

Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet
Aalborg Universitet



TRÆBYGGERI I DANMARK

ET KANDIDATSPECIALE OMHANDLENDE
KONKURRENCEDYGTIGHEDEN I TRÆBYGGERI

Stine Lønbro Bertelsen & Simon Jan Larsen

Afleveret 7. juni 2018
Institut for Byggeri og Anlæg



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet

Institut for Byggeri og Anlæg

Thomas Manns Vej 23

9220 Aalborg Øst

<http://www.engineering.aau.dk>

Titel:

Træbyggeri i Danmark

Projekttype:

Kandidatspeciale (cand.polyt.) på
Management in the Building Industry

Projektperiode:

Februar-juni 2018

Vejleder:

Lene Faber Ussing

Bivejleder:

Jesper Kranker Larsen

Forfattere:

Stine Lønbro Bertelsen

Simon Jan Larsen

Afleveret: 07-06-2018

Oplagstal: 2

Sideantal: 150 sider inkl. appendiks

Elektronisk bilag: Vedlagte filer
(se appendiks E)

Synopsis:

Dette speciale tager afsæt i en undren over, hvorfor der ikke bygges mere i træ i Danmark, når materialet har potentiale til at mindske verdens klimaproblemer. Først undersøges eventuelle begrænsninger i dansk lovgivning for anvendelse af materialet i etagebyggeri, hvorefter et forskningsspørgsmål stilles med henblik på at undersøge potentielle fordele ved at anvende materialet i etagebyggeri frem for traditionelle danske byggematerialer som beton og stål. Det har længe har været vidst, at træ er et langt mere miljøvenligt byggemateriale end beton og stål, men nye sammensætninger af konstruktionstræ gør det muligt at opføre etagebyggeri i træ. Mængden af etagebyggeri i træ er steget markant i udlandet de seneste år, hvilket kunne indikere, at der er øvrige fordele ved at anvende materialet end blot miljøvenlighed.

Specialets hovedundersøgelse tager udgangspunkt i en kvantitativ analyse, hvori udenlandske fleretagersbyggeri i træ og lign. danske betonprojekter sammenlignes. Præstationen af de forskellige projekter sammenholdes for at vurdere, om træ kunne være et konkurrencedygtigt alternativ målt ud fra en overordnet projektevaluering samt indenfor hvilke specifikke områder, træ kan være en fordel/ulempe at anvende.

Slutteligt i specialet udføres flere parameterundersøgelser for at vurdere, hvorvidt resultaterne i denne analyse alene er et resultat af den valgte metode til vurdering af projektprestationerne, eller om det kunne tyde på, at træprojekterne generelt præsterer bedre.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.

Forord

Denne rapport er udarbejdet som et kandidatspeciale på 4. semester af kandidatuddannelsen *Management in the Building Industry* (Byggeri og Anlæg) på Aalborg Universitet.

Der var intet overordnet tema for semestret, så projektemnet er selvvalgt ud fra fundne aktuelle problemstillinger, den danske byggebranche står over for i dag. Cirkulær økonomi blev identificeret som det overordnede tema, og ud fra en idégenerering med mange aktuelle emner inden området blev træ som konstruktionsmateriale i etagebyggeri udvalgt ud fra de studerendes egen interesse.

Hensigten med det udvalgte område er at undersøge muligheden for at anvende mere træ i byggeriet i Danmark, da dette er et aspekt, der kan være med til at øge bæredygtigheden af den danske byggebranche.

Tak

Undersøgelsen i projektet kunne ikke være foregået uden deltagende parter, som de studerende skylder en stor tak for deres tid og hjælp, så dette speciale blev muligt. Der har været kontakt med adskillige virksomheder og foreninger af forskellig nationalitet - de parter, der har bidraget med forskellig information til projektet, ses på figur 1.

Stine L. Bertelsen og Simon J. Larsen,
Aalborg Universitet, juni 2018.



Figur 1: Virksomheder og forening, der har hjulpet og bidraget med forskellig information til projektet.

Læsevejledning

Rapporten er inddelt i fire overordnede dele, der anskueliggør den valgte rapportstruktur og benyttet arbejdsmetode. Figuren viser de fire dele - den skraverede del af figuren illustrerer indsnævring/detaljeringsgrad i indsamling og behandling af informationen gennem specialet/de fire dele (stor indsnævring lig større detaljeringsgrad).

Indledende del	Rapporten indledes med en problematiserende beskrivelse inden for det valgte tema. Beskrivelsen tager udgangspunkt i eksperters udtalelser og et generelt problem, der opleves i dagens samfund. Med baggrund i den problematiserende beskrivelse opstilles en initierende problemstilling baseret på en undren blandt de studerende, der undersøges med udgangspunkt i teori og andres empiri. Resultatet af den indledende analyse danner grundlag for rapportens forskningsspørgsmål.
Metode	Her beskrives undersøgelsesdesign og valgte metoder til besvarelse af specialets forskningsspørgsmål. Ligeledes gennemgås litteraturstudiet, som danner grundlaget for hele hovedundersøgelsen til besvarelse af forskningsspørgsmålet.
Hovedundersøgelse	Hovedundersøgelsen er baseret på baggrund af udsendt spørgeskema til deltagende parter omhandlende præstationen af etagebyggeri i træ og etagebyggeri i beton. Resultatbehandlingen omfatter forskellige niveauer af projektprestationerne, da disse både bedømmes på et overordnet plan og inden for mere specifikke, udvalgte områder. En parameterundersøgelse foretages med henblik på at undersøge pålideligheden af resultaterne. Hovedundersøgelsen resulterer i indikatorer til besvarelse af forskningsspørgsmålet.
Afsluttende del	Afslutningsvis opsummeres rapportens resultater i en samlet besvarelse af forskningsspørgsmålet og den initierende problemstilling, hvoraf videre arbejde inden for vidensfeltet foreslås. En refleksion af arbejdsmetoder og de medførende konsekvenser for undersøgelsen diskuteres slutteligt med henblik på at påpege erfaringer med valgte arbejdsmetoder.

Formalia

Der vil igennem rapporten fremtræde kildehenvisninger, som er samlet i en litteraturliste bagerst i rapporten. Der er anvendt kildehenvisninger lignende Harvardmetoden, således en reference vil være på formen [Efternavn, År]. Denne henvisning fører til kildelisten, hvor artikler er angivet med forfatter, titel, journal og årstal, mens bøger er angivet med forfatter, titel, ISBN-nr., udgave, forlag og årstal.

Såfremt referencen er placeret efter punktum, refererer den til hele forrige afsnit - er den placeret før punktum, refererer den kun til sætningen.

Figurer og tabeller er nummereret i henhold til kapitel, og ses som to forskellige ting, hvorfor der vil være en figur 2.1 og en tabel 2.1. I appendiks er figurer og tabeller betegnet A.1, A.2, B.1, B.2 osv. Elektronisk bilag er vedlagt som separate filer. Oversigt over disse filer findes i appendiks E, hvorfor der henvises hertil, når der refereres til elektronisk bilag.

Abstract

This master's thesis aims to identify potential competitive benefits by substituting traditional danish building materials with wood in Denmark, due to increased interest in the material and its environmental benefits.

The thesis started with a wonder about why wood is not commonly used in constructions in Denmark, as the material has the potential to help overcome many of the environmental problems facing the world. In search of an answer, limitations on the use of wood in a building context in Denmark is investigated, in terms of legal restrictions and whether the material is available and is suitable for the Danish climate.

None major limitations were identified throughout the initial analysis, whereby the initiating issue was not justified. As no limitations were identified, there had to be another explanation for why wood is less used in constructions in Denmark. Based on this assumption, the main research question of the thesis was formulated as the following:

Which competitive advantages are related to constructing multi-storey buildings in wood instead of concrete in Denmark?

To answer this research question, three foreign multi-storey wooden buildings were investigated through case studies, as none currently exists in Denmark. Multi-storey buildings were chosen, as it is well known in Denmark, that normal houses can be build in wood. A comparative analysis, based on a comprehensive literature study, is performed on the foreign multi-storey wooden buildings and several comparable Danish concrete multi-storey buildings, in an attempt to measure the performance of the projects. The results are compared to see whether wood could be competitive to concrete in multi-storey buildings in Denmark, both in terms of an overall measure and within specific areas such as price, time, quality etc..

In the methodological considerations of the thesis, a technical/social science methodology approach is chosen, leading to the methods used to collect the data for the analysis: quantitative- and qualitative questionnaires. As mentioned, a comprehensive litterature study is performed to identify how the comparative analysis should be "framed", to ensure that the performance of the foreign wooden projects can be compared to the performance of the Danish concrete projects in a scientifically recognized objective way. Data for the analysis is collected through quantitative questionnaires from all the participating projects. In attempt to understand and analyse the performance of the wooden projects better, the analysis of these projects is supplemented with answers from a qualitative questionnaire.

Lastly, a parametre study is performed on the overall results, in attempt to assess the impact of the chosen method in the comparative analysis on the results of this study. The parameter study is performed as a recognition that there are several ways in which projects can be evaluated and it is desired to know how the results would change if different methods had been used. The result of the parameter study shows that the chosen method affects the outcome to a lesser extent, as the overall results is persistent throughout the majority of the parameter study.

