsforbrug samt kvalitet og dermed færre fejl og mangler er med til at reducere risici forbundet med byggeri, som derved kan udføres for et mindre budget.

En yderligere fordel ved at bygge i moduler er dog også, at det åbner op for en mulighed for, nemt at bygge til og udvide et eksisterende byggeri uden en langstrakt bygge/renoveringsperiode, hvor arbejdspladsen præges af byggelarm og rod, og måske bliver sværere at få adgang til (Morton 2011). Såfremt installationsanlæggene i bygningen er beregnet til det, vil det altid være muligt at tilføje elementer til et modulbaseret byggeri senere uden at skulle rive dele af den eksisterende bygning ned først. På den måde kan man både udvide et domicil eller andet byggeri nemmere, billigere og hurtigere. Her minimeres de midlertidige udfordringer, der er forbundet med udvidelse af en virksomhed eller andre bygninger, idet der vil være en kortere periode med byggerod, samt udelukkelse af et behov for at flytte i nye bygninger.

5.2.3 Ulemper ved modulbaseret byggeri

Selvom der umiddelbart er mange fordele ved modulbaseret byggeri når det kommer til opførelse og produktivitet, vil der naturligvis også være ulemper ved at benytte modulbaseret byggeri, som ligeledes er identificeret gennem konferencedokumenter fra IGLC, artikler fra diverse tidsskrifte, samt videnskabelige artikler:

Arkitektur

Modulbaseret byggeri profilerer sig blandt andet på fleksibiliteten i løsninger og en hurtigere opførelsesperiode. Det vil dog i designfasen kunne være et bispænd for arkitekter og bygherrer at skulle tage stilling til alting tidligere end normalt og derudover, at der vil komme en vis begrænsning i det arkitektoniske udtryk, når det kommer til at skabe spændende kurver og former i byggeriet, idet det primært vil være firkantet/kasseformet. Særligt vil man måske tænke tilbage på det tidlige industrialiserede byggeri, som nogle gange betegnes kranforsbyggeri (Lean Construction 2012). På den ene side kan man argumentere for, at meget byggeri er opført firkantet og kasseformet uden at være modulbaseret byggeri, og på den anden side er det en erkendelse af, at det endnu ikke er praktisk rentabelt at bygge i andre former med boksmoduler.

Ændringer

Idet modulbaseret byggeri fremstilles på nogle af de samme principper som samlebåndsproduktion, vil det være en stor hæmsko for modulbaseret byggeri, hvis ikke ændringer adresseres i tide og dermed forsinker produktionen eller færdiggørelsen af det enkelte modul (Bildsten 2011). Dette skyldes at modulerne produceres og leveres i korrekt rækkefølge for at byggeriet færdiggøres korrekt. Hvis et modul således skal laves om vil det forsinke processen med de øvrige moduler og dermed også levering og opførelse. Samtidigt kræver modulbaseret byggeri også, at elementerne er udført efter meget præcise mål, idet de enkelte moduler skal passe sammen når de installeres i felten. Ved det traditionelle byggeri vil man have lidt større spillerum for at tilpasse byggeriet undervejs, så længe man ikke kompromitterer lastgang, bæreevne eller kvalitet.

Transport

En af de væsentligste begrænsninger for størrelsen på moduler til byggeriet er transport på vejene. Motorvejsbroer er med til at sætte begrænsninger for højden på et modul på en lastbil, mens transportregler sætter begrænsninger for transport på vejene. Jævnfør Bekendtgørelse om særtransport §15 skal alle transportere, der er over 3,30 m i bredden 4,10 m i højden eller 22m i længde søge tilladelse af politiet. Der skal samtidig argumenteres for "*at transporten ikke med rimelighed kan kræves gennemført på anden måde.*" jf. §16 stk. 1. Der skal desuden hyres ledsagebiler ved overskridelse af § 36 stk. 1 "*Særtransporter, hvis samlede længde eller bredde overstiger henholdsvis 30,00 m og 3,65 m, på motorvej dog 4,00 m, skal være assisteret af en ledsagebil.*" Frihøjder på danske motorvejsbroer er mellem 4,00 og 4,50 m, hvilket der skal tages højde for ved transport af moduler fra fremstillingssted til byggeplads (Vejdirektoratet 2014).

5.2.4 Permanent vs. midlertidigt modulbaseret byggeri

Modulbaseret byggeri kan anvendes både til midlertidige og permanente byggerier. Den midlertidige løsning er muligvis en af grundene til, at det første mange vil tænke på – i forbindelse med modulbaseret byggeri - er skurbyer på byggepladser eller midlertidige boliger til studerende/flygtninge, og derved undervurdere dets anvendelsesmuligheder. Den permanente løsning er færdige projekter, som samles til et hele på pladsen og som ikke er beregnet til at blive flyttet rundt. I USA har man haft erfaring med at benytte modulbaseret byggeri til midlertidigt domicil i tilfælde af akut behov, som ved stormen Katrina. Her blev et hospital ødelagt af orkanen, og man valgte at anvende modulbaseret byggeri til at skabe et midlertidigt hospital indtil det var muligt at opføre et nyt (Eagle 2014). Det er dog ikke kun her, at det modulbaserede byggeri finder praktisk anvendelse. Det kan også være muligt at udskifte beskadigede moduler, eller pille enkelte moduler ud af byggeriet til renovering, for at sikre, at et renoveringsarbejde har mindst mulig indflydelse på bygningens brugere - det er også netop denne funktion, som man har valgt til projekt Grønne Etablissementer (GE) på Aalborg Kaserne. Det er i praksis en hybrid mellem det permanente og midlertidige byggeri; permanent i den forstand, at kvalitet, holdbarhed og energiklasse kan leve op til 2020 krav i BR15; midlertidigt i den forstand, at det skal være muligt at flytte moduler til andre kaserne efter behov.

5.2.5 Begrænsninger ved modulbaseret byggeri

Anvendelsen af modulbaseret byggeri har af gode grunde sine begrænsninger i forhold til, hvilken størrelse projekter det kan bruges til. Der eksisterer lovmæssigt en begrænsning i, at der kun må bygges modulbaseret byggeri i 4 etager på grund af brandkrav da modulerne udføres som trækonstruktioner. Det modulbaserede byggeris egne fordele sætter desuden visse begrænsninger, i og med at der er en nedre grænse for, hvornår det for modulproducenterne er rentabelt at udføre et byggeri. Det er også essentielt for modulbaseret byggeri, at der er mange ensartede rum i en bygning. Dette skyldes at standardiseringen af løsninger i modulbaseret byggeri er en af de faktorer der spiller ind, i forhold til at reducere produktionstiden og dermed også omkostningerne. Des flere ensartede lokaler som indarbejdes i bygningen, jo flere gentagelser vil der være i fremstillingsprocessen, og derved øges effektiviteten i produktionen, som følge af at der skal omstilles færre gange i løbet af processen. Samtidig egner modulbaseret byggeri sig ikke til byggerier, som kræver store åbne rum, idet der ikke er den samme stabilitet i modulbaserede byggerier, som ved traditionelt byggeri i beton, der tillader store bærende søjler og bjælker.

5.3 Opsamling

Det modulbaserede byggeri rummer altså en række fordele, som er med til at effektivisere og øge produktiviteten, samtidig med, at man har bedre vilkår og muligheder for at opnå den bedst mulige kvalitet i byggeriet ved at undgå fejl og mangler.

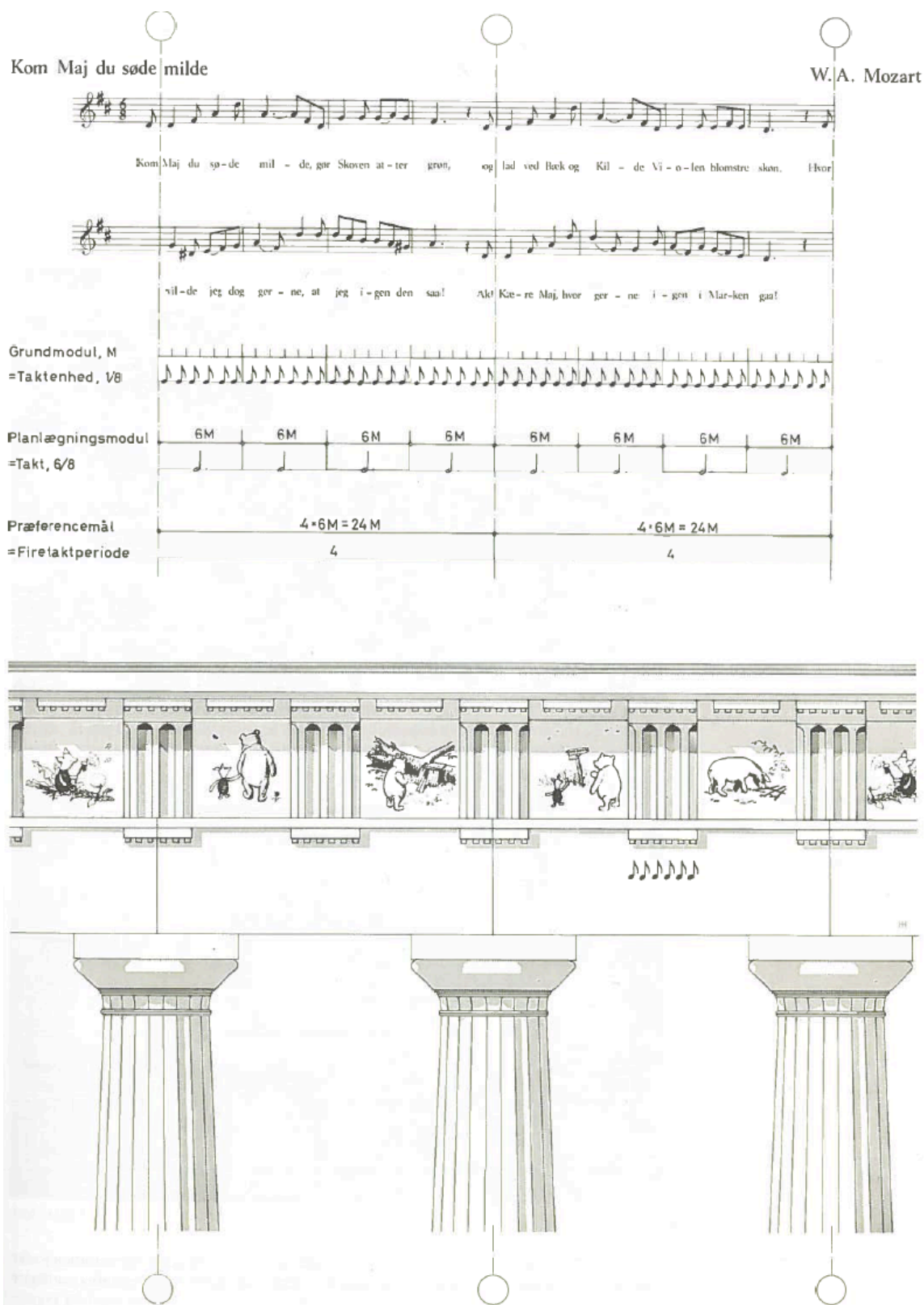
Fordele ved modulbaseret byggeri	Ulemper ved modulbaseret byggeri
<ul style="list-style-type: none">- Forkortet byggeproces- Mindre arbejdskraft nødvendig- Tidligere fastlåsning af design- Færre ændringer undervejs- Forbedret arbejdsmiljø- Mindre arbejde "on-site"- Færre forstyrrelser fra vejrlig- Materialer opbevares tørt- Større grad af Lean implementering- Mindre grad af kompleksitet- Reducering af risiko- Muligt at udskifte moduler/genbrug	<ul style="list-style-type: none">- Begrænset arkitektonisk udtryk- Ikke tolerant overfor ændringer- Lovmæssige begrænsninger- Transportbegrænsninger- Standardiserede løsninger er sværere at "sælge" til kunde/bygherre

Tabel 5.1 – Fordele og ulemper ved modulbaseret byggeri

Gennem den litteratur, som har været tilgængelig står det klart, at fordelene opvejer ulemperne ved modulbaseret byggeri. Der er således ikke identificeret nogle ulemper, som ikke kan elimineres eller i mindste fald begrænses gennem dygtig planlægning af udførelsen. De ulemper som ikke vil kunne reduceres ved planlægning er modulbaseret byggeris æstetiske fremtoning, hvilket ikke nødvendigvis yder retfærdigheder for de muligheder modulbaseret byggeri har. Gentagelser i byggeriet kan både være til fordele og ulempe for byggeriet jf. Henrik Nissen, som i sin bog om montagebygger nævner paralleller mellem musikken og arkitekturen. Det skal forstås, at de gennemgående modullinjer i byggeriet er med til at skabe harmoni og rytme, ganske som man ser det på et nodeark, der ligeledes er delt ligeligt op med taktstreger, hvor noderne og deres rytme udfylder arket i faste intervaller (*Figur 5.3*). Dermed er det op til den enkelte modulproducent og dennes arkitekt at sikre en variation, ligesom en komponist skal sammensætte noderne i et harmonisk sammenspil (Nissen, Montagebyggeri 1984).

Manglen på de kritiske vinkler på modulbaseret byggeri i den aktuelle litteratur, skal nok til dels tilskrives de organisationer, og de forfattere der står bag den litteratur som danner baggrund for informationen. Det må nødvendigvis ikke være i interesse for en forsamling som International Group for Lean Construction at beskrive tiltag, der har relevans for Lean Construction som en negativ faktor i byggeriet. Dog skal det nævnes at alle de positive resultater, som danner baggrund

for litteraturen, har vist sit værd i forhold til det traditionelle byggeri, hvorfor beviste fordele ved det modulbaserede byggeri må være relevante uanset afsender, dog indlejret en sund skepsis.



Figur 5.3 - Modulbaseret byggeri og Noder

6 Undersøgelse af modulproducenterne

For at kunne tage stilling til, hvordan det vil være mest optimalt at udføre et modulbaseret byggeri, har interviews med modulproducenter været med til at identificere, hvordan de tilrettelægger deres produktion, og hvornår de mener, at det er mest fordelagtigt at blive inddraget i et projekt. Afsnittet er udarbejdet på baggrund af interviews med BM Byggeindustri A/S (BM Byg) og Scandi Byg A/S, som fremgår af Appendiks 4. Modulproducenternes gennemgang af egne arbejdsmetoder skal være med til at besvare spørgsmålet om, hvor vidt pilotprojektet (GE) Etablissementer er med til at give et billede af udviklingen inden for modulbaseret byggeri.

6.1 Modulproducenternes arbejdsmetoder og projektstruktur

INDLEDNING

6.1.1 Arbejdsmetoder

Både Scandi Byg og BM Byg har arbejdsborde og stationer til produktion af modulerne samt løfte og hejseudstyr, som sikrer minimalt behov for at udføre løft. Dette sikrer både en god arbejdsposition samt en reduceret risiko for ryg- og muskelskade for håndværkerne. De to modulproducenter har ligeledes meget fokus på, at der ikke skal være ændringer undervejs i byggeprocessen. De løser den udfordring ved at sikre, at bygherre og/eller deres arkitekter har taget stilling til alle beslutninger vedrørende finish, indretning og placering af alle elementer helt ned til stikkontakter, og at de gør dette inden de sætter gang i forberedelserne ude på pladsen. På den måde sikrer de sig, at alle arbejdstegninger er udført nøjagtig som de skal være. Også på produktionsfronten har man sikret sig størst mulig lighed med andre produktionsindustrier ved at have en klar afgrænsning af produktionens arbejdsstationer og sørge for, at elementerne kan flyttes fra station til station vha. hejseudstyr i naturlig rækkefølge

6.1.2 Modulproducenternes projektleveringsmodel

Projektleveringsmodellen beskriver, hvordan de to modulproducenter håndterer deres projekter fra de har vundet licitationen til de afleverer.

Både BM Byg og Scandi Byg har en tilbudsafdeling, der sørger for at identificere projekter, som har et potentiale til at blive opført som modulbaseret byggeri, eller udbydes som modulbaseret byggeri ved licitation. Modulproducenterne byder som udgangspunkt på projekter i alle entrepriseformer, og de deltager i offentlige såvel som private eller indbudte licitationer. Det er dog hovedsageligt ved offentlige licitationer, hvor det giver mening for de to modulproducenter at afgive tilbud ifølge deres eget udsagn.

Efter et projekt er vundet, skal rådgiverprojektet, uanset projektets entrepriseform, brydes ned af virksomhedens projekteringsafdeling, for at udarbejde arbejdstegninger til hvert modul. Det gør de for at sikre, at tegningerne passer til den måde de producerer modulerne. Scandi Byg lægger særligt vægt på, at projektet skal gøres "Scandi Bygbart", hvilket de sikrer bedst muligt ved selv at udarbejde arbejdstegninger, som tager højde for alle elementer i modulet. For hvert modul

udarbejder Scandi Byg et særligt KS-skema, mens BM Byg har en certificeret KS-mand i hver hal. Begge tiltag sikrer, at kvaliteten er i orden for alle moduler, og at leveringen sker uden fejl.

BM Byg sørger for at sende alle funktionærer på Lean kurser og arbejder på at få implementeret Lean i deres produktionsapparat. Scandi Byg anvender ligeledes Lean filosofierne - dog uden at være certificerede inden for Lean. Både BM Byg og Scandi Byg anvender Just In Time (JIT) leveringsmodel for at sikre, at de ikke har unødvendige mængder af materialer på lager.

Mens modulerne fremstilles støbes fundamentet på pladsen, så det står klar til at modtage de første moduler, hvilket medfører en kortere udførelsesfase, som følge af det parallelle udførelsesforløb. Under optimale forhold er modulerne 80 – 90% færdige når de forlader fabrikken. På byggepladsen monteres modulerne, bygningen færdiggøres med samlinger, tilkobling af el, VVS og ventilation. I nogle tilfælde monteres klimaskærmen også på pladsen, hvis der skal skalmures, eller der skal monteres anden tung facadebeklædning. BM Byg monterer helst over 2-3 dage og monterer kun på dage med tørvejr for at sikre, at der ikke kommer fugt i bygningen under montage. Hvad angår fagfolk, så har Scandi Byg alle fag ansat med undtagelse af betonfolk, mens BM Byg, som udgangspunkt, kun har tømrere fastansat, og hyrer resten af fagfolkene ind som underentreprenører, der arbejder side om side med deres egne fagfolk i produktionshallen.