Indholdsfortegnelse

1	Introduktion	1
1.1	Cirkulær Økonomi	1
1.2	Træ som konstruktionsmateriale	4
2	Indledende analyse	7
2.1	Initierende problem	7
2.1.1	Tilgængelighed	8
2.1.2	Pris	8
2.1.3	Manglende viden og erfaring	9
2.2	Træs egenskaber i byggeriet	9
2.2.1	Styrkeegenskaber	10
2.2.2	Energi og Indeklima	13
2.2.3	Lydforhold	14
2.2.4	Brandsikkerhed	17
2.2.5	Træbyggeri i det danske klima	21
2.2.6	Bæredygtig skovdrift	28
2.3	Begrænsinger for anvendelse af træ i byggeriet	31
2.3.1	Forskningsspørgsmål	33
3	Vidensproduktion og metodevalg	35
3.1	Arbejdsproces	35
3.2	Specialestruktur	36
3.3	Videnskabsteoretisk ståsted	37
3.4	Undersøgelsesdesign og -teknikker	40
3.4.1	Casemetodiske overvejelser	41
3.4.2	Litteraturstudie	44
3.4.3	Spørgeskema	45
3.4.4	Standardiseret interview	48
4	Litteraturstudie	51
4.1	Bestemmelse af bedømmelseskriterier	51
4.1.1	Key Performance Indicators	52
4.2	Behandling af Key Performance Indicators	56
4.2.1	Justering af pris	56
4.2.2	Analyse af resultater	60
5	Casebeskrivelser	61
5.1	Brock Commons, Vancouver	61
5.2	Moholt 50 50, Trondheim	63
5.3	Treet, Bergen	65

6	Resultatbehandling	67
6.1	Vurdering af spørgeskemaundersøgelse	67
6.1.1	Fejlkilder	68
6.2	Resultat af spørgeskemaundersøgelse	70
6.2.1	Key Performance Indicators	71
6.3	Projektpræstationer	73
6.3.1	Overordnet præstation af projekterne	74
6.3.2	Nærmere analyse af KPIs	78
6.4	Parameterundersøgelse	85
6.4.1	Pålidelighed af undersøgelse	86
6.5	Indikatorer på konkurrencemæssige fordele ved træ	87
7	Konklusion	89
7.1	Kritisk vurdering	91
7.2	Videre arbejde	93
8	Refleksion	95
	Litteraturliste	98

I	Appendiks	
A	Litteraturstudie	111
B	Key Performance Indicators	123
C	Spørgeskemaer og standardiseret interview	125
D	Parameterundersøgelse	133
D.1	PSM beregnet ud fra jerntrekanten	134
D.1.1	Delkonklusion	134
D.2	PSM ved forskelligt antal betydende parametre	135
D.2.1	Delkonklusion	140
D.3	De enkelte parametres indflydelse på PSM	141
D.3.1	Delkonklusion	146
D.4	Konklusion	148
E	Elektronisk Bilag	149

1

Introduktion

Dagens samfund har udviklet sig til det mest velstående samfund, der nogensinde har eksisteret på jorden, men denne udvikling har nogle væsentlige konsekvenser [Steffen, 2005]. En af konsekvenserne er relateret til det økologiske fodaftryk, vores samfund laver i dag, der har en kæmpe indvirkning på planeten [Steffen, 2005]. Det økologiske fodaftryk er et standardiseret mål for, hvor meget af jorden eller naturen, der er behov for til at producere de ressourcer, der forbruges, og til at absorbere det affald, der produceres [Australian Academy of Science, 2015]. Forbrugsadfæren i samfundet er baseret meget på en "brug-og-smid-ud-kultur, hvilket genererer store mængder affald, og niveauet af mængden af affald er nået et meget ubæredygtigt niveau. Ifølge chefen for FN-Miljøs Genèvebaserede Økonomi- og Handelsafdeling, Stone [2017], er vores appetit for ressourcer steget fra 20 milliarder tons primært materiale udvundet i 1970 til over 70 milliarder tons i 2010. Såfremt hele verden havde samme forbrugsadfærd som i den vestlige verden, ville vi jf. Steffen [2005] bruge omkring fem gange så mange ressourcer som planeten besidder - han beskriver, at andre mener, det er helt op til ti gange så mange ressourcer. Dette kan blive et aktuelt problem, da verdensbefolkningen er stigende, samt middelklassen udgør en større og større andel af verdensbefolkningen, fordi bl.a. mange udviklingslande oplever stigende velstand [Green, 2013]. I fremtiden vil den genererede mængde affald altså stige markant, hvis forbrugsadfæren fortsætter som nu. [Shah, 2001]

En anden konsekvens er forårsaget af hele mindsættet bag den forbrugsadfærd, der haves i den vestlige verden, som i høj grad er præget af kapitalisme og materialisme. En sådan adfærd er svær at ændre, men det kan være en nødvendighed for fremtiden. Skal denne adfærd ændres, kræver det mere information omkring de nøjagtige konsekvenser, forbrugsadfærden har for miljøet, samt information og forskning indenfor miljørigtige alternativer. [Kjær og Wingård, 2012] [Steffen, 2005]

Det er altså nødvendigt, at vi omtænker den måde vi bruger og udnytter jordens ressourcer, ikke blot af hensyn til klima og miljø, men også af ren og skær resourceknaphed, der kan forhindre samme levestil i fremtiden. Der skal tænkes mere cirkulært i samfundet (genbrug/genanvendelse) frem for lineært ("brug-og-smid-ud"), således jordens ressourcer udnyttes i en langt større grad, end de gør i dag, og der kan sikres en bæredygtig fremtid for fremtidens generationer. [Ridker og Cecelski, 1979] [Steffen, 2005]

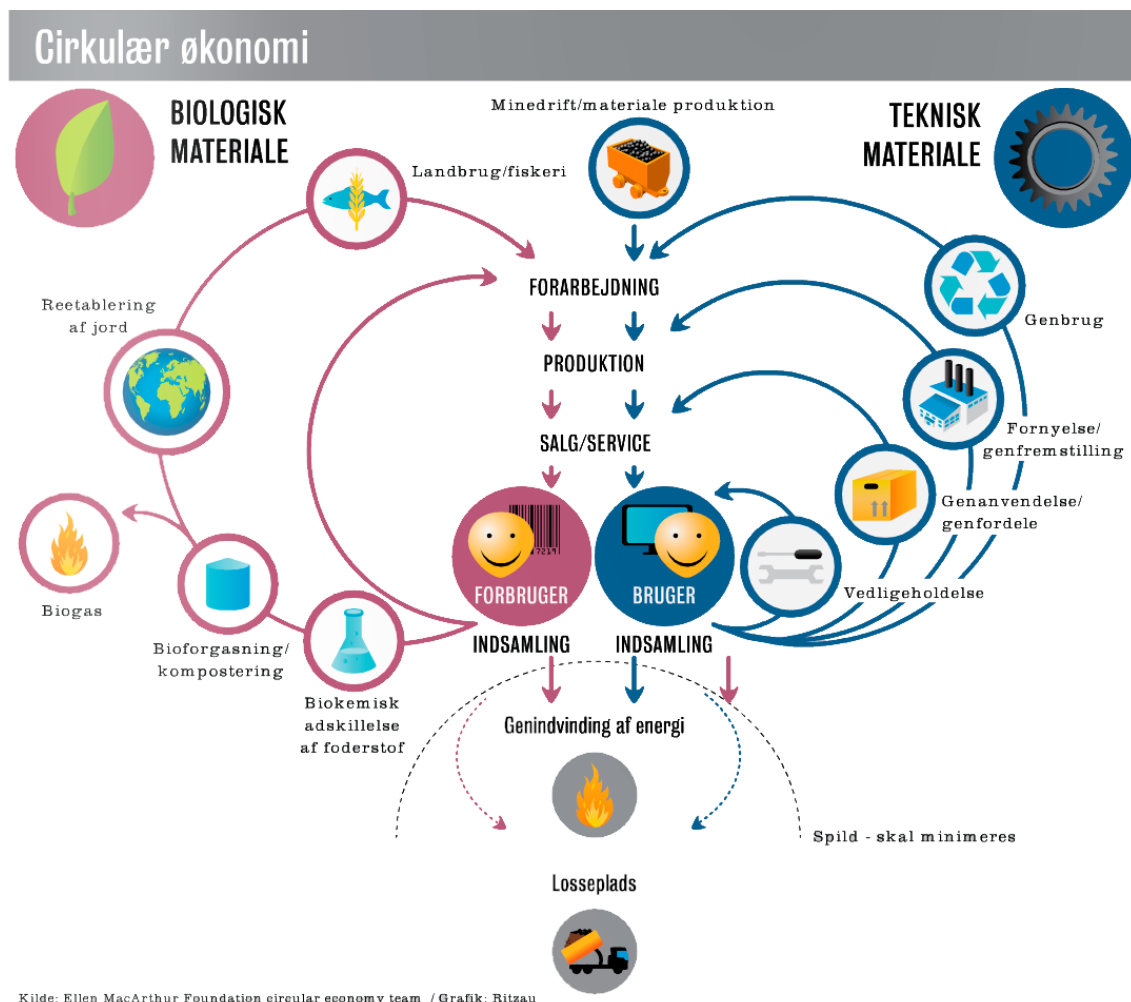
1.1 Cirkulær Økonomi

Cirkulær økonomi fokuserer på at fremkalde de samfundsmæssige fordele, der opstår ved at omdefinere den lineære tilgang ("brug-og-smid-ud"), der er karakteristisk for den måde, mennesket forbruger ressourcer. Det sigter mod at skabe en mere cirkulær anvendelse af ressourcer, så der ikke opstår "affald", og jordens ressourcer på den måde anvendes mere bæredygtigt.

Ellen MacArthur Foundation er en britisk velgørenhedsorganisation, hvis mission er at forbedre overgangen i verden til den cirkulære økonomi [Ellen MacArthur Foundation, 2018a]. De definerer følgende tre principper bag cirkulær økonomi: [Ellen MacArthur Foundation, 2018b]

1. Skrive affald og forurening ud af systemet
2. Bevare produkter og materialer i brug
3. Regenerere naturlige systemer

I cirkulær økonomi skelnes der mellem to cyklusser (illustreret på figur 1.1) - der er en teknisk og en biologisk cyklus. Den biologiske cyklus omhandler biologisk-baserede materialer, som fra naturens synspunkt er designet til at indgå direkte i systemet igen ved processer såsom kompostering og anaerob nedbrydning. Disse cyklusser regenererer levende systemer, som skaber vedvarende ressourcer for økonomien. Tekniske cyklusser omhandler delen, hvor vi genvinder og -opretter produkter, komponenter og materialer.



Figur 1.1: System diagram af cirkulær økonomi. [Region Midtjylland, 2018]

I 2015 publicerede Ellen MacArthur Foundation et værktøjssæt til at hjælpe Danmark med overgangen til cirkulær økonomi, "Potential for Denmark as a circular economy" [Morlet et al., 2015]. Heri angiver de bl.a. et potentiale inden for byggebranchen i Danmark i form af mere genbrug og genanvendelse af komponenter og materialer. I en bæredygtig fremtid

stilles der særlige krav til byggeindustrien, da fremtidens byggeri skal kunne skilles ad, så dele og materialer kan genbruges og -anvendes op til flere gange - dette med mindsket CO₂-udslip. Morlet et al. [2015] angiver, at det bare inden for byggeri kan medføre en nettoværdi på op til 1 mia. DKK i Danmark ved at designe med henblik på senere adskillelse af produkter til genbrug/-anvendelse.

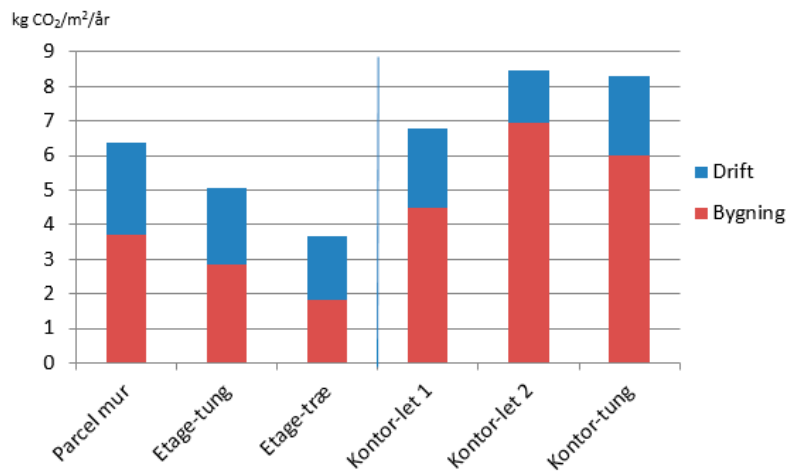
Byggeindustrien har i mange år været præget af en lineær forretningsmodel (brug-og-smid-ud), så der er plads til udvikling ved bl.a. at tænke mere genbrug og -anvendelse ind i branchen. Beton er et byggemateriale, der anvendes meget i Danmark, da det bl.a. er lettilgængeligt for os, men stilles det op imod bæredygtighed og den cirkulære tankegang defineret ved de tre principper, får anvendelsen af beton relativ lav score.

Beton er for det første ikke let at adskille og genbruge, og så genererer det affald (idet ca. 90% af det genererede betonaflald i Danmark genanvendes [Mathiesen, 2014]), det forårsager forurening ved produktionen af cement og er ligeledes heller ikke en del af et naturligt system, da produktionen af beton er med til at forandre naturen for evigt.

I Danmark kommer 40% af den totale forurening fra bygninger [Energistyrelsen, 2018], hvoraf en gennemsnitlig værdi for verden jf. Green [2013] giver, at ca. 8% er forårsaget af produktionen af beton og stål. Jf. Beiser [2016], er der desuden tegn på, at der med det nuværende forbrug kan løbes tør for sand, hvorefter det bliver nødvendigt at knuse bjerg og sten til sand, så der fortsat kan produceres beton. Dette vil øge prisen på beton, men endnu værre have store miljømæssige konsekvenser. Her spiller den voksende middelklasse ind, da flere og flere i fremtiden vil søge mod byerne, hvor befolkningstætheden vil stige, og bygninger dermed fortsat vil laves store for at gøre plads til alle [Green, 2013]. En nytænkning ift. beton og anvendelsen af materialet i byggeindustrien virker altså som et oplagt sted at tage fat, hvis der skal tænkes i en bæredygtig retning mod cirkulær økonomi i Danmark.

Byggematerialer er mere miljøbelastende end bygningers samlede driftsperiode, hvilket er et argument for, at der i større grad bør rettes fokus mod at mindske energiforbruget til fremstilling af byggematerialer fremfor energiforbruget af driftsperioden af bygninger. Figur 1.2 på den følgende side viser forureningen fra seks beregningseksempler set over bygningens samlede levetid, opdelt i materialernes indlejrede energiforbrug og miljøpåvirkning, og bidragene fra driftsenergiforbruget. Den "lave" miljøbelastning fra bygningers drift kommer af, at gennem de seneste 50 år er nyopførte bygningers behov for driftsenergi til opvarmning, ventilation og køling blevet kraftigt reduceret, fra ca. 350 kWh/m² pr. år til ca. 40 kWh/m² pr. år. [SBI, 2017]

Den største potentielle miljømæssige besparelse indenfor bygge- og anlægsbranchen, ligger altså i dag under opførelsen fremfor driftsperioden. Der er imidlertid andre end miljømæssige argumenter for at undersøge og anvende alternative byggematerialer end beton og stål i Danmark. Byggebranchen har svært ved at akkommodere den stigende efterspørgsel på byggeri i Danmark, både mht. arbejdskraft og materialefremstilling. Som resultat af at udbud ikke kan imødekomme den stigende efterspørgsel, er priser og leveringstider på byggeri stigende, hvilket gør byggeri mindre attraktivt overfor investorer. Hertil er det specielt stigende priser og leveringstider på betonelementer, der agere flaskehals for en forsat økonomisk bæredygtig udvikling af byggebranchen. [Berlingske Business, 2017] [Jastram, 2017]

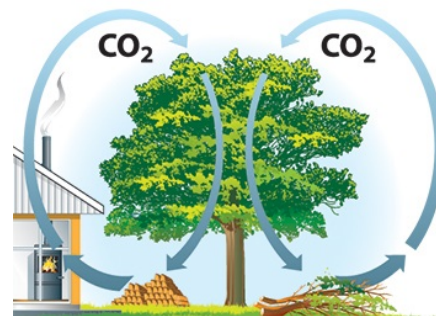


Figur 1.2: Global opvarmning (kg CO₂-ækvivalenter/m²/år) for drift af bygningen sammenlignet med bygningens materialer. [SBI, 2017]

Betragtes udviklingen inden for byggeri i udlandet igennem de seneste 15 år, er der oplevet et boom med anvendelsen af træ i byggeriet fremfor beton og stål. I de seneste 15 år har den ene højhus-rekord efter den anden overgået hinanden på skift, hvilket kan tyde på, at der allerede er andre, der har tænkt samme tanke angående beton; at det er et materiale, der kan findes et mere bæredygtigt alternativ for.

1.2 Træ som konstruktionsmateriale

Træ er et materiale med mange fordele set fra et cirkulært økonomisk perspektiv. Det er et godt eksempel på et materiale, der både kan indgå i den tekniske og den biologiske cyklus. Da træ er et organisk materiale, indgår det ligeledes i det naturlige kulstofkredsløb, hvormed det anses at være CO₂ neutralt og dermed til sidst i cyklussen kan bruges som en miljøvenlig energiproduktion til andre cyklusser.



Figur 1.3: Det naturlige kulstofkredsløb i træ. [Morsø Jernstøberi A/S, 2018]

Som verden de sidste årtier har haft meget fokus på at modvirke de globale klimaforandringer forårsaget af udledningen af drivhusgasser, kan anvendelse af træ i byggeriet ligeledes være et stort skridt på vejen mod dette. Der er to måder, hvorpå vi kan reducere mængden af CO₂ i atmosfæren, og træ har en unik evne til at gøre begge dele: [Energistyrelsen, 2018] [Træinformation, 2018]

1. Ved at reducere udledningen af CO₂.
Mange byggematerialer (såsom cement og stål), produceres på basis af et stort energiforbrug baseret på fossile energikilder, hvormed denne fremstilling belaster atmosfæren med CO₂. Dyrkning og forarbejdning af træ kræver til sammenligning relativt lidt energi, hvormed der automatisk vil ske en reduktion af CO₂-udledningen ved at anvende træ i stedet for beton.
2. Ved at fjerne og binde den CO₂, der allerede er udledt.
Træbaseret byggeri og genbrug af materialet anses at være den bedste måde at sikre en langsigtet "lagring" af kulstof - så længe træbyggeri er i brug, belastes atmosfæren

ikke af kulstoffet bundet i træet fra fældning. Og dette tidsrum udsættes endnu mere, hvis materialet genbruges eller -anvendes i nye produkter. Den gennemsnitlige levetid for bygninger er 75 år, i flere tilfælde endnu længere, og ved efterfølgende at genanvende materialerne i nye produkter som f.eks. spånplader, fordobles lagringstiden, og yderligere genanvendelse gør det muligt at strække dette endnu længere. [Johansen et al., 2014]

Overordnet set har konstruktioner baseret på træ altså et bedre CO₂-regnskab end andre byggematerialer, som er baseret på fossile kilder. Johansen et al. [2014] fastslår, at for hver kubikmeter træ, der bruges som erstatning for et andet byggemateriale, reduceres CO₂-belastningen af atmosfæren i gennemsnit med 2 tons CO₂, hvoraf 0,9 tons er udgjort af den mængde, der er bundet i træet. Sat i relation til en bygning, foretog IVL Svenska Miljöinstitutet [2016] en livscyklusanalyse af et højhus, der opført i træ ville koste 194 kg CO₂/m², mens et tilsvarende højhus i beton kostede 80% ekstra, 351 kg CO₂/m². I dette tilfælde opleves altså en stor CO₂-besparelse ved at erstatte betonen med træ. Green [2013] har ligeledes estimeret mængden af CO₂-besparelse ved at anvende træ i en 20 etagers bygning i stedet for beton og stål. Dette resulterede i en besparelse svarende til, at der fjernes 900 biler fra vejene i et helt år.

Den 8. marts 2018 sendte TMI (Træ- og møbelindustrien) i samarbejde med en række skov- og træorganisationer en opfordring til Folketingets Klima- og Energiordførere omkring, hvordan øget brug af træ i byggeriet kan bidrage væsentligt til at opfylde Danmarks klimaforpligtelser. Af opfordringer fremgår det, at den samlede bygge- og anlægsbranche kan reducere sit totale CO₂-udslip med ca. 25% ved at udskifte traditionelle byggematerialer med træ for boligbyggeri alene, dvs. at potentielle besparelser fra institutions-, erhvervs- og kontorbyggeri af træ ikke er medtaget. CO₂-besparelser, der kan kunne være opnået ved udskiftning af traditionelle danske byggematerialer med træ af al boligbyggeri opført i 2016, fremgår af tabel 1.1. [TMI et al., 2018]

Tabel 1.1: CO₂-besparelse ved erstatning af traditionelle byggematerialer med træ i al opført boligbyggeri (parcelhuse, rækkehuse, stuehuse mv.) i Danmark i 2016. Totalt boligareal: 2.155.733 m², heraf 707.056 m² etagebyggeri. Besparelsen for etagebyggeri beregnet med 0,256 tons CO₂/m²/år ved at bygge med træ (i form af præfabrikerede massivtræs-elementer), uden at tage højde for kulstoflagringen i træet. Der antages halv besparelse for lavt byggeri. [TMI et al., 2018]

Andel af træbyggeri	CO ₂ besparelse i 2016 ved anvendelse af træ i boligbyggeri Tons CO ₂	Total CO ₂ -besparelse i DK i 2016, I alt (48.968.000 tons CO ₂ /år) Besparelse i pct.	Total CO ₂ -besparelse i DK i 2016, Bygge og anlæg (1.433.000 tons CO ₂ /år) Besparelse i pct.
100% (1/1)	366.437	0,75%	25,57%
80% (4/5)	293.150	0,60%	20,46%
50% (1/2)	183.218	0,37%	12,79%
33% (1/3)	122.024	0,25%	8,52%
16,7% (1/6)	61.073	0,12%	4,26%

Beton er utvivlsomt et mere miljøbelastende byggemateriale end træ, og det tærer på jordens naturlige ressourcer, hvorved naturen forandres for evigt. Træ virker umiddelbart til at være et bæredygtigt alternativ til beton, og hvorvidt træ kan være et godt alternativ i konstruktionssammenhænge i Danmark, undersøges nærmere i dette speciale.