6.1.3 Entrepriseform

Både BM Byg og Scandi Byg giver udtryk for, at den mest fordelagtige entrepriseform er en totalentreprise. Totalentreprisen med dens tidlige udbudsform passer godt ind i modulproducenternes projektleveringsmodel, eftersom de her er ansvarlige for både programfase, projektering og udførelse. På den måde kan de afgive tilbud på baggrund af et skitseprojekt, som de selv har været med til at udvikle i samarbejde med en arkitekt, de har hyret til projektet. Hvis skitseprojekt og tilhørende tilbud vinder licitationen, kan de straks påbegynde detailprojekteringen og sende moduler i produktion. Gennem program- og projekteringsfasen ser de to modulproducenter fordelene i at sidde med ved bordet og styre processen. Dette giver dem indflydelse på projektets design, det statiske system og de valgte løsninger. Fordelen består i, at de kan få udformet et byggeri, som er skræddersyet til det modulbaserede byggeri, hvor modullinjerne passer til hver deres kasse, der skal udgøre et modul. Dette vil medføre at den størst mulige andel af projektet, kan produceres i fabrikshaller. Hermed mindskes arbejdet på byggepladsen og de uforudsigelige elementer i form af vind, nedbør og lave temperaturer. I forbindelse med projekteringen vil der også være tid at spare, idet modulproducenterne ikke skal vente på, at tegningsmateriale skal frigives fra en bygherreansat arkitekt, inden de kan gå i gang med at projektere. Både bygherre og arkitekt bliver dermed også nødt til at tage stilling til alle byggeriets detaljer meget tidligt i projektet, hvilket mindsker arbejdstiden af projekteringen idet der tillades færre ændringer undervejs.

BM Byg giver tilsagn om, at det mest fordelagtige vil være at indgå i developerprojekter, hvor de selv kan være med til at skabe projektet. Både de og Scandi Byg er dog klar til at indgå som hovedentreprenør eller blot som leverandører, men holder sig fra fagentrepriser og vil helst undgå at have for mange håndværkere til stede på selve byggepladsen.

6.1.4 Byggeriets omfang

De byggeprojekter som BM Byg og Scandi Byg afgiver tilbud på, skal have en størrelse, som gør det muligt at få gavn af gentagelseeffekten. Dette er vigtigt idet produktionstiden for hvert modul, kan afkortes markant i løbet af produktionsfasen ifølge deres udsagn. Begge modulproducenter fortæller, at de i den første uge af et projekt producerer 5 moduler, mens de i den sidste del af projektet producerer op til 15 moduler om ugen. Det er derfor de første moduler, som er de dyreste at producere i forhold til, hvor meget arbejdstid og faste udgifter det kræver at producere dem. Af samme årsag er hverken BM Byg eller Scandi Byg interesserede i projekter under værdi under 15 millioner, og de vil helst byde på projekter over 30 millioner. Det er først i denne størrelsesorden, at de projekter bliver rentable i forhold til produktionsomkostninger, hvilket også udelukker byggeri af enkelte husstande.

6.1.5 Byggeriets udformning

Samtidig med, at byggeprojektets omfang skal leve op til en vis størrelse, er det også en fordel at udformningen passer til BM Bygs og Scandi Bygs projektleveringsmodel, og herved udnytter den optimalt. Ifølge modulproducenterne skal de projekter, der bydes på være bygbare med modulbaseret byggeri. Byggeprojekterne skal derfor være udformet således, at de kan opdeles i moduler, som kan overholde kravene til de maksimale mål for, hvor stor en last man må køre med på vejene, som ifølge BM Byg er 5 meter i bredden, 12,1 meter i længden og 3,5 meter i højden. Derudover må byggeprojektet maksimalt have 4 etager, da der i Danmark ikke må bygges højere med trækonstruktioner. Derfor er større entrepriser for boligforeninger den type byggeri, som modulproducenterne laver mest af, da disse byggerier har en stor gentagelseeffekt, og samtidig er nemme at opdele i moduler.

6.2 Modulproducenternes tilgang til byggeriet ift litteraturen

INDLEDNING

6.2.1 Er der kongruens mellem litteraturens forslag og fordele ved modulbaseret byggeri og den måde BM Byggeindustri/Scandi Byg arbejder på?

Generelt anvender både BM Byg og Scandi Byg metoder som stemmer overens med, hvad teorien foreslår og der er fokus på kvalitet, hurtig levering og forbedrede arbejdsvilkår for håndværkerne. Især Scandi Byg har taget industrialiseringen til sig, og er ved at forbedre den maskinelle del af sit produktionsapparat. Der er én ulempe i forhold til modulproducenternes evne til at øge produktiviteten og evne til at holde en konstant effektivitet. Gentagelseeffekten kræver som det ser ud for de to producenter, at de bliver nødt til at holde sig til projekter over 15 mio. kr. og helst over 30, hvilket sætter en begrænsning for størrelsen af de projekter de kan deltage i, hvilket igen begrænser antallet af opgaver.

6.2.2 Hvordan passer modulbaseret byggeri sammen med den traditionelle tilgang og entreprisformer.

Modulbaseret byggeri kan ifølge de to modulproducenter BM Byg og Scandi Byg indgå i tre konstellationer for byggeri – totalentreprise, hovedentreprise og som leverandør. Den største forskel for modulproducenterne er hvilket ansvar, de har for det samlede byggeri. BM Byg gør det klart, at de vil sørge for at udlicitere alt arbejde, som ikke hører under produktion af modulerne og, at de så vidt muligt vil begrænse sig udførelsesmæssigt til at levere og montere modulerne. Den strategi passer med deres relation til håndværkerne inden for de forskellige fag, som hyres ind udefra, hvorved de kan overdrage meget af ansvaret til underleverandører. Scandi Byg sørger derimod for, at de har alle fag ansat foruden sprinkling og andre opgaver, som ikke er en standard del af deres modulkomponenter. Ligeledes sørger de for, at den projektansvarlige får et satellitkontor på byggepladsen for dermed at kunne følge med i monteringen på pladsen. Til trods for at de to modulproducenter udfører deres projekter på forskellig vis, er de dog begge enige om, at de gerne vil være med så tidligt som muligt i projektet. De er derved at sammenligne med traditionelle entreprenører, som også varierer i, hvilke entrepriser de kan udføre med deres egne fagfolk for at reducere antallet af underentreprenører og kontraheringer. Samlet set er det derved bygherrens erfaring med byggeri og ønske om en ansvarsplacering, som afgør hvilken entreprisform bygherren vælger. Sidst men ikke mindst har bygherre dog også mulighed for at vælge en fagentreprise og stadig beholde modulbaseret byggeri, såfremt det er muligt at finde leverandører, som kan levere modulbaseret elementer for en eller flere entrepriser, som kun mangler at bliver koblet sammen på pladsen. Valget af modulbaseret byggeri er derved ikke en udelukkelse af de traditionelle entreprisformer, det vil blot være leverandører og eller producenter af moduler/modulbaseret byggeri frem for de traditionelle entreprenører, som afgiver tilbud og udfører byggeriet.

6.2.3 Hvor "biased" er de to modulproducenter i deres tilgang til byggeriet?

BM Byg og Scandi Byg er begge meget opmærksomme på, at de selv skal projektere og tegne selv for at de kan sikre en optimal udførelse af byggeriet, og er af den holdning, at jo mere COWI får tegnet og projekteret des mere vil de være nødt til at tegne om, hvis de vinder en licitationen når projektet udbyde. Det bør dog ikke udelukkes, at COWI som rådgivende ingeniør, vil være i stand til at tegne et projekt, der kan udføres direkte af den modulproducent, som vinder licitationen, eller med nogle mindre ændringer. Det er trods alt ikke nyt for ingeniørrådgivere at tegne arbejdstegninger - forskellen ligger blot i hvordan byggeriet udføres. Det er dermed ikke utænkeligt, at BM Byg og Scandi Byg vil forbeholde sig retten til at tegne mest muligt selv med henblik på at kunne få gavn eller fortjeneste for tegnearbejdet oven i udførelsesarbejdet.

6.2.4 Sammenlagt

Samlet set består den mest åbenlyse forskel fra det traditionelle byggeri til modulbaseret byggeri i, at projektet skal udføres anderledes og at graden af industrialisering i byggeriet er højere ved modulbaseret byggeri. Der kan anvendes mange elektroniske og automatiserede hjælpemidler på en byggeplads, men der vil ikke være samme struktur og strømlining i udførelsen, som man opnår med en fast defineret produktionslinje i en fabrikshal. BM Byg og Scandi Byg giver udtryk for ikke at være i stand til at udføre fagentreprise, men derudover er den traditionelle udbuds- og licitationsproces stadig anvendelig, dog med væsentlige fordele ved et tidligt udbud. Grundlaget for fordelene ved et tidligt udbud ligger dels i, at det dermed er muligt at optimere byggeriet til modulbaserede processer langt tidligere i processen og dels for at sikre, at den udførende kan tilpasse byggeriet til egen produktionslinje. Den begrænsning som begge producenter møder i størrelsesordenen på projekterne, er BM Byg muligvis ved at afhjælpe gennem standardiseringen af enheder og optimering helt ned til enkelthuse.

7 Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelses projekt Grønne Etablissementser

Projektet som danner ramme for denne granskning af industrialiseringen i byggebranchen gennem modulbaseret byggeri, er Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelses (FES) projekt Grønne Etablissementser (GE). En del af projektets vision er, at det skal danne ramme om et udstillingsvindue for byggeindustrien, som derved har mulighed for at fremvise de nyeste tiltag indenfor byggeri. Her kom modulbaseret byggeri ind i billedet som en mulig måde at industrialisere byggebranchen. Det er denne del af GE som er interessant for nærværende rapport.

Arbejdet i program-, projekterings- og udførelsesfaserne vil blive beskrevet sammen med den del af byggeprogrammet, som handler om det modulbaserede byggeri. Afslutningsvis vil FES og rådgiverkonsortiets efterfølgende tanker om projektet blive berettet. Dette vil sammenlagt danne grundlag for en konklusion som besvarer spørgsmålet problemformuleringen: "I hvilket omfang er GE med til at give et billede af udviklingen indenfor modulbaseret byggeri og industrialiseringen af byggebranchen". Derudover vil kapitlet give et billede af, hvor vidt bygherrer og rådgivere i byggebranchen ved, hvordan modulbaseret byggeri benyttes optimalt og hvor vidt projektet giver gode betingelser for at tegne dette billede. Kapitlet er skrevet på baggrund af Appendiks 5, 6 og 7 samt Bilag 1, 2, 3 og 4.

7.1 Projektets faser

GE har som andre projekter en program- projekterings- og udførelsesfase. I det følgende afsnit vil aktiviteterne i de tre faser blive beskrevet med udgangspunkt i det modulbaserede byggeri.



Figur 7.1 – Projekt Grønne Etablissementsers faser

7.1.1 Programfasen

Programfasen indeholder et ideoplæg fra FES, udvælgelse af rådgiverkonsortium og en udarbejdelse af et byggeprogram.

Ideoplæg fra FES

Det blev besluttet fra FES' side at gøre ideoplægget så begrænset som muligt, da de vil give rådgiverkonsortierne frie ramme til at være innovative. Det første konkurrenceforslag skulle indeholde følgende:

- Et forslag til **en samlet, rummelig masterplan**, som afspejler et overordnet koncept for det langsigtede arbejde med ressourceoptimering og miljømæssig bæredygtighed på etablerementet. Masterplanen skal derudover omfatte en geografisk udpegning af de foreslåede fysiske projekter/investeringer.
- Konkrete forslag til investeringer i **udvalgte fysiske demonstrationsprojekter** (nye og eksisterende bygninger samt evt. andre fysiske anlæg) op til den reservede budgetramme. De foreslåede fysiske projekter skal visualiseres på passende vis og værdisættes i form af anskaffelsessummen for hvert enkelt af de fysiske projekter. Anskaffelsessummen omfatter alle udgifter i forbindelse med realisering af projekterne, herunder også rådgivning.
- En opgørelse af de forventede **reduktioner** som følge af de foreslåede investeringer i de udvalgte fysiske projekter samt evt. andre forslag (inden for den samlede budgetramme), som er omfattet af besvarelsen. De forventede reduktioner dokumenteres og angives pr. bygning/anlæg/tiltag.
- **Redegørelser** og bilag, i det omfang de er nødvendige, for at give FES og bedømmelseskomitéen en tilstrækkelig forståelse for forslaget, idéerne bag det og de forventede effekter af det.

Udover hvad projekterne skulle indeholde, var der også opgivet en budgetramme på 135 mio. DKK for projektet på Aalborg Kaserne samt en række forslag til tiltag, som kunne overvejes i forbindelse med udviklingen af nybyggeri til kaserne:

- Udvikling af redskaber til at vurdere, hvornår eksisterende bygninger bør fjernes.
- Opførelse af nye bygninger som passivhuse, 0-huse og aktivhuse.
- Test af fleksible multifunktionsbygninger.
- Præsentation af det arkitektoniske udtryk.

Udover de nævnte elementer som forslaget skal indeholde, bør der indtænkes og redegøres for forskellige samarbejds- og/eller entreprisformer for håndteringen af projektering- og udførelsesfasen.

På baggrund af ovenstående får FES et projekt, hvor en stor andel af ansvaret og den samlede projektudformning er lagt over til rådgiverne. Samtidig er der rig mulighed for rådgiverne til at udvikle et projekt, som kan vise branchen fra sin stærkeste side med hensyn til innovation. Dette konkluderes på baggrund af bl.a. rådgivernes mulighed for at vælge den samarbejds- og/eller entreprisform, som er mest optimal.

Udvælgelse af rådgiverkonsortium

I fase 1 (*Figur 7.1*) er fem konsortier blevet prækvalificerede til opgaven, hvor man i udbuddet har valgt et bedømmelsværktøj, indeholdende tre punkter som alle skal være opfyldt og behandlet. De tre punkter går på:

- Udstillingsvindue til industrien (25%)
- Ressourcevalg og- forbrug (50%)
- Strategien for udførelse (25%)

De tre bedste af de fem konsortiers forslag blev inviteret til yderligere forhandling og optimering inden det endelige forslag blev valgt. Kriterierne i udbuddet er blandt andet valgt for at sætte fokus på, at Forsvaret, som en stor virksomhed, har et højt ressourceforbrug. Samtidig ønsker man at fungere som forbillede for byggeindustrien, ved at give leverandører muligheden for at vise deres formåen og lade deres evner kommet til udtryk. Dette kommer blandt andet til udtryk ved, at rådgiverkonsortiet har fået mulighed for at indtænke demonstrationsprojekter i deres projektforslag, som skal være med til at danne ramme for nytænkning og innovation i forhold til at sænke energiforbruget gennem grønt byggeri. Energirenoveringen er et led i Forsvarets klima- og energistrategi, som indeholder et mål om, at 50 % af alt nybyggeri skal være lavenergi og 50% skal være bæredygtigheds certificeret. Sidst men ikke mindst ønsker Forsvaret, at byggeriet skal være med til at give et billede af, hvordan fremtidens kaserne kan se ud. På baggrund af disse projektilpasninger forhandles der en kontakt på plads med et af konsortierne. Den endelige tildeling af projektet er faldet på et konsortium med COWI A/S i spidsen sammen med arkitektfirmaerne NORDS A/S og ADEPT ApS samt GBH landskabsarkitekter. Vurderingen af de 5 konsortieters forslag samt udvælgelsen af først 3 projekter og senere det endelige projekt er foretaget af en bedømmelseskomite sammensat af FES. Bedømmelseskomiteen består af repræsentanter fra Forsvaret, fagdommere udpeget af arkitekt og ingeniørforeninger samt bygherrerådgiver NIRAS A/S.

FES beskriver selv denne rådgiverudbudsform som et funktionsudbud.

Udarbejdelsen af byggeprogrammet

Byggeprogrammet er udarbejdet i samarbejde mellem FES med bistand fra deres bygherrerådgiver samt rådgiverkonsortiet på baggrund af det vindende projekt, som har dannet rammen for projektering og udførelse.

7.1.2 Projekteringsfasen

I denne fase udformes hoved og detailprojektet således, at det kan udbydes til de udførende entreprenører i hovedentreprise. COWI konsortiet står for projekteringen, og FES er med på sidelinjen for at sikre at der ikke projekteres noget, som ikke var aftalt i forbindelse med forhandlingerne eller beskrevet i byggeprogrammet. Derudover er FES også med til at bestemme, hvilke dele af projektet der skal lægges ekstra tid i at udvikle. FES har vurderet at det ligger inden for COWIs budgetramme og tidsplan at stå for udvikling og projektering af den modulbaserede løsning. COWI ville i den forbindelse have tilkøbt en byggevirksomhed, som arbejder med modulbaseret byggeri, i en form for totalentreprise. Dette afviste FES da de vil være sikre på at kunne placere et ansvar. De vurderede at det ville være svært at placere ansvaret, hvis en entreprenør kom med et projektforslag indeholdende deres egen udformning, detailprojektering

samt materialevalg og der indtraf komplikationer - hvem har så ansvaret: Entreprenør eller Rådgiver? På baggrund af dette blev COWI bedt om selv at stå for projekteringen. FES er samtidig glad for det modulbaserede byggeri og har lagt pres på for at få det udviklet således, at det i fremtiden kan være en mulighed at benytte dette på verdensplan for det danske forsvar. Dette har medført at FES har bemidlet mange penge efter at få udviklet den flytbare løsningen. I skrivende stund afventer FES' projektleder det færdige hovedprojekt fra COWI konsortiet, som beskriver hvordan kredsløbsmodulerne skal udformes ift. konstruktioner, installationer, samlinger mellem de enkelte kredsløbsmoduler og ikke mindst tilkoblingen til rygraden. Hovedprojektet afleveres til august.