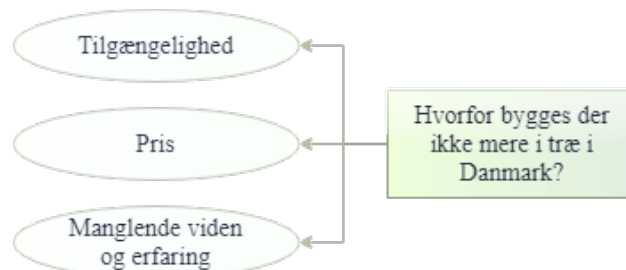
2

Indledende analyse

I dette kapitel formuleres en initierende problemstilling på baggrund af den redegjorte miljømæssige fordel beskrevet i Introduktionen (kapitel 1). Efterfølgende forsøges den initierende problemstilling besvaret igennem informationssøgning i relevante artikler og bøger (afsnit 2.2 på side 9). Kapitlet afslutter med en vurdering af, hvorledes den initierende problemstilling blev besvaret igennem den indledende analyse, hvilket fører til et forskningsspørgsmål, som resten af specialet vil beskæftige sig med (afsnit 2.3.1 på side 33).

2.1 Initierende problem

Som det fremgår i kapitel 1, er træ et fordelagtigt byggemateriale ift. bæredygtighed og cirkulær økonomi, og ved at anvende træ som byggemateriale i stedet for beton kan der reduceres en stor del af den forurening, der er årsagen til den globale opvarmning, vi oplever i dag - og dette kan ske uden en ændring i forbrugeradfærd. Det initierende problem er opstået ved en undren over, *hvorfor der så ikke bygges mere i træ i Danmark, når materialet har potentiale til at afhjælpe et så stort problem for samfundet?* Forfatterne har på baggrund af egne erfaringer og mangel herpå forsøgt at identificere hvilke årsager, der potentielt kan være årsag til, at træ ikke er mere anvendt som byggemateriale i Danmark. Igennem brainstorming er tre hovedårsager identificeret som værende potentielle årsager, hvilke fremgår af figur 2.1.



Figur 2.1: "Problemtræ", der illustrerer de tre identificerede hovedårsager til den initierende problemstilling.

Forfatterne har valgt primært at tage afsæt i anvendelsen af træ i fleretagers byggeri mht. at afklare om tilgængelighed, pris og manglende viden og erfaring er årsager til, at der ikke bygges mere i træ i Danmark. Fleretagersbyggeri er udvalgt, da det er af forfatternes overbevisning, at det er almen viden, at træ kan anvendes til almene boliger såsom parcelhuse, rækkehuse o.lign. en-families boliger. Kravene til byggematerialer er også større ved fleretagersbyggeri, hvilket kunne være en potentiel årsag til, at der findes fornævnte boligtyper i træ og ikke så mange fleretagers bygninger.

De tre identificerede hovedårsager i figur 2.1 vil blive forklaret i de følgende tre afsnit.

2.1.1 Tilgængelighed

Tages et kig tilbage i den danske byggehistorie har traditionen igennem mange århundreder været karakteriseret ved sten og tegl - beton i det sidste århundrede - da der i Danmark, i modsætning til f.eks. vores nordiske nabolande, har været mangel på træ siden slutningen af 1700-tallet, hvor det blev forbudt at bygge huse udelukkende af træ. Dengang udgjorde det danske skovareal kun cirka 2% af landets areal, hvilket i dag er mere end syvdoblet og stadig stigende [Nord-Larsen et al., 2017]. Men den danske byggetradition er stadig præget af den tidligere træmangel, hvilket højst sandsynligt har spillet en væsentlig rolle i forhold til, hvorfor der ikke er bygget mere i træ i Danmark. [Fynholm et al., 2017]

Beton stammer tilbage fra romertiden, men først ved opfindelsen af portlandcementen og jernarmeret beton i hhv. begyndelsen og slutningen af 1800-tallet kom gennembruddet for den betonanvendelse, der er i Danmark i dag. Gennem det 20. århundrede udviklede beton sig til at blive verdens mest anvendte byggemateriale, da det har en række unikke egenskaber, der adskiller materialet fra andre byggematerialer. Nyblandet beton kan formgives til enhver tænkelig geometri, hvilket gør det let at arbejde med. Beton er et isotropt materiale, hvilket betyder, det har samme egenskaber i alle retninger, hvilket gør det endnu lettere at arbejde med. Rent visuelt har beton også en masse fordele, da det kan indtage alle tænkelige overfladestrukturer og farvenuancer. [Andersen, 2014]

Betonens alsidighed inden for byggeriet og den lette tilgængelighed til beton i Danmark, hvor der er meget kalk og ler i undergrunden, kan sagtens tænkes at have haft indflydelse på, at byggeri i træ til sammenligning med beton virker mere omfattende, da træ ikke er så let-tilgængeligt i Danmark. Dette medvirker desuden til en forestilling om en højere pris af materialet.

2.1.2 Pris

De miljømæssige fordele ved at anvende træ i byggeriet er veldokumenteret, mens det har været sværere at dokumentere de økonomiske fordele ved at bygge fleretagers byggeri i træ i Danmark, da denne data ikke findes i Danmark. Mulige økonomiske fordele ved at anvende træ er derfor underbelyst, og mange går stadig i en overbevisning om, at det er dyrt at bygge i træ sammenlignet med beton. [Fynholm et al., 2017]

Grundet mangel på erfaring med fleretagers byggeri i træ i Danmark, ville udenlandske erfaringer være det bedste bud på at finde frem til mulig økonomisk bæredygtighed ved anvendelsen af træ - taget i mente at udenlandsk data sjældent kan overføres 1:1 til danske forhold, da mange parametre spiller ind. Dette inkluderer f.eks. valutaens købekraft, tilgængelighed og forskel i konstruktioner, der vil variere fra træ-projekt til beton-projekt. [Fynholm et al., 2017]

Kigges i udlandet, tyder erfaringer jf. Fynholm et al. [2017] dog ikke på, at højere pris skal være et argument for at fravælge træ i etagebyggeri i Danmark. Ved økonomisk bedømmelse af træ spiller andre parametre nemlig også ind, såsom merværdien i miljøvenligheden af træ; træs lettere vægt, der gør det nemmere at håndtere, transportere og bygge højere på et mindre fundament; og udenlandsk erfaring peger også mod en mulig kortere byggetid. Der er selvfølgelig højere risici forbundet med at være firstmover, og de første træbyggerier i Danmark vil derfor højst sandsynligt være noget dyrere, da det kræver noget erfaringsopsamling for at kunne blive rigtigt godt. [Fynholm et al., 2017]

2.1.3 Manglende viden og erfaring

Grundet manglende viden og erfaring med at bygge i træ i Danmark, er der visse fordomme om anvendelsen af træ i byggeriet. Som nævnt i afsnit 2.1.1, er der eksempelvis stadig en opfattelse af, at der er mangel på træ i Danmark, og flere forbinder træfældning med miljøskadelighed, ødelæggelse af regnskove, osv.. Der er også en opfattelse af, at træ kræver en masse vedligeholdelse, og at der i løbet af bygningens levetid skal bruges en masse ressourcer på dette, hvormed den højere pris igen spiller en rolle. Men tales der om spærkonstruktioner, så ser der ikke ud til at være problemer, da de fleste huse i Danmark har en spærkonstruktion af træ. Disse er i sikkerhed for vind og vejr, og dermed kan de uden problem holde i mange år - hvorfor kan dette så ikke også tænkes ind i vægge og resten af konstruktionen?

Det er fordomme om træets holdbarhed og det danske klima, som f.eks. *“Vejret er for fugtigt til træhuse i Danmark”*, og *“Træet får svamp og forgår”*, der påvirker mange til at tro, at træbyggeri ikke hører til i Danmark. *“I Norge og Sverige er det anderledes, fordi klimaet, grundet fastlandsklimaet, er mere tørt”*. [Peter, 2016]

Det er selvfølgelig en sandhed, at de grundlæggende forudsætninger for træet skal indbygges konstruktivt i byggeriet for at opnå et ordentligt resultat. Det værende ting som at udforme trækonstruktionen, så regnvand ledes væk, fugt bortventileres, og endetræ overdækkes, idet endetræ suger langt mere vand end sidetræ [Johansen et al., 2014]. Generelt er træ et sårbart materiale over for vejret, men en god træbeskyttelse kombineret med konstruktiv beskyttelse kan hjælpe træet til at præstere lige så godt som andre materialer [Storvang, 2005].

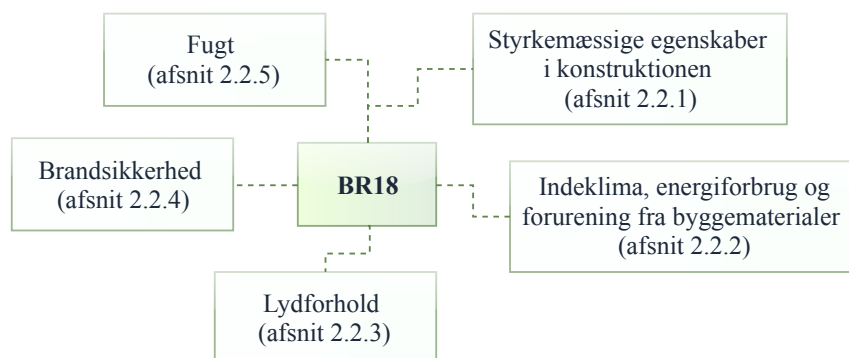
Med den manglende efterspørgsel og deraf ringe erfaring med etagebyggeri i træ i Danmark følger det manglende undervisningsgrundlag for uddannelserne, hvilket kunne medhjælpe til at komme mange af fordommene til livs.

I følgende afsnit præsenteres og gennemgås træs egenskaber i en dansk, byggeteknisk sammenhæng. Dette gøres bl.a. med henblik på at undersøge, hvorvidt de ovennævnte fordomme om, at træbyggeri ikke egner sig til danske forhold, er berettigede.

2.2 Træs egenskaber i byggeriet

I dette afsnit præsenteres relevante byggetekniske egenskaber i træ med henblik på at undersøge begrænsninger ved at anvende materialet i etagebyggeri i Danmark. Byggeri i Danmark skal overholde de gældende krav i Bygningsreglementet 2018 (BR18), hvorfor der er taget udgangspunkt i disse krav for at påpege eventuelle begrænsninger for anvendelsen af materialet i etagebyggeri i Danmark.

På figur 2.2 ses de områder i BR18, hvori der stilles krav som konstruktionen og det anvendte materiale heri skal overholde. På figuren ses en henvisning til de respektive afsnit, hvori emnerne behandles.