7.1.3 Udførelsesfasen

I skrivende stund er detailprojektet under udarbejdelse og er endnu ikke udbudt til entreprenørerne. Efter en myndighedsbehandling af projektet udbydes projektet som hovedentreprise sidst på året.

7.2 Grønne Etablissements udformning og omfang på baggrund af byggeprogrammet.

I det følgende afsnit vil relevante elementer i byggeprogrammet blive pointeret. Disse elementer er udvalgt på baggrund af deres relevans for rapporten, og omhandler derfor den modulbaserede del af GE.

Projektets omfang:

COWI konsortiets vindende projekt foreslår en løsning som tilgodeser Forsvarets behov for at flytte enheder alt efter, hvor der er behov for dem. Dette består af en fast kerne, der danner rygrad for en multifunktionsbygning, og et kredsløbsbyggeri bestående af moduler, som kan kobles af og flyttes geografisk til andre Rygrader, alt efter behov. Således kan Forsvaret minimere antallet af tomme bygninger på den enkelte kaserne og udnytte deres bygninger bedst muligt. Multifunktionsbygningen består af et samlet areal inklusiv de tilhørende moduler på 3262m².

Rygrad:

Rygraden er tiltænkt som en permanent bygningskrop, der er fleksibel indretningsmæssigt, forberedt til udbygning med moduler og sammensat af et simpelt byggeteknisk system, hvor dele af klimaskærm og facadeelementer kan demonteres uden indflydelse på bygningens konstruktive virkemåde.

Kredsløb:

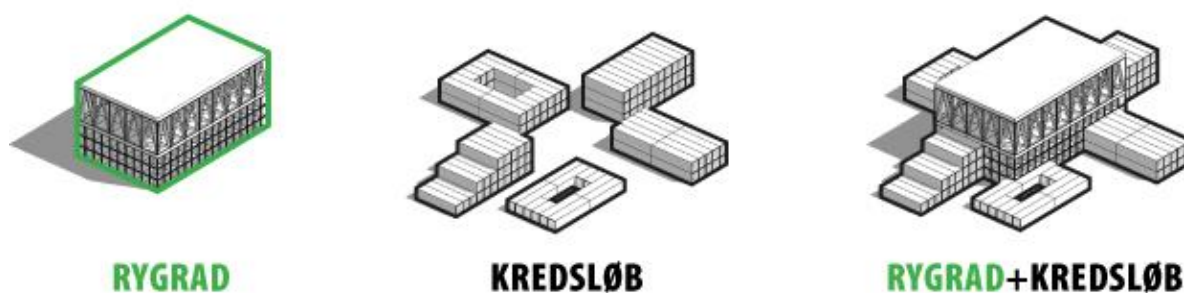
Kredsløbslementerne er flytbare og modulære bygningsmoduler, som geometrisk er udformet svarende til en Hi-cube containier (indvendige mål: højde = 2,7 m, bredde = 2,4 m, længde = 12,0 m). Geometri og system passer med nationale og internationale standard-produktionsmetoder i industrien og gør almen transport mulig mht. flytning på lastbil, containerskib o. lign. hvor almindeligt løfte- og montageudstyr kan anvendes.

Facader:

Klimaskærmen for både kredsløb og rygrad er foreslået som HS-Hansens modulbyggede facader – Hansen UnitAL. Elementerne præfabrikeres og såvel glasarealer, isolerede udfyldninger som indvendige og udvendige overflader kan frit vælges. Hansen UnitAL er testet efter markedet strengeste krav, udviklet efter gældende samt fremtidige energikrav og tæthedskrav, og således BR10 krav til energiklasse 2020.

Facadeelementerne monteres i montagebeslag fastgjort til det bagvedliggende konstruktive system, som i rygraden udgør et bærende søjle-bjælke-dæk system for kredsløbet – den bærende konstruktive ramme i modulerne.

For kredsløbsmodulerne arbejdes der med et opstillingsmelletrum indskudt mellem de enkelte moduler. Dette blandt andet af hensyn til fleksible installationsføringer og lydisolering. Opstillingsmelletrummet medfører blænd partier i facaden, som muliggør montage og demontering af klimaskærmselementerne uden at skulle flytte overliggende facadeelementer. Samme princip overføres til rygraden, hvor et facadeelement således kan demonteres ved tilslutning af supplerende kredsløbsmoduler.



Figur 7.2 - Illustration af "Rygrad" og "Kredsløb" (Bilag 1)

7.3 FES' og rådgiverkonsortiets tilbageblik på projekt Grønne Etablissementser

I forbindelse med de tre interviews med en tidligere og en nuværende projektleder på projekt GE samt ansat i FES og tidligere ansat i en af rådgiverkonsortiets parter, har de interviewede fået muligheden for at se tilbage på projektet og dets udvikling. De har dermed kunne tage stilling til om de mener, at projektet har forløbet bedst muligt, hvor vidt den færdige løsning lever op til deres oprindelige ønsker og krav, samt hvor vidt Forsvaret aktivt kommer til at å gavn af den modulbaserede løsning, når projektet er færdigt. Dette indebærer også en refleksion over de beslutninger og valg der er truffet fra projektstart frem til 19. Maj 2016.

7.3.1 Interview med tidligere projektleder fra FES

Projektlederen mener, at den rigtige måde hvorpå det modulbaserede byggeri skulle være håndteret og udbudt som en totalentreprise. Dette ville ifølge ham give det bedste billede af modulbaseret byggeri til udstillingsvinduet og samtidig skabe mest mulig værdi for FES. Projektlederen har dog tidligere afvist at arbejde efter totalentreprise da det her kan være svært at placere et ansvar, hvis noget skulle gå galt. Dette kunne ifølge projektlederen være løst ved at COWI indledningsvist, sammen med deres forslag om at have en entreprenør med, i projekteringen havde udarbejdet en handlingsplan for, hvordan de ville sikre at projektet lever op til FES' krav og ønsker samt et kontraktudspil, som havde sikret at COWI står med projekteringsansvaret. Da dette ikke var tilfældet blev der indgået en kontrakt med COWI på detailprojekteringen, som senere bliver udbudt som en traditionel hovedentreprise.

Projektlederen ser også indad mod FES' egen håndtering af sagen. Han forventer ikke at den flytbarhed som er tiltænkt projektet vil blive anvendt. Projektlederen vurderer, at der er blevet brugt for mange penge på udviklingen og projekteringen af en flytbare løsning som muligvis ikke vil blive brugt.

Projektlederen vurderer dog afslutningsvis at FES' har fået hvad de har bedt om og, at projektet lever op til de krav og forventninger de havde inden det blev påbegyndt. Derudover vurderer Projektlederen også, at FES har gjort et godt stykke arbejde med hensyn til at være kritiske overfor projektet og herved fået skåret tiltag fra, som ikke vil være økonomisk rentable.

7.3.2 Interview med repræsentant for COWI konsortiet

Det første som slår repræsentanten er hvor vidt Forsvaret overhovedet vil få brugt den flytbar løsning. Repræsentanten kan ikke forestille sig at det vil blive benyttet. I den forbindelse mener repræsentanten ikke at FES har været gode nok til at melde ud hvad de vil have, de har bare fået lov til at projektere lidt i bilde og så efterfølgende skulle de lave det om.

Samtidig sætter repræsentanten også spørgsmålstegn ved den endelige modulbaserede løsningen. Under projekteringen har rådgiverne opdaget at der ikke kan benyttes skruefundamenter, da de bliver nødt til at være voldsomt store for at klare lasten ved fuld

tilkobling af moduler. Derudover vil det ikke være muligt for Forsvaret selv at flytte rundt på deres moduler, da der ikke er udviklet en direkte "plug and play" løsning. Dette betyder, der skal kontaktes en entreprenør samt en rådgiver hver gang kredsløbsmodulerne skal håndteres, dette skyldes installationernes kompleksitet.

Til sidst påpeges det at den optimale løsning for COWI konsortiet og FES ville være at udføre projektet som en totalentreprise. Dette sagde FES dog nej til, da de allerede havde betalt for en totalrådgiver og ikke ville betale for en entreprenør oveni. Årsagen til at COWI konsortiet ikke selv tilkoblede en entreprenør skyldes, at projektet senere skal udbydes og derfor vil den entreprenør som hjalp med projektet have en fordel. Entreprenører vil næppe dele ud af deres viden til et projekt, hvis de risikerer ikke at få projektet i sidste ende eller betales for rådgivning.

7.3.3 Interview med FES' nuværende projektleder

Projektlederen synes godt om ideen og tankerne bag den flytbare løsning. Projektlederen er dog bekymret for at ledelsen ikke får brugt den flytbare mulighed. Det vil være ærgreligt hvis et tiltag som dette, hvor Forsvaret har lagt forholdsvis mange penge i udviklingen går til spilde fordi man ikke udnytter det. Projektlederen håber at Forsvaret vil bygge flere projekter som dette med rygrader andre steder i landet og prøve det af over en 5-10 årig periode. Forsvaret ligger allerede inde med statistikker for, hvor meget de flytter bataljoner rundt mellem kaserner, og hvilke kaserner der mest flyttes mellem, således at de kan finde ud af, hvor det vil være mest hensigtsmæssige at placeres næste Rygrad. Hvis den flytbare løsning bliver benyttet mener projektlederen at pengene som er brugt på udvikling er givet godt ud. Selvfølgelig skal løsningerne fungere, og det skal være muligt at flytte rundt på moduler uden for mange problemer og for meget arbejde.

Derudover er han bekymret for hvor vidt det hovedprojekt som COWI konsortiet afleverer i august lægger op til, at projektets kredsløb udføres med industrielt fremstillede moduler. Han frygter for at løsningen som fremlægges mht. samlinger og udformninger,, ligger så langt fra hvad entreprenører som repræsenterer modulbranchen kan levere, at det ikke giver et virkelighedstro billede af industrialiseringen ved modulbaseret byggeri. Det mener han at COWI konsortiet kunne have opnået ved at have haft en entreprenør med i projekteringen gennem en totalentreprise.

Han mener også som de to andre interviewede, at projektet med fordel kunne være opført i totalentreprise mht. den modulbaserede løsning, men da projektet blev udbudt var modulløsningen ikke valgt endnu.

8 Analyse

På baggrund af litteraturstudier, virksomhedsbesøg og interviews analyseres det hvordan teorier og produktionsfilosofier, der indgår i industrialiseringen af byggeriet modulbaseret byggeri og den aktuelle case Grønne Etablissementer (GE) kommer i spil. Analysen skal skabe et overblik over, hvilke tiltag der kan anvendes til at forbedre produktiviteten og effektiviteten samt sikre et højt kvalitetsniveau i byggeriet. Det forsøges ligeledes analyseret, hvor vidt der er teorier og produktionsniveauer som kan anvendes i større omfang. Analysen er bygget op i niveauer således at der først analyseres den overordnede industri, siden analyseres det modulbaserede byggeri, herunder BM byggeindustri (BM Byg) og Scandi Byg som virksomhedseksempler, og siden behandles den aktuelle Case. Den første del af analysen benyttes således til at se på, hvordan de enkelte produktionsfilosofier har indflydelse på og får gavn af hinanden. Til at skabe et bedre overblik over analysen benyttes *Figur 8.3* til at opsummere de vigtigste pointer i analysen. Sidste del af analysen behandles de enkelte produktionsfilosofier ift. hvordan de gør sig gældende på de forskellige niveauer.

8.1 Industrialisering af byggeriet

Industrialisering i byggeriet foregår på flere måder alt efter om det er arbejdet på byggepladsen eller det færdigproducerede byggeri der er i fokus.

På arbejdspladsen har man indført maskinelt udstyr i stigende grad for både at effektivisere produktionen og sikre en god sikkerhed. Indførelsen af maskinelt udstyr har været med til at sørge for, at materialer kan flyttes langt mere effektivt end ved håndkraft, mens lifte og hejsestilladser har sikret nemmere tilgang til facadearbejde. Den maskinelle udvikling hører til den praktiske udførelse af byggeriet som letter håndværkernes arbejde og sikrer at de gennem deres arbejdsdygtige tid kan være mere produktive, som følge af færre løfteskader og dermed mindre fravær. Udviklingen i den praktiske udførelsesproces bør dog også akkompagneres med en bedre styring og kontrol af processerne i forhold til at sikre, at arbejdet skrider frem på den mest optimale måde.

Modulbaseret byggeri og modularisering af byggeriet handler om at sikre en mere strømlinet produktion af byggeriet, hvor større dele produceres under kontrollerede forhold. Her minimeres aktiviteterne på byggepladsen væsentligt til hovedsageligt at bestå af levering og montage frem for de traditionelle håndværk.

Det er her produktionsfilosofier som Lean Construction og styringsredskaber som Just In Time (JIT) og Total Quality Management (TQM) kommer på banen. Formålet med disse redskaber er at sikre at det arbejde som skal udføres også bliver udført bedst muligt. Dette sikres ved at sprede håndværkerne ud i byggeriet, kontrollere at flowet af materialer til pladsen ankommer på de rette tidspunkter, og at det maskineri som anvendes kan flyttes rundt på pladsen uden at sætte håndværkerne i fare.

8.1.1 Lean Construction

Eftersom Lean Construction bygger på viden fra produktionsindustrien har man måtte tilpasse teorierne til at passe til byggeriet, som foregår anderledes end klassisk fabrikskonstruktion. Det er stadig værdien der er i fokus med Lean Construction, og man sørger derfor for at reducere unødvendige aktiviteter som ikke tilføjer værdi til byggeriet. En af de største udfordringer man støder på i byggeri er, at alle projekter varierer fra hinanden, samtidig med at der opføres byggeri af midlertidige organisationer. For at tilnærme eliminering af det ekstra arbejde der må opstå heraf, vil Lean Construction søge at leve op til 11 principper for optimering af flow og design i byggeriet (Koskela 1992):

1. Reducering af ikke værdiskabende aktiviteter (spild)
2. Forøgelse af slutproduktets værdi gennem systematisk gennemgang af kundens krav
3. Reducering af variation
4. Reducering af gennemløbstid
5. Simplificering gennem minimering af antal af processer, dele og samlinger
6. Forøgelse af slutproduktets fleksibilitet
7. Forøgelse af processers gennemskuelighed
8. Fokus på kontrol af hele processen
9. Indarbejdelse af kontinuerlig procesforbedringer
10. Balancering af flowforbedring med omdannelsesforbedring
11. Benchmark

Det grundlæggende gennem de 11 principper består i at simplificere byggeriet ved at reducere antallet af processer og ensarte dem sammen med de anvendte komponenter. Des færre dele der skal indgå i byggeriet og jo færre samlinger der skal udføres, des færre muligheder opstår der for at lave spild. Ved at simplificere de enkelte processer, vil det også være muligt at reducere antallet af fagfolk på pladsen, idet kompleksiteten af byggeriet falder i takt med redueringen af antallet af elementer og processer. Der bliver herved mulighed for at benytte multisjak, som ikke kun udfører deres eget specifikke fag, men kan udføre flere forskelligartede opgaver. Groft sagt kan man sidestille simplificeringen og redueringen af processer med et puslespil. Des færre brikker puslespillet består af, jo færre mindre elementer skal identificeres og placeres korrekt, hvilket igen tager kortere tid.

8.1.2 Just In Time

JIT filosofien hænger ubønhørligt sammen med Lean Construction, idet formålet er at sikre mindst muligt oplagring af materialer på byggepladsen og reducere nødvendigheden for transport af materialer. For at leveringen til pladsen skal fungere bedst muligt kræver det, at byggeledelsen har kontinuerligt styr på det arbejde der udføres ude på pladsen. Hvis leveringer ikke kommer frem i tide vil arbejdet gå i stå, og hvis de ankommer for tidligt kan de risikere at stå i vejen for anden udførelse. Med den tidligere nævnte reducere i processer og elementer, kan det blive lettere at planlægge leveringer, og identificere hvor leveringerne skal anvendes. JIT bygger også på en

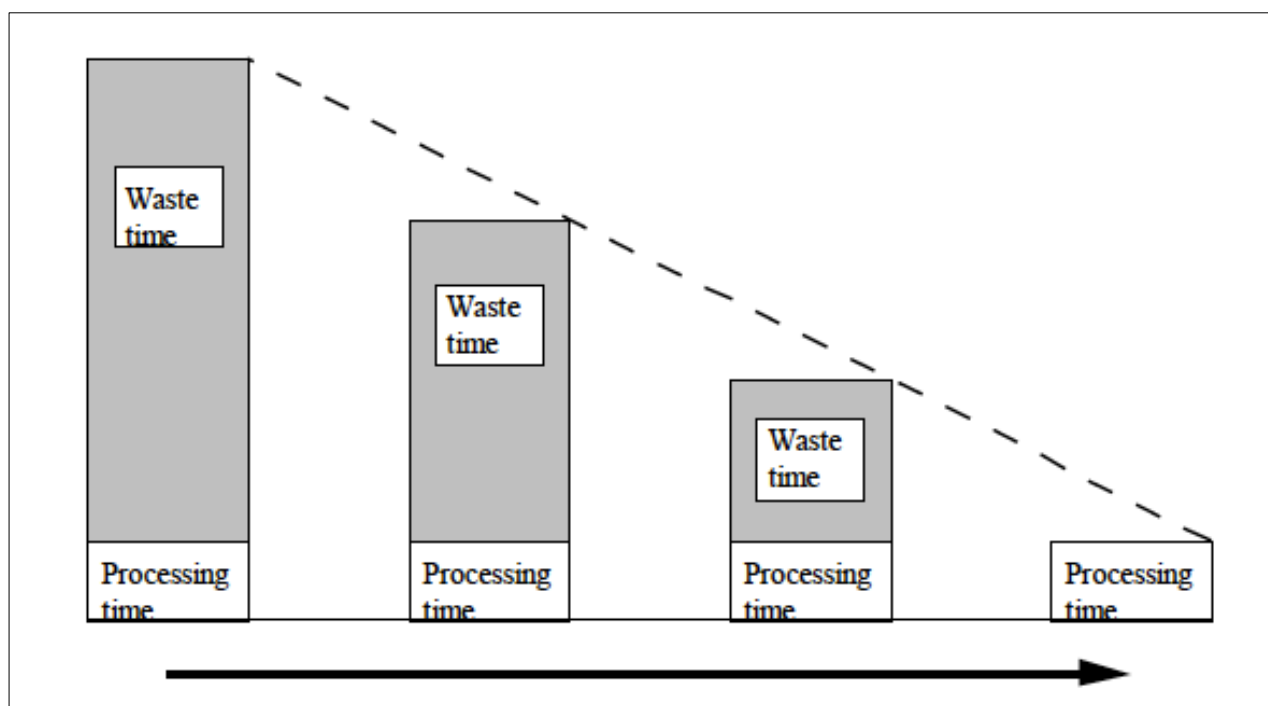
nulfejlsteori, hvilket kræver en nul-fejlsproduktion for at processerne ikke går i stå, hvilket kan afhjælpes gennem Total Quality Management. Desuden kræver det et fokus på at kunden "trækker" fra produktionen frem for, at leverandøren "skubber" materialer ud til kunden – det er hovedsageligt på kundens præmisser, at leveringen foregår. Leverandøren skal derigennem være med til at sikre, at produktion først sættes i gang når der er et behov for det.

8.1.3 Total Quality Management

TQM eller Total Quality Control (TQC) dækker over tre overordnede begreber (Koskela 1992):

1. Udvidelse af kvalitetskontrol fra produktionen til alle afdelinger
2. Udvidelse af kvalitetskontrol fra den enkelte håndværker til også at dække ledelsen
3. Udvidelse af kvalitetsbegrebet til at dække samtlige opgaver i virksomheden/projektet

Som det fremgår af de tre punkter skal kvalitetsbegrebet ikke kun referere til kvaliteten af det udførte arbejde, men inkorporeres i samtlige opgaver forbundet med det enkelte projektet fra top til bund. For at kunne sikre en god kvalitet igennem hele projektet er det vigtigt at indarbejde kvalitetssikring og kvalitetskontrol så tidligt som muligt i et projekt, idet udgifterne til og andelen af ikke værdiskabende aktiviteter vil være mindre, jo tidligere fejl i projektet bliver identificeret. Hvis de enkelte processer er planlagt til at kunne reducere spildtid og dobbeltarbejde, vil der være større chance for at undgå dette end hvis der kun er fokus på de værdiskabende processer.



Figur 8.1 – Reducering af spildtid (Koskela 1992)

Figur 8.1 viser hvordan den samlede procestid kan reduceres gradvist i takt med, at spildtiden elimineres. Des tidligere der tages stilling til ikke værdiskabende aktiviteter i projektet, jo flere af

disse opgaver vil det være muligt at identificere og eliminere gennem planlægning, kontrol og ledelse.

8.1.4 Supply Chain Management

Supply Chain management (SCM) indarbejdes i Lean Construction DK's Håndbog i trimmet byggeri og opstiller to mulige indgangsvinkler til SCM, som de dog vælger at kalde Strategisk Partnering. Forskellen består i hvor vidt bygherren er med i et langvarigt samarbejde mellem deltagende parter i en leverancekæde. Det skal forstås, at bygherren vil se sig selv som en leverandør af bygningen mere end en køber af bygningen, såfremt bygherren indgår i samarbejdet. Som leverandør frem for køber vil bygherre have større fokus på at levere en god service til slutbrugerne frem for udelukkende at fokusere på, at bygge til en lav pris. Et argument for at bygherren bør have større fokus på den samlede service frem for en lav pris, bakkes op med følgende argument:

" Et særligt forhold man bør overveje som bygherre er, at prisen for et erhvervsbyggeri meget sjældent overstiger 5 % af de udgifter, der afholdes til bygningens drift og ikke mindst til de funktioner huset servicerer.

10 % lavere byggeudgift betyder med andre ord blot fem promille på de samlede produktionsudgifter."

Den anden mulighed består i at bygherren sørge for at købe fra teams, som har et bestandigt samarbejde, og har bevist at de kan levere og fortsat udvikler deres samarbejde. Den første mulighed beskrives som en fornuftig løsning for bygherrer, som ofte bygger projekter af ensartet natur. Den anden mulighed menes at være den eneste egentlige mulige løsning pga. udbudsregler, er dog ikke aktuel fordi der jf. (Lean Construction 2012) ikke er den nødvendig efterspørgsel til sådanne samarbejder. Hvis der til gengæld skulle være en kreds af ensartede bygherrer, som skabte efterspørgslen til faste teams, vil man kunne forbedre strømmen af materialer til byggepladsen, idet der vil være bedre mulighed for at kommunikere mellem byggeriets parter. Lean Construction DK refererer til udviklingsprojekterne inden for byggelogistik, som affødte følgende metoder til at optimere logistikken:

- Tidlig udtagelse og bestilling af materialer
- Specificering af materialerne i "units" ("Ikea-pakker") svarende til de enkelte arbejdsopgaver
- Aftale, at forhandleren pakker materialerne i disse units
- Advisere nogle uger forud om forventet afkald af units
- Afkalde endeligt i forbindelse med ugeplanen med levering til den enkelte arbejdsdag.

Disse principper gjorde sig gældende i forsøgsbyggeriet i Ullerød, hvor leverancer blev koordineret udførligt mellem entreprenør og leverandør, og resulterede i en reduceret opførelsestid samt forøget indtjening.

8.2 Modulbaseret byggeri

Det modulbaserede byggeri er som udgangspunkt en del af den industrialiseringen, som foregår væk fra pladsen under kontrollerede forhold. Fordelen ved at sætte produktionen i en systemiseret opsætning og rækkefølge opstår ved, at der kun skal fokuseres på flow af materialer gennem produktionsapparatet. På en byggeplads skal der herudover koordineres arbejdsjak for at sørge for, at de ikke arbejder flere sjak samme sted i byggeriet/på pladsen. Selv når installationsprocesserne går i gang på byggepladsen, vil der være langt mindre arbejde at koordinere, idet de mest komplicerede processer er udført på forhånd. Der skelnes mellem to dele af det modulbaserede byggeri; modularisering af byggeriet, hvor dele af byggeriet samles i større enheder, som udvikles, designes, produceres og installeres af samme virksomhed; og anvendelsen af boksmøbler som samler komplette byggerier af mindre boksmøbler, der produceres af én virksomhed. Modularisering giver desuden mulighed for at anvende multisjak i byggeriet, som ikke er arrangeret efter de enkelte faggrupper men efter bygningsdele. Eksempler på færdige møbler er elevatorer, hvor alle dele produceres og installeres af samme firma fra glas og stål til strømforsyning. (Lean Construction 2012)

8.2.1 Fra Lean Construction til Lean Production

Idet arbejdet med de enkelte elementer finder sted i en produktionshal, hvor kontrol af materialernes flow er i fokus, vil der være en naturlig overgang fra Lean Construction til Lean Production. Lean Construction og Trimmet Byggeri tager grundlæggende afsæt i de samme principper som Lean Production, men der er i Lean Production mere grundlæggende fokus på værdien for kunden gennem 5 principper (Lean Construction 2012):

1. Kortlæg den kæde, der skaber værdi for kunden
2. Optimér denne kæde
3. Hold produktivitet i stadig bevægelse – Lagre er spild
4. Benyt Pull-logistik
5. Tilstræb stadig forbedring.

Det er fastslået i (Björnfot og Stehn 2004), at der er en envejsammenhæng mellem modulbaseret byggeri og anvendelsen af Lean Construction, hvilket bekræftes af (Ikuma og Nahmens 2010) som har påvist en markant reduktion i arbejdstiden gennem Lean principper ved at optimere processer og indretningen af de arbejdsstationer som indgår i produktionen. Det skal dog nævnes, at selv når arbejdsprocessen i produktionslinjen er optimeret, vil der stadig være risiko for spild, særligt ved 3 princip, som postulerer at lagre er spild. Under opførelsen med modulproduktion, planlægger man produktionen af møblerne til at foregå sideløbende med udførelsen af det forberedende arbejde på pladsen. Hermed vil man netop arbejde i strid med princippet om at lagre er spild, hvilket skaber et dilemma i forhold til om det er et nødvendigt spild. Elimineringen af lagre hos modulproducenten kræver at produktionen kan levere møbler i samme tempo som de kan installeres og tilsluttes på pladsen – først da kan modulproducenten eliminere oplagring.

Ikuma og Nahmens nævner også 5 S, som benyttes til at opretholde kvalitetsmiljøet i en virksomhed. 5 S betegner 5 ord fra Japansk som er med til at sikre orden, rydelighed og standardisering på arbejdspladsen.

De Japanske ord	Betydning	Handling	Eksempel
Seiro	Strukturering/ organisering	Sorter, organiser	Smide affald væk
Seiton	Systematisering	Bring i orden	Dokumentstyring
Seitson	Renlighed	Gør rent, ryd op, læg på plads	Ansvar for rengøring og orden i eget arbejdsområde
Seiketsu	Standard	Standardiser	Faste procedurer
Shitsuke	Disciplin	Stå fast	Overholdelse af de 5 S'er

Figur 8.2 – 5 S (Lean Construction 2012)

De tilføjer at nogle mener, at 5 S kan udvides til 6 S ved at tilføje sikkerhed til listen, idet et ryddeligt arbejdsmiljø bidrager til en øget produktivitet såvel som et sikrere arbejdsmiljø. Der er i modulproduktionen bedre vilkår for at forbedre arbejdsmiljøet og sikkerheden gennem rydelighed, men det vil kræve at produktionsledelsen såvel som håndværkerne sætter kontinuerlig fokus på dette.

Når Lean nu handler om at minimere spildet i løbet af produktionen og installeringen af modulerne ude på pladsen, er det ligeledes relevant at eliminere spildet på pladsen. Hvor vidt der er spild på byggepladsen i form af ventetid, oplagring og unødvendigt arbejde er afhængigt af den kvalitet der leveres fra produktionen såvel som produktiviteten, som skal leve op til leveringsplan. Særligt præcisionen kan være udfordrende for Lean, og (Blankinship 2008) har en pointe i, at det i dag er muligt at projektere helt ned til sidste millimeter i dimensioner og placering. Hvor der førhen ikke har været store forskelle i udførelsen, hvis der skulle være et par centimeters afvigelse, har selv små afvigelser nu en stor betydning. Denne problematik sætter store krav til at samlingerne mellem moduler enten skal have en tolerancemargen, eller forøge fokus på den producerede kvalitet. Hvis ingen af disse forudsætninger er på plads, vil der opstå spild i form af at skulle tilpasse modulerne når de ankommer til pladsen.

8.2.2 Just In Time

JIT er også et vigtigt element ved præfabrikation, og der vil også være en optimeret mulighed for at anvende dette begreb. Som følge af, at projekteringen skal være fastlagt på forhånd og i langt større grad når der benyttes modulbaseret byggeri, vil forudsætningen for at planlægge leveringer være større end i det traditionelle byggeri på pladsen. Det er derfor også vigtigt ved modulbaseret byggeri at sørge for, at modulerne er klar til levering når forarbejdet på pladsen er udført. Er modulerne ikke klar til levering, vil der opstå en u hensigtsmæssig stilstand i arbejdet på pladsen som ikke skaber værdi. Ligeledes skal modulerne ankomme i korrekt rækkefølge for, at de kan

installeres direkte ved levering for at undgå at bruge ressourcer på at flytte modulerne flere gange. Modulproducenten kan sikre sig et overblik ved f.eks. at anvende stregkoder eller anden form for tracking af modulerne (Austin 2014). Stregkoder som scannes for hver station eller anden tracking, sikrer kan sikre muligheden for at følge hvert element gennem hele produktionen. Dette kan give overblik over hvor længe det har taget at producere de enkelte elementer, hvor længe de befinder sig i lagre rundt om i produktionen, hvornår modulet er klar til levering. Ved levering og installering hjælper stregkoder ligeledes til at identificere de korrekte elementer til levering.

Selv ved anvendelsen af JIT er der en udfordring i det modulbaserede byggeris natur, idet vejrlig kan have større indflydelse på installeringen af elementer på pladsen. I det traditionelle byggeri vil der som regel være mulighed for at arbejde med indvendig aptering, ved vejrligsdage som forhindrer udvendige aptering og arbejde. Når der bygges med moduler kan vejrligets forhindring i at opsætte moduler derimod betyde komplet stilstand i arbejdet, og derimod have større indflydelse på den samlede tidsplan end ved det traditionelle byggeri.

8.2.3 Total Quality Management

Der er i modulbaseret byggeri større og bedre muligheder for at sikre kvaliteten hele vejen gennem produktionen. Det skyldes både de forbedrede arbejdsvilkår under tag og ved højdejusterbare arbejdsstationer for håndværkerne, og den højere grad af standardisering inden for modulbaseret byggeri. Der er i produktionslinjen for moduler rig mulighed for at foretage kvalitetstjek af hver element, og der vil heller ikke være samme tendens til at anvende ad hoc løsninger undervejs i projektet, eftersom modulerne kan projekteres og tilpasses til produktionen (Morton 2011). Samtidig er der i modulbyggeriet mulighed for at præteste elementer som ventilationssystemer og elektronik inden modulerne afsendes til byggepladsen (LePree 2013). I tilfælde hvor myndigheder er indblandet i processen enten grundet lovkrav, eller hvis de agerer bygherrer, vil de have muligheden for at kvalitetsteste modulerne inden de leveres til pladsen.

8.2.4 Supply Chain Management

Eftersom det er muligt at standardisere løsninger og materialer anvendt til modulbaseret byggeri, vil der være rig mulighed for at optimere samarbejdet med leverandører og planlægge leverancer i god tid. Som følge af en mere systematisk og kronologisk produktionsproces ved modulbaseret byggeri, vil der være en større mulighed for at følge materialer og komponenter fra pakning og forsendelse hos leverandøren, tilpasning og samlinger i produktionshallen frem til afsendelse og installation på pladsen – dette kan foregå vha. af stregkoder eller elektronisk monitorering (Austin 2014). SCM kan inddeles i 4 niveauer alt efter hvor godt samarbejdet er med en leverandør (Bejder 2012):

1. Leverandør som modpart
2. Leverandør som "leverandør"
3. Leverandør som samarbejdspartner
4. Leverandør som fuldt integreret samarbejdspartner

Jo tættere samarbejdet mellem leverandør og modulproducent er på niveau 4, des større fordele er der at opnå ved samarbejdet, og des nemmere vil det være at koordinere og drage fordel af JIT levering. Ligeledes vil leverandøren kunne indgå som part i TQM, eftersom kvaliteten af de leverede varer dermed kan optimeres ved, at de to parter har mulighed for at indgå i et samarbejde om at sikre kvaliteten af produkterne gennem produktudvikling.

Som det fremgår ved afsnittet om SCM ved den generelle industrialisering, er der flere fordele at hente end laveste pris som følge af et længerevarende samarbejde. På samme måde sker der en ændring af, hvilke parametre man måler samarbejdet mellem samarbejdspartnere:

1. Pris
2. Omkostninger og mangelsituationer
3. Kvalitet og lageromsætning
4. Totale omkostninger, kvalitet pris levering osv.

En stigende grad i tilliden til samarbejdet kan ligeledes være med til at reducere behovet for at oplagre varer hos kundevirksomheden, idet der vil være af bedre mulighed for at anvende JIT til levering samt forøget villighed fra leverandørens side til, at leveringer sker på modulproducentens præmisser.

8.3 Modulproducenter

Både BM Byg og Scandi Byg har i deres produktion og virksomhed fokus på det de kalder boksmoduler, hvor de leverer bygninger som en række af 60-90% færdige moduler, som samles på byggepladsen. De her dermed meget fokus på deres produktionslinje af færdigproducerede moduler, idet det er der hvor de sparer mest på udførelsestiden.

8.3.1 Lean Production

Scandi Byg anvender efter eget udsagn Lean principper i deres produktion, men har ikke haft noget fokus på en egentlig certificering, og muligvis heller ikke nogen konkret uddannelse inden for Lean. BM Byg har derimod større fokus på Lean, og sender samtlige funktionærer på kurser i Lean for at sikre en forståelse for og anvendelse af en effektiv proces. Som produkt af BM Bygs kursus anvendelse giver de ligeledes udtryk for at holde fokus på effektiviseringen inde i deres produktionshal.

Ser man på de to modulproducenters tilgang til Lean vil man lægge mærke til at de enten har hver deres tilgang hertil, eller at Scandi Byg er nået længere end BM Byg. I de 11 principper fra (Koskela 1992), nævnes det at der skal være fokus på at balancere mellem flowoptimering og omdannelsesoptimering. Optimering af flowet af processer har fokus på at alle opgaver udføres med mindst muligt spild i de enkelte processer, hvorimod omdannelsesoptimeringen har et større fokus på at anvende maskinelt udstyr til at udføre arbejdet, og reducere antallet af fejl derigennem. BM Byg holder fokus på at optimere deres processer gennem standardisering af løsninger, som de nævner i forbindelse med Nordic Built projektet. Scandi Byg er derimod i gang

med at udvikle og indfase nyt maskineri, som skal forenkle produktionen af væsentlige elementer i byggeriet.

Uagtet tilgangen til at effektivisere produktionen hos de to modulproducenter, er der særligt én problematik som går igen hos de to modulproducenter. De nævner begge størrelsen af projektet som er vigtig parameter i forhold til om de kan løfte opgave som følge af, at deres produktion kræver gentagelser for at opnå en passende effektivitets- og produktivetsgrad, som gør produktionen til en rentabel løsning. Når produktionen af de første moduler ikke er lige så effektiv som produktionen af det sidste, betyder det at begge modulproducenter har et stort potentiale for at optimere omstillingstiden for at kunne gøre deres produktion mere rentabel.

Omstillingsprocessen er i sig selv ikke værdiskabende for hverken kunde eller virksomhed, og kan betegnes som en kilde til spild i produktionen. Scandi Byg giver derimod ikke udtryk for noget ønske om at kunne håndtere enkelthuse, mens BM Byg derimod forsøger at optimere processen til produktion af enkelthuse i forbindelse med Nordic Built. Hvis standardisering af løsninger til moduler kan gøre produktionen af enkelthuse rentabelt, vil dette også kunne give en reduktion i den generelle løsning og derved reducere spild.