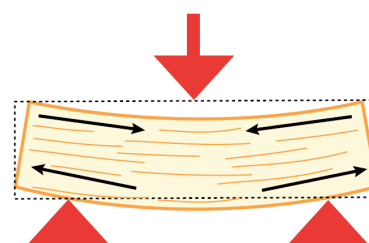
Figur 2.2: Områder i BR18, hvori der stilles krav som konstruktionen og materiale heraf skal overholde. [Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018]

Træs egenskaber ift. de nævnte fordomme om det danske klima gennemgås i afsnit 2.2.5 på side 21. Yderligere præsenteres hele det bæredygtige aspekt bag anvendelsen af træ i afsnit 2.2.6 på side 28.

2.2.1 Styrkeegenskaber

Træs styrkemæssige egenskaber er modsat betons langt større ved træk end tryk. Dette kommer af, at træets celler er orienteret i træets længderetning for, at det kan vokse og give styrke og stivhed til at kunne modstå momentpåvirkning forårsaget af kombination af egen vægt, sne og vindpåvirkning [Johansen et al., 2014]. Ved at trykke træ i fibrenes længderetning vil fibrene blive trykket fra hinanden, hvilket vil ødelægge træet.

Hovedbestanddelen i træ er udgjort af cellulose og lignin. Cellulose er de lange, hule fibre, der har høj trækstyrke. De er bundet sammen i grupper kaldet fibriller, hvori det er ligninen, der limer cellulosefibrene sammen og fylder hulrummet mellem fibre. Det er dermed også ligninen, der har betydning for træets trykstyrke, da det er den, der skal hindre fibrene i at blive trykket fra hinanden. Ligning er dermed betydningsfuldt ift. materialestyrken, da bøjningsstyrken ofte er en dimensionsgivende materialestyrke, der kombinerer både træk- og trykegenskaberne, illustreret på figur 2.3.

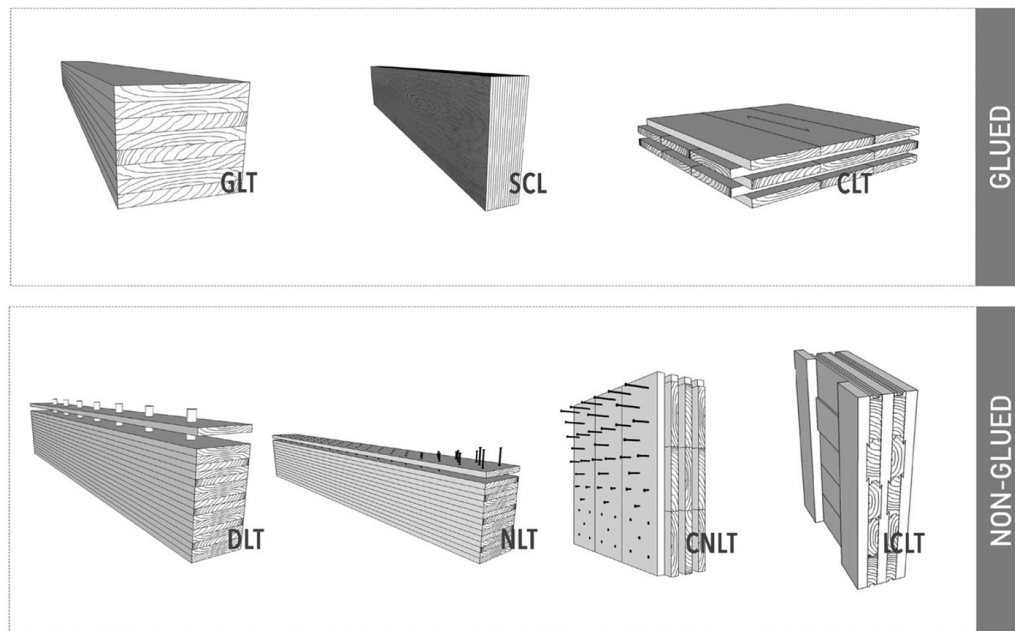


Figur 2.3: Træk og tryk optræden i en simpelt understøttet bjælke. [Øvrum, 2012]

Bøjningsstyrken er den værdi, som træets styrkeklasser er angivet efter, hvilket vil sige, at f.eks. C18 træ har en bøjningsstyrke på 18MPa. Styrkeklassificering af træ sker på baggrund af sorteringen, hvor hovedsageligt knaster, fiberhældning, kompression, sprækker, ringbredde og biologiske skader har betydning for sorteringen grundet stor påvirkning på træets styrkeegenskaber. [Øvrum, 2012]

Træ er i modsætning til beton et anisotropt materiale, karakteriseret ved at materialets styrke og stivhed er retningsafhængig, og tages der ikke hensyn til dette ved anvendelsen af materialet i byggeriet, kan det i værste tilfælde resultere i konstruktionssvigt [Johansen et al., 2014]. Fleretagers byggeri i træ er derfor oftest opført i massivtræ, der bl.a. er et forsøg på at gøre træ mere isotropt og dermed skabe samme styrke i flere retninger.

Massivtræ er en betegnelse, der bruges til at beskrive en familie af konstruerede træprodukter af stor sektionsstørrelse, der giver byggebranchen et rentabelt alternativ til stål og beton [Harte, 2017]. På figur 2.4 fremgår nogle af de mest almindelige typer af massivtræ. Anvendelsen af massivtræ kan medvirke til at nedsænke råvareprisen, da andelen af træ i massivtræelementer er stor, hvilket betyder, at der stilles mindre krav til styrken af det enkelte bræt og heraf sortering af træet [Moe & Brødsgaard A/S, 2011]. Derudover er massivtræelementer jf. Moe & Brødsgaard A/S [2011] ca. 25% lettere end betonelementer, hvilket oftest vil have en positiv indflydelse på omkostningerne af f.eks. funderingen, levering og montering af elementerne.



Figur 2.4: Limet Mass Timber Construction (MTC), øverste række fra venstre mod højre: Glue-laminated timber (GLT); Structural composite lumber (SCL) inklusiv Laminated venner lumber (LVL), Parallel strand lumber (PSL), etc.; og Cross-laminated timber (CLT). Ikke limmede MTC, nederste række fra venstre mod højre: Dowel-laminated timber (DLT); Nail-laminated timber (NLT); Cross-nail laminated timber (CNLT); og Interlocking cross-laminated timber (ICLT). [Smith et al., 2018]

Som det fremgår af figur 2.4, er typerne opdelt i limet og ikke-limet, hvilket kan have en indflydelse på de styrkemæssige egenskaber af elementerne. Et afgørende problem for strukturelt sammensat tømmer er klæbemidlets, eller sømmenes/dyvlernes evne til at overføre laster mellem lamellerne. Alle egnede klæbemidler til massivtræ skaber bindinger, der er stærkere end træet selv, hvorimod mekaniske sammensætninger er afhængige af samlingsmåden, og det skal derfor ofte beregnes. [Mayo, Joseph, 2015]

En fordel ved at anvende limet massivtræ er, at det er lufttæt, hvilket er en fordel mht. røgudvikling og lydforhold. Et par af fordelene ved at anvende mekanisk sammensat tømmer er, at det er fri for kemikalier, samt elementerne både kan præfabrikeres og laves på byggepladserne. [Mayo, Joseph, 2015]

De styrkemæssige egenskaber i massivtræ afhænger også af den anvendte træsort, og så afhænger det af antal af lag, fiberretning af lagene, det anvendte klæbemiddel, komprimering osv., hvormed det ikke er muligt at generalisere f.eks. bøjningsstyrken af massivtræ, heller

ikke bare for f.eks. CLT-elementer.

CLT er krydslamineret (skiftevis fiberretning i lamellagene), og en fordel ved at anvende CLT og de øvrige krydslaminerede typer af massivtræ på figur 2.4, er f.eks. at elementerne bedre kan optage forskydningskræfter forårsaget af vindlaster på facader. Ydermere har krydslamineret træ bedre betingelser for at blive anvendt som plader (dækelementer), da skiftende fiberretning gør elementerne stærkere over for momentpåvirkninger om den svage akse. Krydslamineret massivtræ sammensættes oftest i et ulige antal lag, hvor længderetningen med flest parallelle lag af lameller er spændretningen, på samme måde som armering i dækelementer af beton anlægges parallelt med spændretningen.

Jf. Harte [2017], vil vægge af CLT typisk være udgjort af tre til fem lag og dæk af fem til syv lag, men flere lag kan altid tilføjes om nødvendigt.

Kigges der på hvilke træsorter, der anvendes til produktionen af massivtræ, ser den procentmæssige fordeling ud som følgende [Moe & Brødsgaard AS, 2012]:

- | | |
|----------------|---------|
| • Nordisk gran | ca. 85% |
| • Dansk gran | ca. 5% |
| • Lærk | ca. 5% |
| • Douglas gran | ca. 3% |
| • Fyrretræ | ca. 2% |

Hvilken betydning træsorterne har på elementernes holdbarhed gennemgås i afsnit 2.2.5 på side 23 under *Behandling og vedligehold*.

Massivtræ har skabt nye muligheder inden for byggeri i træ, hvilket ses i byggebranchen rundt omkring i verden. Antallet af fleretagers byggerier i træ stiger eksponentiel, hvor der ved udgangen af 2017 var opført over 50 byggerier på mellem fem og 18 etager [Harte, 2017]. Der opleves konkurrencelignende forhold på at opføre det højeste byggeri i træ, hvor det højeste byggeri igennem de sidste par år, "Brock Commons" i Vancouver, Canada på 18 etager (54 meter) [Jensen, 2017], i 2018 vil blive overgået af det 80 meter høje "Mjøstårnet" i Brumunddal, Norge [Troelsen, 2017]. Denne rekord vil i fremtiden blive slået mange gange - bl.a. har japanerne allerede planer om at opføre et 70 etagers (350 meter) højt træhus kaldet "W350" (figur 2.5), som skal bestå af 90% træ. Efter planen, skal det stå færdigt i 2041 [Jensen, 2018].



Figur 2.5: Visualisering af W350 i Japan. [Jensen, 2018]

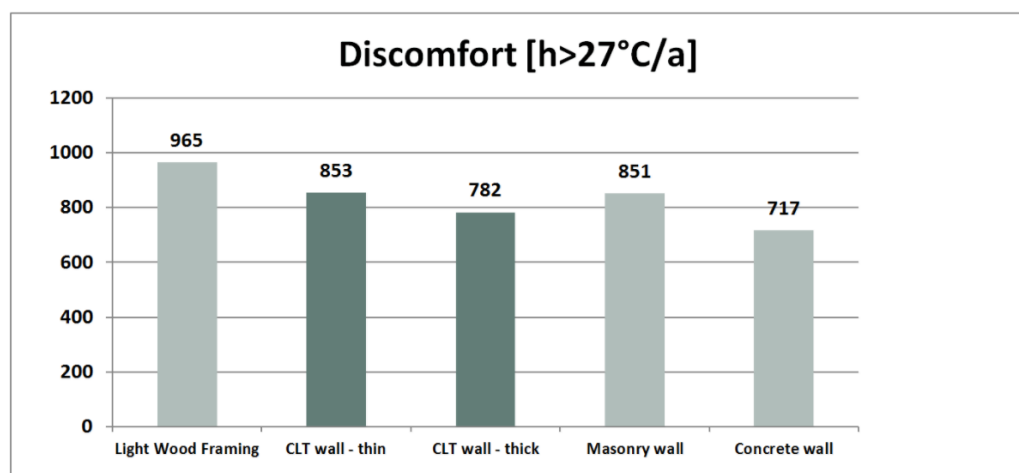
De nuværende og kommende fleretagers byggerier i træ indikerer, at mulighederne for at bygge i træ er mange, og bygningernes højder berettiger om, at træ har gode styrkemæssige materialeegenskaber.