Med reference til 5 S kan ryddeligheden i Scandi Bygs produktionshal være et problem. Da projektgruppen var på besøg, var der mange elementer placeret tæt på hinanden inden for et begrænset areal, hvilket gjorde bevægelsen rundt i hallen til lidt af et forhindringsløb.

Problematikken så ud til at skyldes, at en betydelig del af arealet var afsat til en ny produktionsmaskine. Ved at besværliggøre håndværkernes bevægelser rundt i hallen opstår der risiko for snublefare ved bevægelse og nedsat mobilitet for håndværkerne. Formentlig vil ibrugtagelse af det nye udstyr vil afhjælpe problemet, hvis ikke er dette et relevant fokusområde, for at sikre bedre arbejdsvilkår i fremtiden.

8.3.2 Just In Time

Både BM Byg og Scandi Byg giver udtryk for at benytte sig af JIT levering, så de undgår mest mulig opmagasinering af materialer inden brug. Scandi Byg nævnte under rundvisningen på fabrikken, at de stiller krav til leverandøren om at leveringen af materialer sker efter Scandi Byg's præmisser.

Hvor vidt BM Byg lever op til deres postulering om at benytte JIT kan kun blive til gisninger, eftersom projektgruppen hverken har besøgt en af deres byggepladser eller været på rundtur i produktionen. Deres engagement i Nordic Built kan dog være en mulighed, hvor de kan forbedre deres vilkår for at leve op til det, idet øget standardisering af komponenter i deres kan hjælpe til at reducere deres omstillingsevne. En øget omstillingsevne i produktionen kan sikre en højere produktivitet fra første modul, og de vil dermed kunne starte produktionen tættere på deadline, hvilket igen kan reducere oplagring af moduler.

Scandi Bygs anvendelse af JIT er ligeledes gisninger i store træk, eftersom der ikke er foretaget studier af deres produktion. Under rundvisningen på fabrikken og faciliteterne var der dog en betydelig mængde moduler som stod oplagret på grunden. Scandi Byg var simultant i gang med to

projekter, hvoraf hovedsageligt modulerne til det ene projekt stod oplagret. Der er derved tegn på at leveringen af disse moduler ville have rig mulighed for at ske efter JIT praksis, men produktionen derimod var ikke derefter. Derudover er de få tilnærmelsesvist konkrete tegn på JIT levering fra deres leverandør en palle med materialer pakket til en bestemt aktivitet, samt rundviserens ord for, at de ophæver samarbejdet med deres leverandør, hvis materialerne ikke er ankommet, når de skal bruges.

8.3.3 Total Quality Management

BM Byg sørger hele tiden at have fokus på, at der bliver projekteret med mest muligt hensyn til produktionen. Særligt deres engagement i Nordic Built, hvor de er ved at udvikle en standardiseret måde at bygge huse på, så det er muligt for enkelte forbrugere at designe og bestille et hus gennem et bestillingssystem, er med til at sikre en mulighed for at opretholde en god kvalitet. Standardiseringen vil gøre det nemmere at opnå kendskab til, hvilke parametre og fokusområder der skal tjekkes for at sikre den gode kvalitet. Det kombineres med, at BM Byg i forvejen sørger for, at hvert enkelt led i produktionen har en kontrolplan over hvad der skal tjekkes, ligesom de kun installerer deres moduler i tørvejr. Der er altså et fokus på kvaliteten fra projekteringen og helt frem til installeringen på pladsen.

Scandi Bygs løsning er at sikre, at projekter er Scandi-bygbart inden de afgiver tilbud på dem, og sikrer denne bygbarhed gennem egen projektering. De sætter fokus på kvaliteten ved at udarbejde specifikke kvalitetssikringskemaer for hvert modul, som tager højde for alle relevante elementer som udgør det samlede modul. Når Scandi Byg udarbejder arbejdstegninger til produktionen, leverer de tilnærmelsesvist en samlemanual i Lego og IKEA standard, som beskriver alt ned til, hvilken type skruer der skal anvendes til de enkelte samlinger.

8.3.4 Supply Chain Management

De to modulproducenter har hver deres tilgang til den samlede forsyningskæde. Begge sørger for at samarbejde med leverandøren for at sikre den mest optimale levering efter JIT, men derfra er der en forskel i den samlede produktion. Selv om begge sørger for at deres moduler produceres "in house" har de ikke samme tilgang til varetagelsen af selve produktionen. BM Byg skal sikre samarbejde og kommunikation med næste forsyningsled i form af entreprenører inden for de enkelte faggrupper, som hyres udefra. Selvom det oftest er de samme 3-4 entreprenører de anvender, og som kender til deres produktion, kræver det ekstra fokus at sikre at disse entreprenører udfører arbejdet som beskrevet. BM Byg skal derudover samarbejde med en ekstern entreprenør, som skal hjælpe dem med at foretage byggemodning og klargørelse til at kunne installere boksmodulerne på pladsen.

Scandi Byg har derimod alle deres håndværker ansat i virksomheden, og dermed et forsyningsled mindre i selve produktionen af deres boksmoduler. De har ligesom BM Byg også behov for at udlicitere opgaver på byggepladsen til anden entreprenør, men her er der udelukkende tale om opgaver, som ligger uden for virksomhedens kernekompetence. Scandi Byg har derved den fordel

ift. BM Byg, at de håndværkere som producerer deres moduler har et indgående kendskab til produktionslinjen, og de skal derved ikke bruge tid på at indstille sig til at arbejde i produktionen, hver gang der skiftes entreprenør i produktionen. Der er samtidig bedre mulighed for en bedre koordinering af værdier internt i virksomheden, eftersom produktion og ledelse hører under samme organisation. Modsat vil Scandi Byg ikke være lige så fleksible til at skalere op og ned på medarbejderstaben i takt med omfanget af opgaver.

De to modulproducenter har det til fælles, at de har indgået i rammeaftaler med levering af boliger til boligforeninger. Her har man som bygherre altså udnyttet muligheden for at benytte en kendt samarbejdspartner til at levere over en længere periode, som foreslået i håndbogen om trimmet byggeri (Lean Construction 2012).

Efter udsagn fra BM Byg og Scandi Byg indhenter de tilbud fra leverandører og underentreprenører for at opnå den laveste pris på udførelse og materialer. Det er derved ikke sikkert, at de sørger for at opnå det bedst mulige samarbejdsniveau, som beskrevet i afsnit om SCM for Modulbaseret byggeri. Begge modulproducenter kan derved have en uafklaret mulighed for at forbedre deres SCM ved at indgår længerevarende aftaler, som fokuserer mere på totale omkostninger end materialeprisen og udbudsprisen i BM Bygs tilfælde. Selvom Scandi Byg benytter længerevarende kontrakter (3 år) er det stadig, ifølge deres udsagn med henblik på at sikre en fast prismæssig fordel i en afgrænset periode. Som nævnt ved JIT udtaler Scandi Byg at de ophæver samarbejdet med en leverandør, hvis materialer ikke ankommer til tiden. Dette tyder på, at samarbejdsniveauet ikke er optimalt. Ligeledes vil der være mulighed for BM Byg for at etablere et bedre samarbejde med én eller flere af de 3-4 entreprenører som de plejer at udbyde opgaver til.

8.4 Grønne Etablissementer

Projekt GE kommer i deres multifunktionshal til at anvende modulbaseret byggeri i "kredsløbet", der skal fungere som en flytbart del af bygningen. Der har i løbet af udbuddet og projekteringen ikke været samarbejde mellem de eksisterende modulproducenter og COWI, som står bag det rådgivende konsortium foruden et besøg hos Scandi Byg's faciliteter. Den foreslåede modulløsning, som skal benyttes til byggeriet, er ikke en standardløsning, som er tilgængelig og kan leveres af indtil flere modulproducenter i Danmark. Man har valgt at projektere en ny modulbaseret løsning, hvor bygningerne bliver splittet op i en ramme, facade-, loft og gulvelementer samt et installationsmodul, hvor alle installationer på nær ventilation bliver ført i. Projektleder Jesper Jokumsen er bekymret for om den modulbaserede del bliver produceret på byggepladsen (Appendiks 7). Hvis dette bliver tilfældet spår han en risiko for, at der vil være større udfordringer med at leve op til den ønskede fleksibilitet, samt en udfordring i forhold til at kunne skille byggeriet ad og samle det igen på en anden kaserne. Dette skyldes, at den pågældende entreprenør, som vinder licitationen på byggeriet kan gribe den modulbaserede løsning an på tre måder. Entreprenøren kan benytte sig af en etableret modulproducent, som kan producere modulerne til projektet, vælge selv at producere modulerne under egen byggeledelse i en produktions- eller lagerhal, eller vælge at lade modulerne bygge direkte på pladsen. Overordnet

lægger projektet op til en kobling mellem traditionelt og modulbaseret byggeri, og der vil derved komme elementer i spil fra begge fremgangsmåder. I kampen for at øge produktiviteten mest muligt, kan en modularisering af "rygraden" tages i spil. Derved flyttes flere af byggeriets elementer under tag, og der er endnu bedre mulighed for at effektivisere processen og derved forøge produktiviteten.

8.4.1 Lean

Der vil være rig mulighed for at inkorporere Lean i udførelsen af GE, men det vil afhænge af, hvilken konstellation opgaven udbydes i. Valget mellem de tre metoder afgør, hvor vidt det bliver muligt at anvende Lean Production eller om det udelukkende bliver Lean Construction der kan tages i brug.

Som nævnt vil produktionen af moduler efter meget præcist tegningsmateriale kunne give en udfordring, når disse skal samles på pladsen for at undgå at bruge ekstra ressourcer på at tilpasse samlingerne efter levering af modulerne. Man har fra COWI-konsortiet valgt en løsning hvor modulerne ikke udgør standard boksmoduler, men skal samles af en række delmoduler. Denne løsning bidrager med endnu flere samlinger, som skal fungere uden problemer på pladsen, og dermed også flere risikoområder, hvis modulerne ikke kan samles uden tilpasning. Eftersom modulerne skal kunne leve op til muligheden for at blive flyttet rundt mellem "Rygrade" må tilpasningen på pladsen ikke udgøre en permanent samling på pladsen.

Efter udtalelser fra de tre nuværende ansatte hos FES (Appendiks 5, 6 og 7), er dukket et spændingsfelt op mellem et af Leans grundprincipper og GE – fokus på at skabe værdi for kunden. Spændingsfeltet opstår i at identificere den værdi, som Forsvaret vil få ud af projektet. FES valgte et projekt, som giver mulighed for at flytte bygninger rundt mellem, men er jf. de tre interviews blevet i tvivl om, hvor vidt denne funktion bliver aktuel når projektet er opført. Hvis ikke Forsvaret kommer til at benytte den flytbare funktion, vil det være svært at argumentere for at flytbarheden tilføjer projektet værdi. Hvis ikke kunden kan identificere værdien i projektet, vil det ligeledes være svært for COWI som rådgiver, og i særdeleshed den udførende entreprenør, at sikre, at alle processer og elementer i byggeriet tilfører værdi til projektet.

Projekteringsmæssigt er man også stødt på udfordringer i forhold til værdien, som f.eks. en nylig ændring af modulernes rumplan tæt på COWIs deadline for at aflevere hovedprojektet. Ændringer undervejs betyder at COWI bliver nødt til at starte forfra med installationsmæssige, og muligvis konstruktionsmæssige beregninger, som følge af en ændring fra enkeltmands- til storrumskontorer. På sin vis har FES derved været til hindring for, at Lean kan fungere bedst muligt i projektet.

8.4.2 Just In Time

JIT princippet kan inddrages både på byggepladsen og i produktionen af modulerne. På byggepladsen skal der koordineres leverancer til opførelse af "Rygraden", som modulerne efterfølgende skal kobles på. Ligeledes skal leverancer til modulproduktion koordineres, samtidig

med at det også skal planlægges, hvornår produktionen af moduler skal gå i gang for, at disse er klar til at installeres, når kernen er klar til, at modulerne kobles på uden at skabe for meget behov for oplagring.

8.4.3 Total Quality Management

I kraft af at der er flere parter involveret i GE end det modulbaserede byggeri, som beskrives i litteraturen og anvendes af Scandi Byg og BM Byg, er der også flere lag i den gennemgående kvalitetssikring. Den udførende og den projekterende part er adskilt hvilket kræver, at projekteringsmaterialet er udarbejdet med overdragelse for øje. Den projekterende skal derved gøre det klart, hvordan modulerne skal udføres og samles eller lade tegningsmaterialet lægge op til, at den udførende part foretager de sidst detailprojekteringer, som kan tilpasses til produktionslinjen hos den pågældende modulproducent.

Man har som nævnt tidligere ændret i lokaleplaner for byggeriet sent i processen, hvilket har resulteret i at COWI har været nødt til at foretage dele af projekteringen på ny. Netop disse ændringer lægger op til, at der skal være fokus på projektændringer, og hvilke aktører der er ansvarlig for at videreformidler ændringer, og dermed også hvem der har ansvaret for at projektere hvad. Hvis en modulproducent får overdraget projekteringsansvaret på modulerne, vil det kunne lette kommunikationen og videreformidling af ændringerne. Dermed kan modulproducenten sikre at tegningsmaterialet bliver tilrettet inden produktionen af modulerne er påbegyndt, og har en stadig fokus på, hvad der er vigtigt at fokusere på i kvalitetssikringen.

8.4.4 Supply Chain Management

Den entreprenør som ender med at stå for at opføre GE kommer til at skulle holde styr på både egne underentreprenører og modulproducenten og dennes leverancer og mulige installering på pladsen. Det kan blive en fordel, hvis de bydende entreprenører indgår i et konsortium med en modulproducent i tilbudsfasen, og på den måde sikrer at der er et godt udgangspunkt for samarbejde og kommunikation mellem de to parter. Et godt samarbejde mellem entreprenør og modulproducent kan også være med til at sikre, at samlingerne mellem moduler og facade passer sammen og lukker tæt.

Såfremt dette pilotprojekt skal lykkes, er der også essentielt, at projektet udvides ved at opføre lignende byggerier af en "Rygrad" på andre kaserne, således at det giver mening at være i besiddelse af disse flytbare "kredsløbselementer", som modulerne betegnes. Som Jesper Jokumsen nævner, vil projektet på én kaserne bidrage til, at FES kan foretage analyser af energibehovet og brugervenligheden af GE. For at kunne finde ud af, hvor fleksibelt og enkelt det kommer til at være at flytte og samle modulerne med en anden "rygrad" kræver det at der er andre "rygrader" at flytte modulerne til. At gennemføre GE er derved ikke et succeskriterium i sig selv, men vil først virkelig være det når løsningen er ført videre på andre kaserne samt blevet prøvet og gennemtestet. Det kan derved være en fordel med SCM, hvis der findes et konsortium

som kan videreføre projektet på andre kaserner, og som ved hvordan projektet skal udføres for at sikre en forbedring i produktivitet effektivitet og kvalitet.

8.5 Analysekema

På *Figur 8.3* samles ovenstående analyse op for at give et overblik over analysen. Horisontalt aflæses anvendelse, fordele og problematikker ved de enkelte produktionsfilosofier. Vertikalt aflæses de enkelte produktionsfilosofier, og hvordan de optræder niveau for niveau.

	Lean	Just In Time	Total Quality Management	Supply Chain Management
Industrialiseret byggeri	Byggeriet har en ulempe ift. produktionsindustrien pga. unikke projekter udført af midlertidige multiorganisationer under omskiftelige forhold. Anvendelsen af Lean Construction er dermed primært med til at reducere disse ulemper, i forsøget på at opnå samme standard for produktivitet, effektivitet og kvalitet som produktionsindustrien.	I et dansk forsøgsbyggeri har man opnået reduktion i arbejdstid på 20 % ved at tage mere aktiv stilling til, hvordan materialerne blev leveret på pladsen i forhold til at reducere lagerpladsen og få leveret materialer pakket i aktivitetsspecifikke pakker.	Tidligt engagement i kvalitetsstyring er med til at sikre eliminering af flest mulige aktiviteter som ikke skaber værdi. For at sikre dette skal kvalitetsstyringen dække alle led i organisationen inkl. processer knyttet hertil.	Længerevarende samarbejde mellem leverandør, entreprenør og underentreprenør er med til at sikre forbedret kommunikation i byggeriet. Indgår bygherre også i et samarbejde, kan TQM anvendes fra ideforslag til drift og vedligehold.
Modulbaseret Teori	Der er fastslået en envejsammenhæng mellem modulbaseret byggeri og anvendelsen af Lean Construction, hvilket påvises af en markant reduktion i arbejdstid for modulproduktion gennem Lean principper som optimering af processer og arbejdsstationen.	Tidligere detailprojektering sikrer bedre muligheder for at planlægge leveringer på forhånd. Det er samtidigt nemmere at bevare overblikket over hvor langt produktionen er, og derved opnå bedre kontrol af bestillinger.	Teorien lægger vægt på, at der er bedre mulighed for at kontrollere kvaliteten ved modulbaseret byggeri. Det skyldes de forbedrede arbejdsforhold, og det kontrollerede arbejdsmiljø, som giver bedre mulighed for at kontrollere det udførte arbejde.	Tidligere detailprojektering og forbedret produktionsflow sikrer forbedrede vilkår for at administrere forsyningskæden og materialernes flow effektivt gennem alle processer.
BM Byggeindustri	BM Byg sender alle funktionærer af sted på kurser i Lean, så modulerne designes til en effektiv udførelse, og har ligeledes fokus på at optimere produktionen. Deres deltagelse i Nordic Build, skal hjælpe til at standardisere løsninger og optimere produktionen, så den er gearet til enkelthuse.	BM Byg anvender JIT princippet til at opnå en effektiv levering. De sørger for kun at installere i tørvejr, hvilket kræver opfølgning på vejruddsigter for at kunne levere til tiden og i tørvejr.	BM Byg har en dedikeret kvalitetssikringsmedarbejder i hver produktionshal, og har en certificering for produktion af træelementer, som kræver ekstern kontrol.	BM Byg har kun en enkelt faggruppe ansat som fast arbejdskraft - resten af fagene hyres ind som underentreprenører. De argumenterer for at; minimere egen risiko; undgå unødvendig bemanding; og lavere priser gennem udbud.
Scandi Byg	Scandibyg beretter at de anvender Lean filosofien til reduktion af spild i arbejdet samt billigst mulig produktion. Uddannelse vi kunne bidrage til deres produktion, i tilgift til deres maskinelle opdatering.	Scandibyg benytter JIT for at sikre en nem og effektiv levering kort inden materialers anvendelse. Scandibyg forventer punktlig levering fra leverandøren, og sikrer det gennem 3-årige kontrakter.	Scandibyg udarbejder særskilte kvalitetssikringsskemaer for hvert modul for at sikre, at kvalitet og udførelse kontrolleres for alle dele af modulerne, og det endelige produkt kan leveres uden fejl.	Scandibyg udbyder materialelevering til mindst 3 forskellige leverandører for at opnå den bedst mulige pris, og indgår i længerevarende samarbejde med leverandører og fast materialepris.
Projekt Grønne Etablissementer	De værdier og forventninger til fordele ved det valgte projekt skal være i fokus for den udførende part. Dette kan bedst opnås ved at lade mest muligt af projektet udføres væk fra byggepladsen. Dermed sikres effektivitet og produktivitet i produktionen, samt bedst mulige vilkår for kvalitetssikring.	Der bør anvendes "best practice" inden for JIT, med fokus på samarbejde med leverandør om at modtage færdigpakke "batches" af materialer.	Projekteringen af bygherrerådgiver stiller krav til, at udførelsesmetoder passer til en produktionslinje hvad angår modulerne. En modulariseret tilgang til "rygraden" kan hjælpe til øget effektivitet og bedre kvalitetssikring.	Kombinationen af udførende parter er ukendt. Det kan dog betale sig for en evt. entreprenør at indgå samarbejde med en modulproducent, som kan udføre både dette og kommende projekter. Samarbejdet kan udvides fra levering af moduler til at omfatter modularisering af "rygraden".