2.2.2 Energi og Indeklima

Iht. BR18 skal bygninger have et sundheds- og komfortmæssigt tilfredsstillende termisk indeklima i forhold til anvendelsen. Dette sammen med de generelle bestemmelser for energiforbrug stiller krav til klimaskærmen på bygningen, hvor der er specifikke krav til transmissionskoefficienten for diverse bygningsdele samt værdier for linjetab. [Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018] Det er ikke noget problem at opnå en tilfredsstillende transmissionskoefficient og linjetab, hvis træ anvendes som bygningsmateriale, da dette mere er et spørgsmål om tætning og isolering, på samme vis som det er når beton anvendes som bygningsmateriale. Dette betyder at energiforbruget til opvarmning af beton- og træbygninger vil være identisk ved minimal ekstra isolering i træbygninger.

En ting, der bør gøres opmærksom på ved anvendelse af træ fremfor beton, er, at beton har en markant højere specifik varmekapacitet end træ per kubikmeter. Det vil sige, at der skal mindre energi til at opvarme en kubikmeter træ end en kubikmeter beton. Det betyder også, at der lettere kan opstå problemer med overtemperatur indendørs i sommerhalvåret. Træ holder heller ikke særlig godt på varmen ift. beton, da træ har en lavere varmeakkumuleringssevne end beton. Dette betyder f.eks. at træ ikke har den samme kølende effekt som beton har i sommerhalvåret.

Stora Enso, der bl.a. producerer masivtræ, har testet denne effekt for fem forskellige vægge, hhv. en let træramme, to tykkelser CLT (10 og 20cm), mursten og beton. De fem forskellige vægge blev isoleret på ydersiden i en sådan grad, at alle vægge havde samme U-værdi til forsøget. Forsøget varede i et år, og blev foretaget i Østrig. Resultatet af forsøget ses på figur 2.6, der angiver antallet af timer i løbet af året, hvor temperaturen oversteg 27°C. Det er ikke det totale antal timer over 27°C, der er interessant ved denne undersøgelse, men mere differensen mellem materialerne.



Figur 2.6: Antal timer i løbet af et år, hvor den indendørs temperatur oversteg 27°C. [Stora Enso, 2013]

Resultatet viser, at der var 0,2% forskel på den tynde CLT væg (CLT wall - thin) og murstensvæggen (Masonry wall), mens den tykke CLT væg (CLT wall - thick) har langt færre timer med en temperatur over 27°C end murstensvæggen, der viser en forskel på 8,1%, dog er denne stadig 8,3% fra betonavæggen. [Stora Enso, 2013]

Med hensyn til indeklima bør det nævnes, at træ kan være sundhedsskadeligt, da det indeholder og udsender flygtige organiske forbindelser (VOC), demonstreret ved at træ lugter. Emissioner fra træ er for det meste terpener og aldehyder. Når lim tilsættes til træmaterialet, kan andre forbindelser som formaldehyd og aromatiske carbonhydrider udsendes fra det træbaserede materiale. [Funch og Clorius, 2002]

WHO anbefaler at den indendørs koncentration af formaldehyd holdes under $0,1\text{mg}/\text{m}^3$ (30 minutters gennemsnitlig koncentration) for at skabe et godt indeklima. Anbefalingen kommer bl.a. af deres litteraturstudie om formaldehyd og dets sundhedsskadelige følger, hvor virkningerne ved lav og kortvarig eksponering omfatter lugt (som kan forårsage ubehag), sensorisk irritation for øjne og øvre luftveje, lungeeffekter (astma og allergi) og eksem. Ydermere viser et studie af mennesker udsat for stor eksponering af formaldehyd over lange varigheder (arbejdsregi) øget risiko for næse- og bihulekræft. [World Health Organization, 2010] Teknologisk Institut har udført in-situ målinger på indeholdet af formaldehyd og VOC i et dansk en-familieshus udført i limede, massive træelementer og konkluderet, at det målte indhold af formaldehyd i huset lå et stykke under WHO's vejledende værdi. Derudover lå de målte aldehyder og terpener også under tærskelværdierne anbefalet af Den Nordiske Kommission [Funch og Clorius, 2002]. Det er i dag muligt at anvende lime, som er formaldehydfri - bl.a. Stora Enso anvender polyurethanlim til fremstilling af deres CLT-elementer.

Samlet set er det altså hverken energiforbrug, termisk indeklima eller sundhedsskadelige VOC, der sætter en begrænsning for at anvende træ fremfor beton i Danmark.

2.2.3 Lydforhold

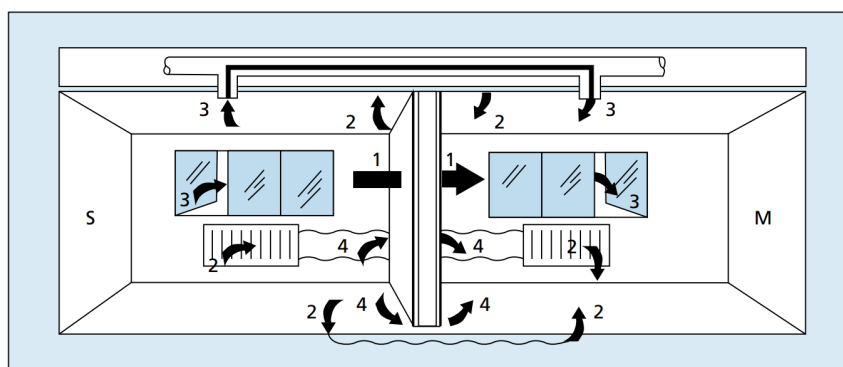
En af de større udfordringer ved at anvende træ i etagebyggeri sammenlignet med beton er træes dårlige egenskaber til at klare lydkrav. Træ er et let materiale, og det har derfor dårlige lydisolerende egenskaber. Massivtræ har heller ikke særlig gode lydabsorberende egenskaber trods dets større vægt og tykkelse, hvilket skyldes bl.a. massivtræs glatte overflade og lave masse. En løsning hertil kan være at tilføje masse, f.eks. ved at støbe et betonlag ovenpå dækelementer i en etageadskillelse, eller anvende isoleringsmaterialer i lofter og vægge med gode lydabsorberende egenskaber. Uanset hvilke løsninger, der vælges, er det vigtigt at indtænke dette i projekteringen, da ekstra isolering reducerer rumdimensioner, samt ekstra beton tilføjer en væsentlig egenvægt til konstruktionen.

En mere detaljeret gennemgang af løsninger, der kan overholde kravene til lydforhold i BR18 og generelt tilsikre et godt lydmiljø, gennemgås i dette afsnit.

I BR18 stilles der et overordnet krav til, at folk, der befinder sig i bygninger, ikke skal være generet af støj genereret uden for eller inde i bygningen. De fleste af bestemmelserne er opfyldt, når det kan dokumenteres, at klasse C i DS 490 Lydklassifikation af boliger er overholdt. [Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018]

Lydklasse C er svarende til intentionerne i byggelovgivningens minimumkrav, hvortil det kan forventes at mellem 15% og 20% af beboerne vil være generet af lyde og støj. Lydklassifikationen af boliger sker på baggrund af krav til: *luftlydisolation*, *trinlydniveau*, *efterklangstid*, *støj indendørs fra tekniske installationer* og *støj indendørs fra trafik*. [Dansk Standard, 2007b]

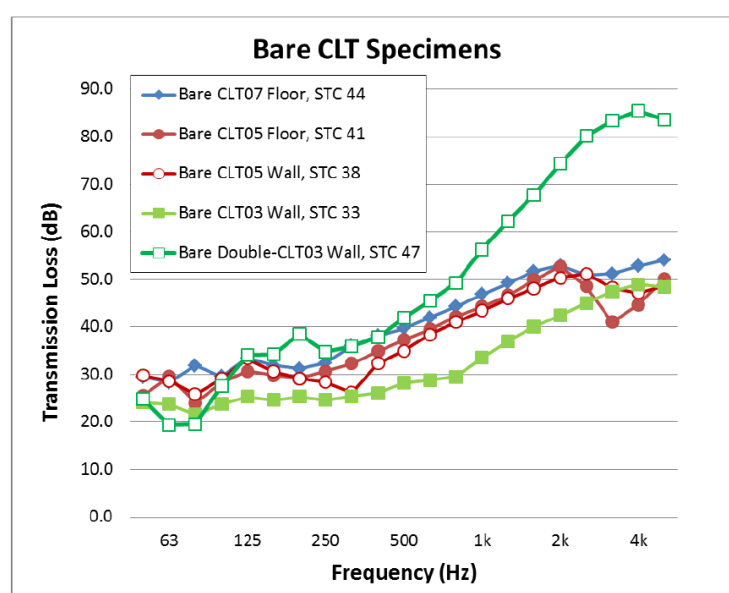
For at sikre god lydisolering mellem to rum, lejligheder etc. er det vigtigt at kende til lydens mulige transmissionsveje. Dette er illustreret på figur 2.7, hvoraf kun vej 1 og 2 diskuteres i dette afsnit, da disse er materialeafhængige.



Figur 2.7: Mulige lydtransmissionsveje mellem to rum. S: senderummet, M: modtagerrummet, 1: direkte lystransmission, 2: flanketransmission, 3: omvejstransmission, 4: utæthedstransmission. [Gyproc A/S, 2010]

Direkte lydtransmission

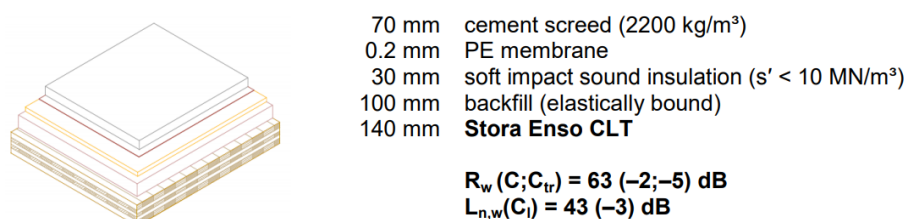
Det er vanskeligt i træbygninger - i lette konstruktioner generelt - at isolere imod støj, hvor specielt lave frekvenser er svære at dæmpe. I en canadisk undersøgelse har de testet forskellige CLT-elementers egen evne til at dæmpe en transmitteret lyd ved forskellige frekvenser. Figur 2.8 viser målingerne for de forskellige elementer uden hensynstagen til gips, isolering osv.. Som det fremgår af figuren, er CLTs egen dæmpning af lyden under 200Hz stort set uændret (ses ved alle kurver), hvor der i intervaller opstår ringere dæmpning grundet resonans i materialet [Hoeller et al., 2017]. Elementet: *Bare Double-CLT03 Wall, STC 47*, har et lag af glasfiber-isolering i midten, hvorfor denne kurve generelt adskiller sig fra de andre og dæmper lyden mere effektivt ved de højere frekvenser.



Figur 2.8: Direkte lydtransmissionstab for forskellige bare CLT-elementer, differentieret ved antal lag, tykkelse, masse pr. areal og Sound Transmission Class (STC). [Hoeller et al., 2017]

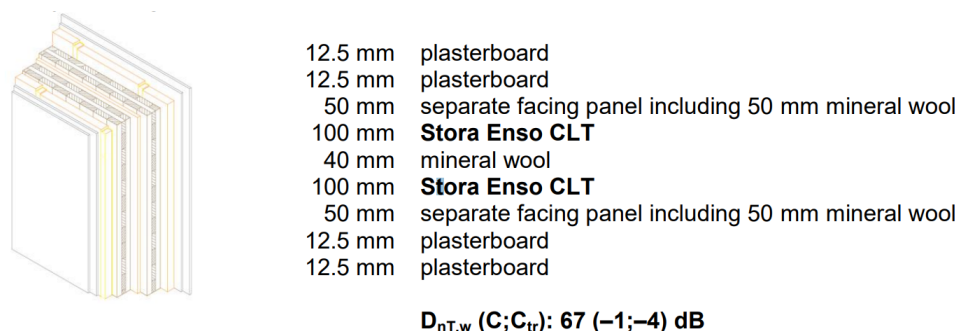
Der findes flere måder at beklæde elementerne på, således lydkravene i DS 490 til klasse C kan overholdes, samt mindske egenfrekvensen således lyd ved lave frekvenser også bliver dæmpet. Beklædningsløsningerne, der gennemgås her, er taget fra Stora Ensos datablad *Soundproofing for CLT* (Stora Enso [2017]), da Stora Enso er en af de førende producenter i Norden indenfor CLT-elementer og dermed en mulig fremtidig leverandør af CLT til danske entreprenører. Ydermere er Stora Ensos beklædningsløsninger fremhævet, da disse overholder kravene til lydklasse C i DS 490.

For loftkonstruktioner kan lydisoleringen forbedres ved at øge massen af elementet eller ved at forbedre den mekaniske isolering af komponenterne. Ved at tilføje masse dæmpes vibrationer mere effektivt, hvilket resulterer i mindre støjemission. Som det blev vist på figur 2.8 på foregående side, er det vigtigt, at egenfrekvensen er så lav som mulig, da det ses, at effektiv dæmpning sker efter resonans, hvorfor Stora Enso anbefaler, at egenfrekvensen holdes under 80Hz. Dette kan opnås ved at ligge et tungt afretningslag (5-7 cm afretningslag i cement) på et blødt trinlydisolerende lag, og herunder ekstra tyngde fra et fyldlag. Beskrivelsen for loftkonstruktionen er vist på figur 2.9, hvor de angivende værdier for dæmpning af direkte lydtransmission (R_w) og trinlyd ($L_{n,w}$) overholder kravene til lydklasse C i DS 490.



Figur 2.9: Eksempel på en loftkonstruktion, der overholder kravene til lydklasse C i DS 490. [Stora Enso, 2017]

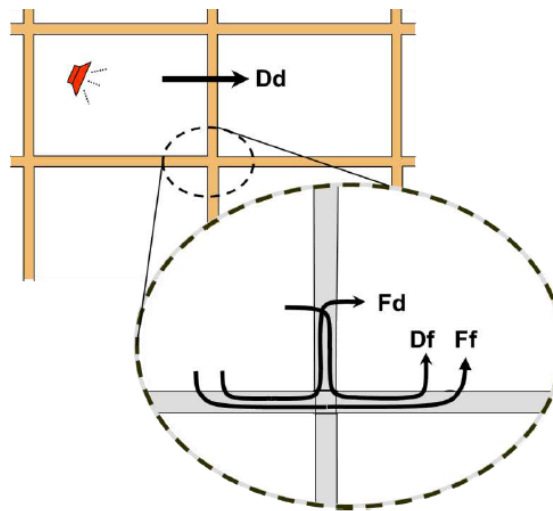
For vægkonstruktioner er det ikke muligt at tilføje masse ved at anlægge et afretningslag, men der er andre måder ved mindre masser, hvorved gode lydisolerende egenskaber kan opnås. Igen skal egenfrekvensen være så lav som mulig - Stora Enso anbefaler, at egenfrekvensen holdes under 100Hz. Egenfrekvensen kan reduceres ved at øge mellemrummene mellem lagene, forøge massen af de individuelle lag og sikre, at facadeplader er bundet så fleksibelt som muligt til den bærende væg. Et eksempel på en vægkonstruktion er vist på figur 2.10, hvor værdien for dæmpning af direkte lydtransmission ($D_{nT,w}$) overholder kravene til lydklasse C i DS 490.



Figur 2.10: Eksempel på en vægkonstruktion, der overholder kravene til lydklasse C i DS 490. [Stora Enso, 2017]

Flanketransmission

Det er ikke kun elementernes lydisolerende egenskaber, der er vigtige for at skabe et tilfredsstillende lydmiljø, da samlingerne mellem elementerne ligeledes har betydning for lydtransmissionen. Lydtransmissionen gennem tilstødende elementer kaldes flanketransmission, som kan transmitteres af tre veje, illustreret på figur 2.11, hvor der haves flanke til flanke transmission, direkte overflade til flanke transmission og flanke til direkte overflade transmission. Flanketransmission kan, om nødvendig, reduceres enten ved at isolere komponenterne eller ved at montere fleksible modstående paneler. [Stora Enso, 2017].



Figur 2.11: De tre transmissions veje for flanketransmission. Dd: Direkte transmission, Fd: Flanke til direkte overflade, Df: Direkte overflade til flanke, Ff: flanke til flanke. [Hoeller et al., 2017]

Træs lydisolerende egenskaber kan altså være en udfordring ved projektering, og skal i en større grad indtænkes end ved brug af beton. Men som det fremgår af væg- og loftkonstruktions eksemplerne, findes der løsninger, som kan minimere lydtransmission i en sådan grad, at danske lovkrav kan overholdes. Der gøres opmærksom på, at konstruktionerne blot er eksempler, hvilket vil sige, at bedre lydklasser end klasse C kan opnås ved brug af træ ved andre konstruktive løsninger.

2.2.4 Brandsikkerhed

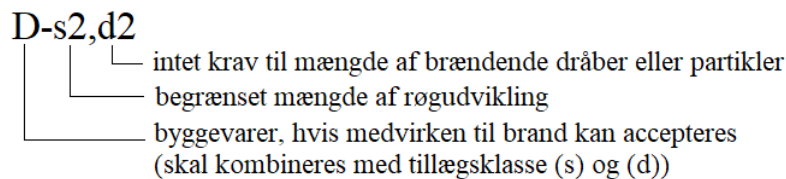
Træ er i modsætning til stål og beton et brændbart materiale, hvorfor mange opfatter materialet som et brandteknisk dårligt materiale. Dette er ikke nødvendigvis helt korrekt, da træ har en forudsigelig indbrændingshastighed, hvorved trækonstruktioner faktisk kan være nemmere at dimensionere med den nødvendige bæreevne gennem et brandforløb. [Associerede Ingeniører ApS & Skov- og Naturstyrelsen, 2001]

For at en konstruktion skal have tilfredsstillende brandsikkerhed, stilles der i BR18 krav til de brandtekniske ydelser omfattende to overordnede ting: [Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018]

1. Brandmæssige materialeegenskaber:
 - varmeudvikling/flammespredning,

- røgproduktion/-spredning, og
 - dråbesmitte/faldende partikler.
2. Bygninger og bygningsdeles brandmodstandsevne:
- integritet og isoleringsevne,
 - bæreevne og stabilitet.

Materialeegenskaberne vurderes ud fra, om de er brandbare eller ej, hvorved der opstår lidt ekstra forhindringer ved at anvende træ i konstruktionen. Da træ er brændbart, ligger et stykke ubehandlet og ubeskyttet konstruktionstræ i materialeklasse D-s2,d2 (klasse B materiale), hvilket angiver følgende: [Byggecentrum, 2016]



Figur 2.12: Brandmæssige materialeklasse for konstruktionstræ. [Byggecentrum, 2016]

D angiver materialets primærklasse, bestemt ud fra materialets reaktion på brand. Materialer indeles i klasse A-F, hvoraf A angiver byggevarer, der ikke medvirker til brand, mens F angiver byggevarer, der ikke findes dokumentation på, at de lever op til noget klassifikationskrav (meget brændbart). s1-s3 og d0-d2 angiver tillægsklasserne for hhv. røg og brændende dråber. s1 er meget begrænset mængde røgudvikling, s3 intet krav til mængde af røgudvikling, d0 angiver ingen brændende dråber eller partikler, og d2 intet krav til mængde af brændende dråber eller partikler.

Idet træ er brændbart, kan det jf. Byggecentrum [2016] kun anvendes ved klasse R-30 eller R-60, hvilket angiver, at bæreevnen i tilfælde af brand kan opretholdes i hhv. 30 og 60 min. [Byggecentrum, 2016]

De danske brandkrav

Siden 2004 har brandkravene i bygningsreglementet været funktionsbaserede, hvor der ikke er specifikke krav til, hvordan brandsikringen i en given bygning skal udføres. Før 2004 bestod brandkravene af en eksempelsamling med præsriptive løsninger, hvilke også kan anvendes til at brandsikre en bygning i dag. Anvendes Eksempelsamlingen tilføjes blot nogle begrænsninger for byggeriet, bl.a. at der ved materialeklasse D-s2,d2 maks. kan bygges op til fire etager [Byggecentrum, 2016], og at en bygning i træ højere end fire etager derfor ikke kan brandsikres jf. Eksempelsamlingen.