Figur 8.3 - Analyseskema

8.6 Komparativ Analyse

For at sammenligne anvendelsen af de forskellige produktionsfilosofiers anvendelse på tværs af de enkelte niveauer foretages en komparativ analyse, som skal være med til at danne baggrund for, hvilke overvejelser der skal gøres, hvis den modulbaserede del af projekt GE skal udføres på den mest optimale måde.

8.6.1 Lean

I det traditionelle byggeri kan der anvendes Lean Construction, mens modulbaseret byggeri har muligheden for at anvende både Lean Construction til de arbejder som skal udføres på pladsen og Lean Production til produktionen i fabrikshaller. Begge områder af Lean fokuserer på at forbedre produktiviteten ved at begrænse spild. I det modulbaserede byggeri er der bedre forudsætninger for at forbedre denne produktivitet, idet der gennem systematisering, bedre arbejdsforhold samt detaljeret projektering og planlægning af produktionen kan elimineres mere spild.

For at det modulbaserede byggeri skal leve op til dette, er det vigtigt, at den enkelte modulproducent løfter opgaven ved at effektivisere processerne i produktionen, og sikrer, at moduler udføres således at de kan samles på byggepladsen uden at generere med spild i form af behov for tilpasning af moduler som ikke passer sammen ud på pladsen. Samtidig er det vigtigt at holde en ryddelig produktionshal, og sikre at arbejdsmiljøet afhjælper ubehagelige arbejdspositioner for håndværkerne, for at sikre den mest effektive udførelse. Standardiseringen af moduler eller delkomponenter heraf kan sikre bedre omstilling i produktionen, og reducerer samtidig behovet for at projektere idet standardkomponenter hurtig vil kunne tilpasses.

Begge virksomheder lider under en langsom omstillingsevne, hvilket de udtrykker ved at der ikke produceres nær så mange elementer i starten som i slutningen af et projekt. Dette lever ikke op Leans ambition om at reducere det spild, som en ineffektiv omstillingsproces vil udgøre. BM Bygs forsøg på at standardisere elementer til privathuse, udgør dog en mulighed for at rette op på dette i fremtiden. BM Byg er ligeledes ene om at uddanne personel i Lean. Scandi Byg forsøger at optimere deres produktion og gøre dele af den mere effektiv gennem investering i maskineri, hvilket kan eliminere spild i kasserede materialer og optimere kvaliteten. Scandi Byg har dog en udfordring ift. at leve op til 5S og godt arbejdsmiljø som følge af det nyindkøbte maskineri, som optager plads i produktionshallen. Så længe de bruger ressourcer på at få maskineriet til at fungere uden, at dette kan levere et produkt vil det ikke være til gavn for produktiviteten i byggeriet.

I projekt Grønne Etablissementer har der været processer og valg sent i projektet som har medført ikke-værdiskabende aktiviteter allerede i projekteringen. Samtidig er der tvivl fra FES' side om, hvor vidt man får udnyttet muligheden for at flytte rundt på modulerne, hvis ikke ledelsen beslutter sig for at føre projektet videre til andre kaserner. En beslutning om ikke at videreføre konceptet eliminerer desuden en del af den værdi som man har satset på fra starten af, og

entreprenør samt modulproducent vil dermed få svært ved at skabe værdi for kunden, idet denne værdi ikke er endegyldig. I satsningen på at den flytbare modulløsning kommer til at skabe en egentlig værdi, vil det være nødvendigt at flytte produktionen af alle modulerne ind i produktionshal og evt. modularisere noget af "Rygraden", så denne kan produceres delvist i produktionshaller. En byggepladsløsning af udførelsen vil betyde risiko for ad hoc løsninger, manglende fleksibilitet når modulerne skilles ad og samles igen, samt elimineringen af alle fordel, som følger med modulproduktion, hvis ikke arbejdet overdækkes.

8.6.2 Just In Time

JIT beror som udgangspunkt på at reducere lagerpladsen på byggeplads i det traditionelle byggeri, hvilket man gennem forsøgsprojekter har påvist en gavnlig effekt. Ved overgangen til modulproduktion er det hovedsageligt søjlefundamenter, betonlevering og modulproduktion der skal ankomme på pladsen. Des bedre overblik der findes over produktionen, jo nemmere vil det være at koordinere denne til at passe til den hastighed, hvormed modulerne installeres på pladsen. For at følge med i produktionen og holde styr på de enkelte elementer kan strekkodesystemer eller anden tracking hjælpe til med at sikre, at modulerne kommer så effektivt gennem stationen som muligt, og have kontrol over hvor moduler og delelementer heraf befinder sig til enhver tid. Dette skal være med til at sikre JIT ikke bare til byggepladsen men igennem hele produktionen. Ved levering til byggepladsen støder JIT levering dog på udfordringer fra vejrlig, idet byggepladsen går i stå når vejrliget er vejen for at kunne installere modulerne. Særligt ved levering langt fra producenten kan der være udfordringer ved at spå om vejret ved ankomsten.

De to modulproducenters anvendelse af JIT baserer sig udelukkende på udtalelser fra de to virksomheder. De kæmper begge med en effektiv omstilling fra et projekt til det næste og bliver dermed nødt til at producere til leveringsklart lager i god tid inden elementerne skal benyttes. Der er således grobund for, at både BM Byg og Scandi Byg kan arbejde med at forbedre deres omstillingsproces, hvilket de lader til at have grebet forskelligt an. BM Byg anvender en standardiseringsløsning i retning af mass customisation, som tillader dem at producere forskellige løsninger sammensat af ensartede delkomponenter. Scandi Byg anvender derimod maskineri til præcisionsarbejde, som kan løse flere af produktionens opgaver automatisk.

Når opførelsen af projekt GE går i gang vil der være væsentlige fordele ved at der er koordination mellem entreprenøren på pladsen samt produktionen af moduler. Der skal i projektet flere moduler til at samle noget tilsvarende de boksmoduler som benyttes af de Modulproducenter, som er interviewet i forbindelse med rapporten. Derved kræver det større fokus på at de enkelte elementer leveres til tiden, idet der er flere dele som skal samles, og dermed større fokus på at levere modulerne i rigtig rækkefølge.

8.6.3 Total Quality Management

TQM benyttes til at sikre en god kvalitet af samtlige opgaver og processer igennem et projekt, og bør derfor også have et fokuspunkt fra projektide til projektaflevering. Et af de væsentlige

punkter, som særligt Scandi Byg nævner, er fokus på bygbarheden. Des mere projekteringen fokuserer på bygbarheden og dermed udførelsen, jo færre unødvendige opgaver vil der være forbundet med udførelsen af det konkrete arbejde. Eftersom modulbaseret byggeri har et stort fokus på at øge produktiviteten ved at en bedre kvalitet af det udførte byggeri udført så effektivt som muligt, er det særligt vigtigt at der her er fokus på at optimere bygbarheden i produktionen såvel som installeringen på pladsen. Hvis BM Byg får succes med deres standardiserede koncept, har de endnu bedre mulighed for at sikre bygbarheden kvaliteten i deres byggeri. En øget standardisering vil gøre det muligt for dem at forbedre deres best practice som følge af, at der vil være større gentagelseeffekt i deres produktion, hvilket ifølge begge virksomheder skal til for at de kan arbejde produktivt og dermed undgå spild. Scandi Byg forsøger derimod at minimere derimod arbejdet ved at lade maskiner overtage dele af produktionen, hvilket dog kun lykkes hvis deres udstyr programmeres korrekt.

Ved udførelsen af Projekt GE er der grundet projektets opbygning et øget behov for at koordineret informationer, hvis det skal være muligt at bevare TQM i hele projektet. Dette skyldes ikke blot de mange moduler der skal samles, men også den organisatoriske sammensætning af aktører. Modulerne er projekteret af en rådgivende virksomhed og udbydes til en entreprenør, som kun muligvis vælger at udbyde modulernes udførelse til en modulproducent. Hvis COWI ikke har været opmærksomme nok på at tilpasse modulerne til en enkel udførelse, vil en modulproducent skulle ændre tegningsmaterialet, og der er dermed en ikke værdiskabende aktivitet i dobbeltprojektering allerede inden projektet går i gang. Der er dog ingen garanti for at modulproducenten ikke projektere om uanset tegningsmaterialets beskaffenhed, hvis ikke der kommunikeres tilstrækkeligt mellem de involverede parter, og derved forebygger suboptimering, idet de to modulproducenter var fokuserede på deres behov for selv at projektere.

8.6.4 Supply Chain Management

Man har i forsøgsbyggerier påvist optimeringen af SCM i byggeriet, hvilket dog ikke blev fulgt ordentligt op, da man ikke kunne genskabe de forhold som var med til at reducere byggetiden. Det skal dog ikke udelukkes at et langvarigt samarbejde mellem entreprenører, underentreprenører, leverandører og evt. modulproducenter vil kunne genskabe de forhold der gjorde sig gældende ved Forsøgsbyggeriet i Ullerød, hvilket Lean Construction DK stiller forslag til.

Modulproducenter har ligeledes en mulighed for at optimere samarbejde med deres leverandører og eventuelle underentreprenører gennem længerevarende samarbejder frem for, at de udbyder på pris hver gang. Ved at fokusere på andre parametre end pris ved valget af leverandører vil der være større mulighed for optimering af samarbejde. Des bredere dette samarbejde kan fungere og jo længere opstrøms i kæden dette samarbejde rækker, des flere led kan indgå i at sikre en effektiv forsyningskæde. SCM kan dermed fordre et forbedret tillidsforhold parterne imellem, sikre at kvaliteten er i fokus, sørge for at leveringer sker på alle parter præmisser og bidrage med udvikling af produkter så de giver mest mulig værdi for projektet.

At dømme ud fra BM Bygs og Scandi Bygs forklaring af, hvordan deres samarbejde med leverandører og underentreprenører er der ikke tegn på, at de har fokus på at optimere deres forsyningskæder. Længerevarende varende kontrakter og en skare af mest benyttede entreprenører er i sig selv ikke nok til at optimere SCM, hvis ikke det primære formål er at samarbejde, men snarere rigide kontraktforhold og udbud af opgaver for at flytte ansvaret og reducere prisen. Der er heller ikke tale om tillidsforhold, når Scandi Byg udtrykker bekymring for, at leverandøren kan udnytte et langvarigt samarbejde til at sætte prisen op på materialer. De to modulproducenter kan derved opnå bedre samarbejde, hvis de lægger udbudsstrategien om. BM Byg kan ligeledes opnå fordele ved at ansætte egne håndværkere i hele produktionen, og dermed sikre en konstant produktionsstab uden udskiftning. Dette kræver dog at de kan sikre sig en konstant portefølje af opgaver.

Når projekt GE skal udbydes, kan der med stilles krav om, at entreprenøren skal indgå et samarbejde med en modulproducent, eller udbyde i en hovedentreprise med partnering. Et vellykket projekt med godt samarbejde mellem entreprenør og modulproducent kan sikre et fælles engagement i kvalitetssikringen gennem hele projektet. De to udførende parter kan dermed sikre sig at leverancerne kan koordineres og at samlingen af modulkomponenter og disse samling med kernen forløber bedst muligt. Den viden de to parter tilegner sig i løbet af dette projekt, vil kunne gavne både dem og FES, hvis pilotprojektet skal føres videre til andre kaserner. Partnering vil danne et fælles engagement hos alle aktører, idet de vil skulle dele både overskud og underskud, hvilket vil kunne fungere som incitament for at forbedre samarbejdet over hele linjen. Hvis mulig kan en licitation som rammeaftale sikre, at den viden og de erfaringer, som projektet afføder, vil komme sikre FES en bedre mulighed for at føre projektet videre på andre kaserner.

9 Det optimale modulbaserede byggeri

På baggrund af interviews med modulproducenterne samt viden indhentet fra litteraturen, skal dette afsnit være med til at beskrive det optimale procesforløb for projekter med anvendelsen af modulbaseret byggeri. Det optimale procesforløb skal være med til at sikre bedst mulig produktivitet, kvalitet og effektivitet i byggeprocessen.

Afsnittet tager afsæt i 4 Entrepriseformer og partnering og 5.2 Modulbaseret byggeri samt 6 Undersøgelse af modulproducenterne.

9.1 Entrepriseform

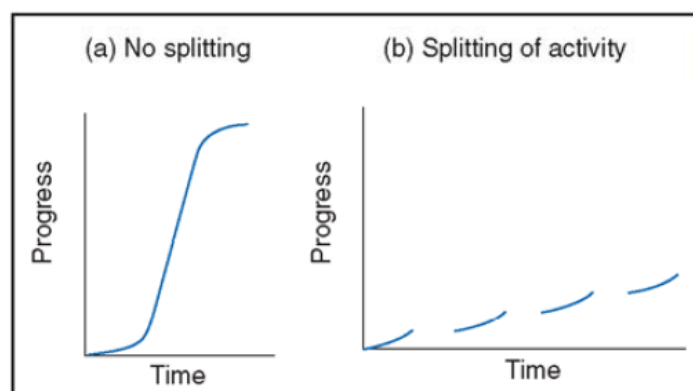
Som det nævnes både af BM byggeindustri (BM Byg), Scandi Byg og i litteraturen er det en vigtig forudsætning for den optimale udførelse, at alle detaljer er fastlagt så tidligt som muligt i byggeriet. Det skyldes at produktionen skal foregå så glidende som muligt, hvilket bedst sikres ved, at alle arbejdstegninger er på plads, herunder rør- og kabelføringer. Der er ikke samme tolerancer for at ændre på projektet når først modulerne er sat i produktion, eftersom det foregår som en samlebåndsløsning, hvor en ændring vil medføre forsinkelser i udførelsen og forstyrre den øvrige produktionslinje. Da der utvivlsomt vil ske ændringer i projektet, hvis det skal udføres modulbaseret, og det er projekteret færdigt inden udbud til modulproducenterne, er det værd at overveje den modulbaserede løsning så tidligt som muligt i processen for at undgå udgifter til ikke-værdiskabende aktiviteter og processer.

Modulbaseret byggeri kan anvendes i alle entrepriseformer samt indgå som leverandør til projekter styret af andre entreprenører. Projekter som anvender modulbaseret byggeri, vil dog drage mest fordel ved at blive udbudt og opført i totalentrepriser. Set fra modulproducenternes synspunkt, får de muligheden for at påvirke projektets design således, at deres produktions- og projektleveringsmodel fungerer optimalt. De kan herved sikre en øget produktivitet, bedre kvalitet og forbedret effektivitet, ved at undgå tidsspilde og ekstra omkostninger forårsaget af ændringer, omprojektering og udbedring af ad hoc løsninger. Det vil for projektets bygherre være en klar fordel at inddrage en modulproducerende virksomhed i program- og projekteringsfasen, hvis bygherren på forhånd har besluttet sig for at benytte modulbaseret byggeri. Det skyldes at der kan opnås en besparelse på udgifter til rådgiverne i projekteringen, idet de ikke kommer til at detailprojektere noget, som virksomheden der producerer og leverer modulerne alligevel har i sinde at projektere om for, at tilpasse tegningsmaterialet til deres egen produktion.

Modulproducenternes deltagelse vil samtidig reducere mængden af projektændringer i forhold til, hvad der kan forekomme, hvis ingeniørrådgiver udfører detailprojektering. Modulproducenter tilføjer yderligere den fordel til byggeri, at de kan producere testmoduler, som kan give bygherre en bedre fornemmelse af, hvad den enkelte producent kan levere.

9.2 Optimalt omfang af byggeriet

Det optimale omfang af et modulbaseret byggeprojekt vil afhænge af, hvad formålet er for byggeriet, og hvordan den producerende virksomheds forretningsmodel er skruet sammen. I BM Byg's og Scandi Byg's tilfælde vil der være krav til, at byggeriet har en vis størrelsesorden for at sikre den gevinst, der følger med gentagelseeffekten. De to modulproducenter nævner her en pris på 15-30 mio. kr. som værende en projektværdi, som sikrer at der kan drages effektiv fordel af den kontinuerlige arbejdsproces. *Figur 9.1* viser hvordan fremgangen i et projekt vi se ud alt efter om der er tale om en sammenhængende eller en opdelt arbejdsproces (Nicholas og Steyn 2012).



Figur 9.1 – (a) Sammenhængende arbejdsproces (b) splittet arbejdsproces

Grafen til venstre viser en sammenhængende arbejdsproces, hvor arbejdet starter langsomt med en stigende arbejdsintensivitet mens grafen til venstre viser, hvordan arbejdet ikke når at stige i intensivitet fordi opgaven skal startes på ny flere gange, og dermed også tager længere tid at udføre. Problemet opstår når håndværkerne skal skifte rundt på forskellige opgaver, og dermed er i færd med at multitask. Såfremt hver enkelt håndværker har en bestemt opgave de udfører på hvert modul, vil den samlede proces kunne tilnærme sig at være én samlet arbejdsopgave, som derved opnår fordelene ved en sammenhængende opgave.

BM Byg nævner et projekt de er med i, der hedder Nordic Built, som er et initiativ til at accelerere udviklingen af bæredygtige koncepter inden for byggeri (Nordic Innovation 2012). I BM Bygs bidrag er meningen at Hr. og Fru Jensen får mulighed for at designe et hjem online, som bliver omdannet direkte til arbejdstegninger. Ved at opstille en række standardløsninger som kan sammensættes på forskellig vis, vil der være et potentiale for at bibeholde effekten ved den kontinuerlige arbejdsproces, idet håndværkerne over tid vil lære de enkelte løsninger at kende og derfor ved, hvordan de skal udføres. For at dette skal lade sig gøre, vil det til gengæld kræve, at øvrige større projekter ikke forstyrrer denne arbejdsproces, hvis ikke de større projekter udføres efter samme standardløsninger. Ellers vil BM Byg skulle lægge ekstra tid og ressourcer i at omlægge produktionen mellem de nuværende projekttypen og den private boligløsning, idet der vil være samme udfordring som illustreret på *Figur 9.1*, hvor en arbejdsopgave ikke udføres som sammenhængende procesforløb.

Overordnet vurderes det, at den anslåede minimale projektværdi på 20 mio. er noget BM Byg bør holde fast i, idet løsningen til private, som kun har brug for et enkelt hus kræver en fuld ordrebog for at holde gang i produktionen og fastholde produktionshastigheden på et fornuftigt niveau. Indtil videre har husbyggeri opført i fabriksproducerede moduler ikke været nogen succes i Danmark. NCC har forsøgt sig med en lignende løsning uden held (U. Andersen 2007). Ligeledes har en anden producent i samarbejde med en arkitekt forsøgt sig uden held med et projekt, som kun blev til 26 huse på 5 år (Jacobsen og Kreiner 2009). Både BM Byg og Scandi Byg har indgået rammeaftaler med boligforeninger, som har sikret en kontinuerlig produktion og indtægt, hvilket vil kræve mere salg og marketing at opnå gennem private købere.

9.3 Optimal udformning af byggeriet

For at sikre de bedst mulige vilkår for at udføre et byggeri i moduler, skal der helst være en rumplan som gentager sig selv, og er opbygget eller inddelt i lokaler, som passer med nogle faste modulmål. Som tidligere fastslået, vil der være en positiv effekt ved at udføre ensartede moduler igen og igen, eftersom der opbygges en rutine når de produceres. På den måde skal systemet og det tekniske udstyr ikke indstilles på ny, hver gang man skifter modultype. Samtidig er det også en fordel, at skillevægge passer med modullinjer, så modulet udføres med 4 lukkede sider. Det er sagtens muligt at producere og levere moduler, som har åbne sider, men det betyder dog også at de skifter fra moduler som er 80-90% færdige ved levering til 60-70% færdige moduler. Moduler af denne type vil også kræve, at de forstærkes for at kunne holde til transport. Graden af færdighed for leverede moduler er en af de væsentligste faktorer ved modulbaseret byggeri, idet det netop er meningen at arbejdsmængden på selve byggepladsen skal reduceres mest muligt. Som nævnt i *afsnit 5.2.3 Ulemper ved* er arkitekturen et af de områder, hvor man ved modulbaseret byggeri bliver nødt til at indgå et kompromis ift. udformningen. Det der er nemmest at udføre i modulbaseret byggeri vil være firkantet og rektangulært inden for de rammer, som udgør maksimalmålene for, hvad der må transporteres på vejene. Bygger man i runde former eller byggeri med mange vinkler vil byggeriet kræve flere moduler pr. m², og dermed også flere samlinger og mere arbejde på pladsen. Indretningsmæssigt vil modulbaseret byggeri ligeledes sætte den begrænsning, at lokaler skal begrænses til ét plan, hvilket reducerer færdighedsgraden ved store aulaer og andre lokaler, som man kunne ønske opført i flere etager. Dels er det ikke praktisk at udføre moduler i flere etagers højde, og dels kan det være nødvendigt at samle disse lokaler af en række mindre moduler eller elementer, som igen kræver med samlearbejde på pladsen.

9.4 Byggeprojekter hvor modulbaseret byggeri vil være en gevinst

Indenfor de rammer som kan være med til at sikre en optimal udførelsesproces med modulbaserede byggerier vil passe godt til nogle byggerier og knapt så godt til andre. Det vil nok ikke være det mest spektakulære byggeri, som udspringer af modulbaseret byggeri og dermed ikke et naturligt valg til store hovedkontorer, hvor en virksomhed gerne vil vise sig frem gennem arkitektur og kompleksitet af byggeriet.

Modulbaseret byggeri er til gengæld meget velegnet til kontortunge bygninger med ensartede kontorer. Ligeledes kan det anvendes til sengeafdelinger på sygehuse, idet der her er en gentagende symmetri i rummene, som er indrettet på samme måde.

Det er desuden oplagt at anvende modulbaseret byggeri til boligforeninger, almene boliger og studieboliger, som kræver et stort udbud af ensartede boliger. Det er også netop denne boligtype, som både BM Byg og Scandi Byg udfører mest af. Her er der både gavn af gentagelseeffekten fra de mange lejligheder med identisk rumplan, men der er også mulighed for at variere det samlede udtryk gennem forskellige facadeløsninger. Ved at variere facadeløsningerne i større boligforeninger, er det muligt at undgå det ensartede og monotone udtryk, som man kender det fra "kransporsbyggerier" i form af boligkvarterer med kolde grå betonfacader. Ved anvendelse af kilemoduler, er det endda muligt at tilføje mere diversitet til byggeriet. Kilemodulerne er udformet som trekanter, som kan monteres mellem to almindelige moduler. På denne måde kan tilføje lidt flere former, og undgå den snorlige arrangement af lejligheder eller boliger i forhold til hinanden. Der opnås desuden fordele ved, at byggeriet kan opføres inden for 30-50% kortere tid, og dermed gøre byggeriet tilgængeligt inden for kortere tid, samtidig med at man opnår en mindre anlægssum.



Figur 9.2 – Danmarksgrundene Rødovre udført af BM Byggeindustri (BM Byggeindustri 2013)

9.5 Projekt Grønne Etablissementer vs. optimale forhold for modulbaseret byggeri.

I forlængelse af hvordan det optimale modulbaseret byggeri bør udformes og eksekveres ift. modulproducenternes ønsker og litteraturen, er der kigget nærmere på projektforslaget for projekt Grønne Etablissementer (GE). Dette sker på baggrund af materiale modtaget af FES, samt de tre interviewpersoner fra organisationen. Sammenligningen er foretaget på baggrund af, hvordan projektet er udbudt og håndteret i program og projekteringsfasen, projektets udformning, som

det er beskrevet af interviewpersoner, og hvordan modulproducenterne har beskrevet deres kompetencer.

9.5.1 Udbud af projekt Grønne Etablissementer

Case-projektet var ikke udbudt til rådgiverkonsortierne med krav om en modulbaseret løsning. Det var bevidst fra FES' side at konsortierne havde mulighed for at være kreative og så vidt muligt forme deres eget projekt. Funktionsudbuddet, som det beskrives, vurderes til at danne en ramme for et efterfølgende optimale modulbaserede byggeri, da rådgiverkonsortiet ifølge FES kunne have haft en entreprenør med over byggeriet fra begyndelsen af projekteringsfasen, hvis de havde udarbejdet en handlingsplan og et kontraktforslag, som kunne sikre deres krav om at placere et ansvar.

9.5.2 Byggeriets udformning

Byggeprogrammet, udarbejdet af FES og COWI konsortiet, beskriver et modulbaseret byggeri, som repræsentanterne for markedet indenfor modulbaseret byggeri kan løfte og udføre. Hvert modul skal have mål efter en Hi-cube container (indvendige mål: højde = 2,7 m, bredde = 2,4 m, længde = 12,0 m). Denne størrelse ligger inden for rammen af, hvad der må transporteres på de danske veje og derfor indenfor BM Bygs og Scandi Bygs maksimale mål for elementer. Modulerne skal udføres i energiklasse 2020 efter BR10, hvilket også er muligt ifølge de to producenter. Derudover skal det være muligt at udskifte facadebeklædningen på modulerne. Dette vil ifølge de adspurgte også være muligt da dette er et af de områder hvor modulproducenterne har mulighed for fleksibilitet – dog vil tunge facader kræve udførelse og samling på pladsen. Udover facade elementerne vil det også være muligt at indlejre installationer til vand og varme i separate loft og etageadskillelser. Derfor vurderes det at projektet giver et godt billede af hvad modulbaseret byggeri kan, med hensyn til udførelse og design. Det er dog ikke muligt at vurdere med sikkerhed hvor vidt projektet ville være udformet anderledes hvis der havde været en entreprenør med i fasen, men på baggrund af rapporten ville dette have været at foretrække med hensyn til produktivitet, kvalitet og effektivitet.

9.5.3 Value for money – lever projektet op til sit formål.

GE er et pilotprojekt og et forslag til, hvordan fremtidens kaserner kan se ud samt hvordan Forsvaret kan energioptimere, vurderes det at Forsvaret kunne have fået mere for deres penge. Der er blevet brugt rigtig mange ressourcer på et rådgiverudviklet modulbaseret byggeri, som skal være flytbart. Det er derfor uheldigt for projektet, at rådgivere og bygherre ikke længere fuldt ud tror på at den flytbare funktion vil blive anvendt. Hvis dette var kommet frem tidligere i processen, og entreprenøren var med under projekteringen, kunne bygherren have fået et billigere byggeri lignende "det optimale modulbaserede byggeri".

10 Diskussion

I forbindelse med udarbejdelse af rapporten er der blevet produceret primær viden gennem kvalitative interviews med modulproducenter og personer, som er involveret i rapportens case projekt Grønne Etablissementer. Disse interviews vil nu blive diskuteret i forhold til deres validitet og pålidelighed, herefter vil det blive diskuteret hvor vidt rapportens konklusion opfylder rapportens overordnede formål og kan bidrage med øget produktiviteten i byggeriet.

Interviews

Den interne validitet udfordres i forbindelse med overførelsen fra lydfil til referat. De udarbejdede referater kunne med fordel være sendt til den interviewede efterfølgende for, at vedkommende kunne verificere de svar, der blev arbejdet videre med og derved sikre, at der ikke er sket misforståelser undervejs i interviewet. Dette gælder både ved interviews med modulproducenter og personer involveret i projekt Grønne Etablissementer.

Den eksterne validitet kunne have været bedre, hvis der var foretaget interviews med flere end de to deltagende modulproducenter. Dette ville have hjulpet med at danne et mere validt billede af, hvad der kan leveres og produceres inden for modulbaseret byggeri, idet rapporten dermed ville basere sig på flere virksomheders udtalelser. I analysen af hvor vidt Grønne Etablissementer skaber et korrekt billede af, hvad byggebranchen kan levere inden for modulbaseret byggeri kunne validiteten være forbedret ved at undersøge andre pilotprojekter i ind og udland.

Pålideligheden af de enkelte interviews kan næppe optimeres yderligere, som følge af den semistrukturerede tilgang. Den semistrukturerede tilgang resulterer i, at andre studier som arbejder med samme spørgeguides, kun vil kunne tilnærme sig samme resultater som projektgruppen. Dette skyldes, at den interviewende har muligheden for at stille supplerende spørgsmål og herigennem forfølge et eller flere interessante emner, som opstår i løbet af interviewet. Dermed vil der være en risiko for, at andre interviewere ville forfølge andre emner i løbet af interviewet.

Rapporten

Det modulbaserede byggeri udgør en potentiel mulighed for at øge produktiviteten, kvaliteten og effektiviteten af fremtidens nybyggeri, men der er stadig plads til forbedringer i branchen. Det er dog ikke alt nybyggeri som kan optimeres ved anvendelse af den modulbaserede metode. I IDA's rapport om produktivitet i byggeriet udpeges blandt andet offentlige institutioner og erhvervsbyggeri som de steder, hvor der kan optimeres mest, og hvor der i fremtiden med fordel vil kunne indføres modulbaseret byggeri. Disse byggerier passer også fint ind i rapportens bud på, hvad modulbaseret byggeri kan levere. Derfor vil det være en fordel for udnyttelse af de offentlige midler, at offentlige bygherre får kendskab til hvordan det modulbaserede byggeri anvendes bedst muligt, hvilket nærværende rapport giver et bud på hvad angår udformning og entrepriseform. På den baggrund vurderes det at formålet i store træk er nået. Der er på nuværende tidspunkt

udfordringer i forhold til at opnå en rentabilitet for det modulbaserede byggeri, når der skal bygges mindre byggerier med anlægssummer under 15 mio. DKK, og der er stadig arkitektoniske begrænsninger i forhold til udformningen af byggeriet, som kan gøre det mindre attraktivt for kræsne bygherrer. Det kan dog blive væsentligt nemmere at bygge mindre byggerier som typehuse, hvis modulproducenterne kan forbedre standardiseringen og reducere omstillingstiden.

11 Konklusion

Gennem rapporten indledning beskrives det, hvordan byggebranchen over en længere periode er blevet kritiseret for manglende produktivitet, svingende kvalitet og ringe effektivitet.

Byggebranchen bliver i denne forbindelse sammenlignet med produktionsbranchen, som siden 2000 har udviklet sig positivt modsæt byggebranchens negative udvikling. En årsag til produktionsbranchens fremgang kan være den udnyttelse af produktionsfilosofier, der kan benyttes til at optimere processer og reducere ikke værdiskabende arbejde, og på samme tid søger at forbedre slutproduktet kvalitet. Byggebranchen har forsøgt at implementere Lean Construction for netop at reducere spil, men uden en mærkbar og synlig succes.

Ingeniørforeningen i Danmark (IDA) kom i 2014 frem med en rapport, hvor de pegede på modulbaseret byggeri som en mulighed for at industrialisere dele af byggeriet og derved øge anvendelsen af produktionsfilosofier. Denne fremgang er mulig, idet op til 90% af produktionen flyttes under tag i produktionshaller ved modulbaseret byggeri. IDA rettede fokus mod nybyggeri af erhvervsbyggeri og offentligt støttede byggerier som områder, hvor byggeriet med fordel kan optimeres.

Hvis det skal være muligt at følge IDA's anvisninger om at bruge det modulbaserede byggeri til industrialisering af byggeriet generelt, skal der i byggebranchen være producenter, som er i stand til at levere den type byggeri der efterspørgeres. På baggrund af de udførte interviews med modulproducenter og projektporteføljen fra disse virksomheder og tilgængelig litteratur er det tydeligt, at byggebranchen er i stand til at levere erhvervsbyggerier, offentlige eller offentligt støttede institutions- og boligbyggerier. Den eneste begrænsning for modulbyggeri er byggeri over 4 etager, som udbydes i fagentreprise, har en samlet projektsum på under 15 mio. DKK eller byggeri som ikke har gentagende rummål eller er for kompleks i sin udformning mht. former og åbne rum.

Gennem litteraturstudiet er der fundet rigelige tegn på, at det modulbaserede byggeri kan forøge produktiviteten ved effektivt at producere elementer under tag med et minimum af håndværkere. Fremgangen i effektivitet skyldes at produktionen er rykket ind i produktionshaller, hvor betingelserne for anvendelsen af Lean samt produktionsfilosofier som Just In Time, Supply Chain Management og Total Quality Management, er mere optimale end i det traditionelle byggeri. Ved at strømline processer og sikre bedre arbejdspositur og –miljø for håndværkerne har de bedre mulighed for at producere i en bedre kvalitet, hvilket også hjælpes på vej af manglende udsættelse for vejrlig. Mindre udsættelse af byggematerialer for vejrlig giver mindre risiko for fugtskader, og bedre arbejdsmiljø giver på lang sigt færre midlertidige, akutte og kroniske skader, som igen bidrager til en arbejdsstyrke, der bliver længere på arbejdsmarkedet. Yderligere faktorer til at det modulbyggeri kan øge produktiviteten og kvaliteten skal findes i en reduktion af byggeriets samlede kompleksitet. Denne reduktion i kompleksitet gør byggeriet nemmere at udføre, og tillader et større fokus på at udføre byggeriets processer uden fejl. Fremgangen i effektivitet,

produktivitet og fremgang kræver dog en konsekvent anvendelse af disse produktionsfilosofier, samt et projekteringsmæssigt fokus på at sikre bygbarheden.

En optimale produktion af modulbaseret byggeri kan afkorte byggetiden med op til 50%. Til trods for disse positive resultater er der ikke grobund for en endegyldig konklusion af, hvor vidt de adspurgte Modulproducenter lever op til de positive resultater som findes i litteraturen. Det kan dog antages, at modulproducenterne tilnærmer sig en forøget effektivitet gennem en produktionen i haller hvilket dermed øger produktiviteten gennem lavere ressourceforbrug og mindre spild i udførelsen. Lever modulproducenterne op til deres postulerede kvalitetstjek, og undgår levering og installation i regn og stærk blæst, har de således alle nødvendige forudsætning for at levere en højere kvalitet end det traditionelle byggeri målt på fejl og mangler i byggeriet.

Rammerne for det optimale modulbaserede byggeri har været til stede i udformningen af projekt Grønne Etablissementer, men da kendskabet eller ideen om at anvende modulbaseret byggeri ikke var til stede, før rådgiverkonsortiet med COWI i spidsen fremlagde forslaget, har man undervejs i projektet taget beslutninger som ikke har været fordelagtige for projektet. Licitationen af projektet skete i et funktionsudbud, hvor rådgiverkonsortier blev udvalgt til udarbejdelse af et helt projekt, hvor den modulbaserede løsning var indeholdt i et af dem. Projekteringen fandt dermed sted uden at have kontakt til en modulproducent som følge af den anvendte entreprisformen, som lægger sig op af en hovedentreprise, samt FES' modvilje i at involvere en modulproducent i projekteringen. Projektet forventes at blive udbudt til entreprenører, som primært beskæftiger sig med det traditionelle byggerier frem, for modulproducenter. Der kan derved opstå udfordringer i forbindelse med, at modulproducenter kan risikere at skulle ændre alle detaljetegninger, inden de kan påbegyndes. Samlet set har projekt GE muligheden for at give et godt billede af hvad branchen for modulbaseret kan levere, men projekteringen har indtil videre arbejdet imod optimering af projektmateriale til modulproducenternes udførelse, ligesom en entreprenørs valg af udførelse på pladsen kan risikere at negligere muligheden for i det hele taget at give et billede af, hvad modulbaseret byggeri er i stand til at levere. Ligeledes skal det nævnes at det modulbaserede byggeri som er projekteret i rapporten, ikke læner sig op af de interviewede modulproducenters hidtidige udførelse med boksmoduler som udgangspunkt.

Det modulbaserede byggeri bidrager sammenlagt til industrialiseringen af byggeriet, og levere væsentlige forbedringer i produktiviteten ved at kræve færre menneskelige såvel som materielle ressourcer i udførelsen af projekter. Det parallelle forløb med produktion og forberedende arbejder på byggepladsen er med til at reducere den samlede byggetid, hvilket reducerer faste udgifter til drift af byggepladsen. For at skabe de bedste rammer for anvendelse af det modulbaserede byggeri, bør både private og offentlige bygherrer gives mere kendskab til, hvordan denne type byggeri udføres optimalt. Det er dog ikke alt byggeri, som på nuværende tidspunkt er rentabelt for modulproducenter, idet byggeri med alt for store åbne rumplaner, og usymmetriske former vil kræve produktion, transport og installation af langt flere elementer. Derved er det ikke sikkert at produktionsomkostninger forbliver fordelagtige i forhold til det traditionelle byggeri.

Byggerier på under 15 mio. DKK vil modulproducenter er på nuværende tidspunkt ikke rentable i forhold til det traditionelle byggeri pga., at omstilling af produktion vil reducere produktiviteten og effektiviteten. Hvis betingelserne for modulbaseret byggeri er overholdt i et givent projekt, vil det være muligt at inddrage produktionsbranchens produktionsfilosofier i højere grad, og derved kan produktiviteten, kvaliteten og effektiviteten øges i forhold til traditionelt byggeri.

12 Perspektivering

De to modulproducenter som har deltaget i rapportens undersøgelser, arbejder begge, ifølge dem selv, med principperne omkring Lean og produktionsfilosofier som JIT og kvalitetsstyring (TQM). Til gengæld har ingen af dem en egentlig certificering inden for Lean og det kun er BM Byg, som uddanner personalet i Lean. Det vil derfor være interessant at undersøge de to modulproducenters arbejdsmetoder detaljeret og herigennem se, hvor vidt deres produktion anvender Lean, JIT og TQM i praksis, samt hvor vidt de opnår de 30-50% tidsbesparelse som man kan hente jf. litteraturen, og hvor vidt der er mulighed for at optimere deres produktion. Undersøgelse vil kræve et længere studie af modulproducerende virksomheders produktion, leveringsvilkår, kvalitetsstyring og samarbejde og kommunikation med leverandører og underentreprenører. Dette bør desuden involvere mere end to modulproducenter, som er blevet interviewet i forbindelse med nærværende rapport.

I forbindelse med undersøgelse af modulproducenters arbejdsmetoder og produktionslinje vil det ligeledes være interessant at se nærmere på arbejdsmiljøet. En af bevæggrundene for dette studie består i en hypotese om, at udførelsen af byggeriet mindsker antallet af arbejdsskader, når størstedelen af processerne i byggeriet flyttes ind under tag i kontrollerede omgivelser. Hvis alle de nødvendige hjælpemidler er let tilgængelige, og arbejdet kan udføres med arbejdsborde i arbejdsmiljømæssig bedre højde, som eliminere buk, bøjet ryg og tunge løft, burde der ligeledes være mindre tilbøjelighed til arbejdsskader. For at eftervise dette kan der ses nærmere på hvor mange arbejdsskader der sker ved modulbaseret byggeri kontra traditionelt byggeri.

En af de udfordringer som modulproducenter som BM Byg og Scandi Byg står overfor, ifølge dem selv, er tvivl fra byggebranchens side omkring holdbarheden af modulbaseret byggeri udført i trækonstruktioner, samt et misforstået af, at modulbaseret byggeri er kun midlertidigt byggeri. Det kunne derfor være aktuelt for modulproducenterne, at der bliver foretaget en undersøgelse af modulbyggeriets holdbarhed. Hvis denne undersøgelse viser, at holdbarheden er den samme som ved traditionelt byggeri, vil modulproducenterne har et godt udgangspunkt for lobbyarbejde, som kan sikre kendskabet til og anderkendelse af deres måde at bygge på.

Der ligger ifølge modulproducenterne nogle juridiske udfordringer i vejen for, at de kan udvide deres forretningsmodel. Her nævner de reglerne for transport på vejen og bygningsreglementets regel om, at der ikke må bygges højre end fire etager i trækonstruktioner. Ydermere sætter de også en barriere for sig selv i form af en nedre grænse på 15 mil i anlægssum, for de projekter de byder på. Samtidig har de også krav til udformningen af de projekter de byder på. Det kunne derfor være interessant at undersøge hvordan fremtiden ser ud for deres forretningsmodel, samt hvor mange projekter der er aktuelle for dem, og hvor mange de regner med at vinde. Dette kan indgå i en Porters 5 forces analyse eller andre markedsanalyser for at kaste lys over fremtiden for modulproducenterne projektlevering model. For at se indflydelsen af brandkravene, kan analysen se på, hvor mange projekter der er aktuelle for modulproducenterne på baggrund af de

nuværende juridiske forhold, og hvis restriktionen på etager blev ændret til fordel for det modulbaserede byggeri. Disse undersøgelser kan bruges til at lobby for en lempelse af reglerne.

Der er også andre forhold som bremser fremgangen for det modulbaserede byggeri. I den nye udbudslov fremgår det af §71, at det materiale som udbydes til entreprenøren skal indeholde alle elementer, som er nødvendige for udførelsen - altså inkl. detailtegninger. Dette betyder, at hvis et projekt udbydes i EU udbud uden prækvalifikation af modulproducenter, kan det være svært for modulproducenterne at vinde opgaven, som følge af deres behov for selv at udarbejde nye detailtegninger. Da modulproducenterne efter eget udsagn oftest byder på offentlige licitationer, fordi deres forretningsmodel passer godt hertil, ligger der en opgave for modulproducenterne i at få udbredt kendskabet til deres eksistens, samt hvilken værdi de kan give de offentlige bygherre at anvende modulbaseret byggeri. Dette kunne optimalt set føre til, at de offentlige bygherre får tilstrækkeligt kendskab til det modulbaserede byggeri til, at de udbyder projekter, med modulproduktion for øje, og som muligvis kan bidrage med mere værdi for skatteydernes penge.

13 Litteraturliste

Andersen, Ib. *Den skinbarlige virkelighed*. Frederiksberg: Samfundslitteratur, 2013.

Andersen, Ulrik. *NCC lukker husfabrik efter tab på halv milliard*. 22. november 2007.
<https://ing.dk/artikel/ncc-lukker-husfabrik-efter-tab-pa-halv-milliard-83516> (senest hentet eller vist den 27. maj 2016).

Aarhus Universitet. *AU*. 4. 4 2016. <http://metodeguide.au.dk/metodeguiden-i-religion/generelle-metodiske-overvejelser-og-problemstillinger/validitet/> (senest hentet eller vist den 4. 4 2016).

Austin, Michael. »Improving Project efficiency.« *Health Facilities Management*, Juli 2014: 30-33.

BAR. *Branchevejledning om vinterforanstaltninger*. København: Branchemiljørådet for Gygge og Anlæg, 2013.

Bech, Sidsel Birch, Cathie Folmann Westh, og Camilla SandFeld. *Drejebog for det gode samarbejde ved udbud af bygge- og anlægsprojekter*. Drejebog, Business Center Bornholm, Bornholm: Den Bornholmske Bygge- og Anlægsbranches Dialogforum, 2013.

Bejder, Erik. »Organisering og styring af byggeprocessen.« I *Anlægsteknik 2: Styring af byggeprocessen*, af Anlægsteknikforeningen i Danmark, 15-258. Kgs. Lyngby: Polyteknisk Forlag, 2012.

Bertelsen, Sven. »Modularization - A third approach to making construction Lean.« *Proceedings IGLC-13, July 2005, Sydney, Australia*. Sydney: International Group for Lean Construction, 2005. 81-88.

Bildsten, Louise. »Exploring the opportunities and barriers of using prefabricated house components.« *Proceedings of the 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Lima: International Group for Lean Construction, 2011.

Björnfot, Anders, og Lars Stehn. »Industrialization of Construction -a Lean Modular Approach.« *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Helsingør: International Group for Lean Construction, 2004.

Blankinship, Steve. »Modular Construction Gains Ground.« *Power Engineering*, 03. Marts 2008: 54-62.

BM Byggeindustri. *Hædrende omtale til BM Byggeindustri*. 2013.
<http://bmbyggeindustri.dk/presse/haedrende-omtale-til-bm-byggeindustri> (senest hentet eller vist den 20. maj 2016).

Court, Peter F., Christine L. Pasquire, Alisatair Gibb, og David Bower. »Modular Assembly with Postponement to Improve Health, Safety, and Productivity in Construction.« *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 1. Maj 2009: 81-89.

Danmarks Statistik. *Statistikbanken*. 2010.

<http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/SelectTable/omrade0.asp?SubjectCode=14&PLanguage=0&ShowNews=OFF> (senest hentet eller vist den 28. maj 2016).

Eagle, Amy. »Speed to market.« *Health facilities management*, 5. May 2014: 18-23.

Erhvervs- og Byggestyrelsen. *Omfanget af svigt, fejl, mangler og skader i dansk byggeri 2001-2009*. Statslig rapport, Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2011.

Eriksen, Mikkel, og Poul Skadhede. »Effektivitet og Produktivitet: Effektivitet - et overblik.« *Børsen*, 2013: Afsnit 1.4.

Forsvarsministeriet. »Klima og miljø.« *Forsvarsministeriet*. 2012.

<http://www.fmn.dk/temaer/klimaogmiljoe/klima-og-energi/Pages/Klima-og-energi-strategiforForsvarsministerietsomraade.aspx> (senest hentet eller vist den 28. Maj 2016).

Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse. »Om FES.« *Forsvaret*. 2015.

<http://forsvaret.dk/FES/om%20FBE/Pages/default.aspx> (senest hentet eller vist den 28. Maj 2016).

Hermes, Michael. »Prefabrication & Modularization as a part of LEAN construction - Status Quo in Germany.« *Proceedings 23 Annual Conference of the international group for Lean Construction*. Perth: IGLC, 2015. 235-245.

IDA. *Produktivitet i byggeriet*. Analyse, IDA, København: IDA, 2014.

Ikuma, Laura, og Isabelina Nahmens. »SLIK Operations.« *Industrial Engineer*, 10. Oktober 2010: 26-31.

Jacobsen, Peter Holm, og Kristian Kreiner. »Videnbank for Center for Ledelse i Byggeriet.« *Center for Ledelse i Byggeriet*. Januar 2009. http://www.clibyg.org/dyn/files/knowledge_items/24-file/Byggesektorens%20mindrev%C3%A6rdskomplekser%20er%20grundl%C3%B8se!.pdf (senest hentet eller vist den 27. maj 2016).

Jensen, Patrik, Emile Hamon, og Thomas Olofsson. »Product development through Lean design and modularization principles.« *Proceedings for the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Taipei: International Group for Lean Construction, 2009. 466-474.

Koskela, Lauri. *Application of the new production filosofi to construction*. Technical report, Stanford University, Palo Alto: Center for Integrated Facility Engineering, 1992.

- Lean Construction. »Håndbog i trimmet byggeri.« *LEAN Construction dk*. Januar 2012.
<http://www.leanconstruction.dk/bibliotek/litteratur/haandbog,-guides-og-vaerktoejer/haandbog-i-trimmet-byggeri.aspx> (senest hentet eller vist den 16. Februar 2016).
- Lennartsson, Martin, Anders Björnfot, og Lars Stehn. »Production control through modularisation.« *Proceedings for the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Taipei: International Group for Lean Construction, 2009. 453-464.
- LePree, Joy. »Thinking inside the box.« *Chemical Engineering*, 9. September 2013: 26-30.
- Morte, Miguel. »Temes de Disseny.« *RACO (Catalan Journals in Open Access)*. 2011.
<http://www.raco.cat/index.php/Temes/article/view/249910> (senest hentet eller vist den 15. Februar 2016).
- Morton, Jennie. »Going to pieces over modular construction.« *Buildings*, 12. December 2011: 28-32.
- Mostafa, Sherif, og Jantane Dumrak. »Leagile supply chain for australian industrialised house building.« *IGLC-21 July 2013 Fortaleza, Brazil*. Fortaleza: IGLC, 2013. 175-184.
- Naldal, Torben. *Byggeriets faser og organisering*. Valby: Nyt Teknisk Forlag, 2011.
- Nicholas, John M., og Herman Steyn. *Project Management for Engineering, Business and Technology*. New York: Routledge, 2012.
- Nissen, Henrik. *Montagebyggeri*. København: Polyteknisk Forlag, 1984.
- . *Praktisk Modulprojektering*. København: Teknisk Forlag, 1966.
- Nordic Innovation. *Nordic Built*. 2012. august 2012.
<http://www.nordicinnovation.org/nordicbuilt/about-nordic-built/> (senest hentet eller vist den 27. maj 2016).
- Rich, John. »ÖPPEN – LEAN THINKING, PREFABRICATION, ASSEMBLY AND OPEN BUILDING THINKING – ALL APPLIED TO COMMERCIAL BUILDINGS.« *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. San Diego: International Group for Lean Construction, 2012. 160-169.
- Sadolin, Anette. *Tåstrupgårds boligsociale værktøjer*. Pjece, Tåstrup: Boligselskabet AKB, 2008.
- Simonsson, Peter, og Romuald Rwamamara. »Consequence of industrialized Construction Method on the Working Environment.« Michigan: International Group for Lean Construction, 2007. 302-3011.
- Vejdirektoratet. *Statsvejnettet 2014 Oversigt over tilstand og udvikling*. Offentlig rapport, København: Vejdirektoratet, 2014.

14 Figurliste

FIGUR 1.1 – ARBEJDSPRODUKTIVITET 2000-2010 (DANMARKS STATISTIK 2010)	3
FIGUR 1.2 – ÆNDRING I SVIGT, FEJL OG MANGLER (IDA 2014)	4
FIGUR 1.3 – BYGGESKADEFONDENS TAL FOR BYGNINGSDELE MED SVIGT	5
FIGUR 1.4 – SKADER VED "PROFESSIONEL BYGGEAKTIVITET" (FRI)	5
FIGUR 1.5 – SYNLIGE SKADER VED BOLIGER OPFØRT SAMME ÅR	6
FIGUR 1.6 – EN BETONARBEJDER TIDSFORBRUG (BEJDER 2012)	6
FIGUR 1.7 - ILLUSTRATION AF "RYGRAD" OG "KREDSLØG" (BILAG 1)	10
FIGUR 3.1 – RAPPORTENS OVERORDNEDE METODISKE STRUKTUR - TIMEGLASMODEL FEJL! DER ER IKKE DEFINERET ET BOGMÆRKE.	
FIGUR 3.2 - SPØRGEGUIDEDESIGN	17
FIGUR 4.1 - TRADITIONEL BYGGEPROCES	19
FIGUR 4.2 - TIDLIGT UDBUD	20
FIGUR 4.3 - SENT UDBUD	20
FIGUR 4.4 - FAGENTREPRISE	21
FIGUR 4.5 - HOVEDENTREPRISE	22
FIGUR 4.6 - TOTALENTREPRISE	23
FIGUR 5.1 – EKSEMPEL PÅ KRANSPORSBYGGERI: TÅSTRUPGÅRD (SADOLIN 2008)	25
FIGUR 5.2 – TIDSPLAN FOR MODULBASERET BYGGERI VS. TRADITIONELT BYGGERI	30
FIGUR 5.3 - MODULBASERET BYGGERI OG NODER	36
FIGUR 7.1 – PROJEKT GRØNNE ETABLISSEMENTERS FASER	42
FIGUR 7.2 - ILLUSTRATION AF "RYGRAD" OG "KREDSLØB" (BILAG 1)	46
FIGUR 8.1 – REDUCERING AF SPILDTID (KOSKELA 1992)	51
FIGUR 8.2 – 5 S (LEAN CONSTRUCTION 2012)	54
FIGUR 8.3 - ANALYSESKEMA	63
FIGUR 9.1 – (A) SAMMENHÆNGENDE ARBEJDSPROCES (B) SPLITTET ARBEJDSPROCES	69
FIGUR 9.2 – DANMARKSGRUNDENE RØDOVRE UDFØRT AF BM BYGGEINDUSTRI (BM BYGGEINDUSTRI 2013)	71

15 Appendiksliste

Appendiks 1 – Udvælgelse modulproducenter

Appendiks 2 – Projektbeskrivelse til modulproducenter

Appendiks 3 – Projektbeskrivelse til Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse

Appendiks 4 – Spørgeguide modulproducenter + referater

Appendiks 5 – Spørgeguide tidligere projektleder GE + referat

Appendiks 6 – Spørgeguide rådgiver GE + referat

Appendiks 7 – Spørgeguide nuværende projektleder GE + referat

Appendiks 8 – Entrepriseformer

16 Bilagsliste

Bilag 1 – Byggeprogram GE

Bilag 2 – Forudsætninger GE

Bilag 3 – Konkurrenceprogram GE

Bilag 4 – Betækning GE