I stedet skal de funktionsbaserede brandkrav overholdes, hvilket kræver mere dokumentation fra bygherre og dennes rådgivere ved ansøgning om byggetilladelse. I de funktionsbaserede brandkrav er der ingen begrænsninger på udformning af byggeriet, det skal blot bevises, at visse acceptkriterier er overholdt, således personer har mulighed for at blive reddet sikkert ud af bygningen. Dette kræver flere ressourcer for bygherre at bevise, og da der ikke er meget erfaring med etagebyggeri i træ i Danmark, kræver det endnu flere at være blandt de første. [Dragsted et al., 2017]

Da der i de funktionsbaserede brandkrav ikke er begrænsninger på bygningens udformning,

kan det være svært at dokumentere, om der er en begrænsning i at anvende træ som byggemateriale i etagebyggeri over fire etager. Som skrevet vil dette kræve mange ressourcer, hvorfor det ikke har været et fokus for forfatterne. Der er i stedet taget udgangspunkt i et allerede udført forsøg til at prøve at belyse træs egenskaber under brand.

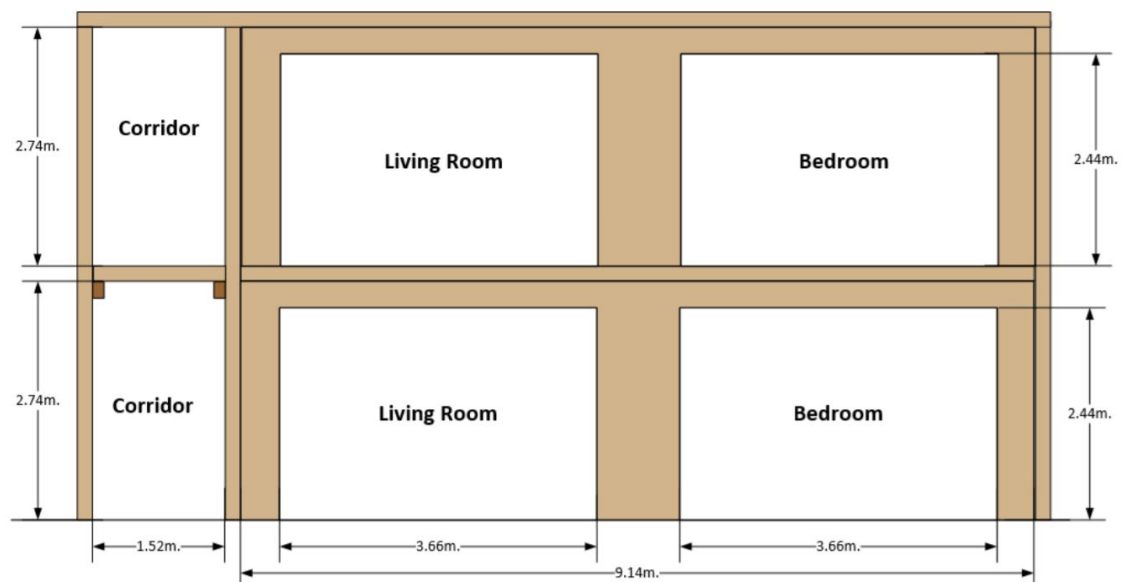
Fuldskala brandforsøg

I 2017 udførte Zelinka et al. [2018] fem fuldskalaforsøg af en toetagers lejlighedsstruktur opført i massivtræ for at observere trækonstruktionen og materialet under brand. Bl.a. to variabler blev undersøgt i forsøget:

1. Mængde og placering af eksponeret massivtræ (fra ingen beskyttelse til 100% af overfladearealet var dækket af gipsplader),
2. Anvendelse af sprinkleranlæg, der både blev testet ved automatisk aktivering og med en udsættelse på 20 min for at undersøge forløbet i tilfælde af svigt af sprinkleranlægget.

Ved passivt at beskytte trækonstruktioner med gipsplader vil forkulning og indbrænding af det bagvedliggende træ blive udsat, hvormed den bærende konstruktion kan bibeholde bæreevnen i denne tid [Glasø og Landrø, 2012]. Antændelsestemperaturen for træ er 300°C , så så længe temperaturen i træet holdes under dette, vil bæreevnen være bevaret [Glasø og Landrø, 2012].

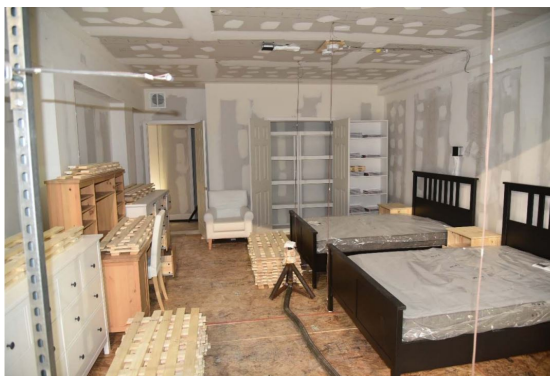
Figur 2.13 illustrerer lejlighedsstrukturen set forfra. Figur 2.14 og 2.15 viser møblering af hhv. stue/køkken og soveværelse set forfra.



Figur 2.13: Simpel front-tegning af den toetagers lejlighedsstruktur til fuldskala brandforsøg [Zelinka et al., 2018].



Figur 2.14: Møblering af stue til brandforsøg set fra front. [Zelinka et al., 2018]



Figur 2.15: Møblering af soveværelse til brandforsøg set fra front. [Zelinka et al., 2018]

Under alle forsøg blev brandudviklingen målt i form af bl.a. varmeudviklingen i stue og soveværelse, samt gennem konstruktionen i omkransende lofte og vægge. Alle fem forsøg blev udført identiske med brandstiftelse i køkkenet. For flere informationer omkring forsøget henvises til Zelinka et al. [2018].

Resultater

I tre af forsøgene var loftet i stuen eksponeret, og forkulning skete i værste tilfælde i en dybde af 23 mm (temperatur på 300°C og over) ved forsøg på op til fire timer. CLT-elementets totale tykkelse var 175 mm. Ved forsøg med sprinkleranlæg var den målte temperatur i elementet noget mindre.

I tre af forsøgene var dele af væggen mellem stue og korridor (se figur 2.13) ligeledes eksponeret, hvor forkulning optrådte ind til 47 mm - igen afhjalp sprinkleren på dette. Delaminering af det første lag i CLT-elementet opstod ikke før omkring 100 min. inde i forsøget.

Varmeflux målt på udvendig side af hoveddøren i en afstand svarende til korridorens bredde, opnåede en maks. værdi over 35 kW/m² i tilfældet, hvor hoveddøren stod åben (hoveddør kan ses bagerst til højre i figur 2.14). I de tre forsøg, hvor døren var lukket, opstod der ingen måling over 10 kW/m², som er den kritiske varmekraft for mange træsorter ift. selvantændelse. Jo mere massivt træet er, des højere er den kritiske varmekraft, dvs. i massivtræ er denne værdi højere end 10 kW/m².

Overordnet set bevarede konstruktionen bæreevnen i alle forsøg, og resultatet gav et positivt indtryk af materialets brandtekniske egenskaber. I forsøgene, hvor der var passiv brandsikring (gipsplader på konstruktionen) og aktiv brandsikring (sprinkleranlæg) afhjalp det på de kritiske forhold i rum og konstruktion, hvorfor intet tyder på, det ikke skulle være muligt at sikre tilstrækkelig brandsikkerhed i et træhus over fire etager. Det er også en vurdering af Dragsted et al. [2017], at der sammenlignet med byggeri i beton og stål ikke er nogen større brandtekniske udfordringer ved at bygge høje huse med bærende konstruktioner af træ, så længe trækonstruktionerne som minimum beskyttes af et til formålet egnet passivt brandbeskyttelsessystem. I følge forsøget er sprinkleranlæg ikke nødvendigt for at opretholde konstruktionens bæreevne, så længe der er passiv brandsikring i form af gips omkring konstruktionen. Det er dog væsentligt i denne sammenhæng at tage

højde for det psykiske aspekt om, hvorledes folk vil føle sig trygge i en træbygning - særligt hvis der ikke er synlig sprinkler til stede. Dette ville kræve en hel undersøgelse for sig at finde ud af, hvorfor emnet ikke berøres yderligere her.

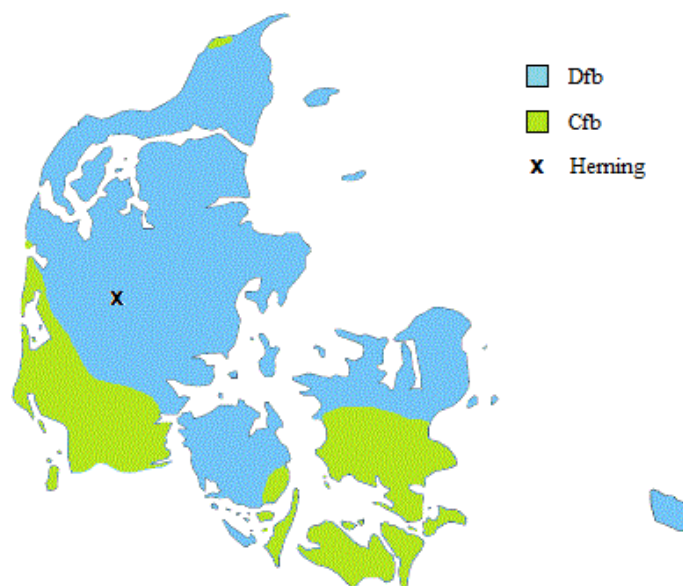
Dragsted et al. [2017] argumenterer, at for fleretagers byggeri opført i træ skal være et mere naturligt valg blandt parterne i byggebranchen, vil det kræve en etablering af et mere ligeværdigt udgangspunkt for brændbare og ubrændbare konstruktioner - evt. ved omskrivning af Eksempelsamlingen.

Dragsted et al. [2017] har via interview af udvalgte forsikringsselskaber yderligere konkluderet, at forsikringsbranchen ikke burde være en stopklods i forbindelse med anvendelsen af træ i fleretagers byggeri i Danmark.

2.2.5 Træbyggeri i det danske klima

Som skrevet i afsnit 2.1.3 mener flere, at træhuse ikke er særligt egnede til det regnfulde danske klima. I dette afsnit ønskes det derfor at undersøge det danske klima nærmere med henblik på at identificere eventuelle vejr- og klimarelaterede begrænsninger for at bygge i træ i Danmark. I undersøgelsen sammenlignes det danske klima med byer i andre lande, der i flere år har engageret sig i at anvende træ som byggemateriale og udvikle byggerier opført i træ. Der er sammenlignet med byer og ikke lande, da det lokale klima kan variere meget i nogle lande.

Det danske klima er i henhold til Köppen-Geigers klima klassifikation opdelt i to, som illustreret på figur 2.16. Klimaerne ses kort beskrevet i tabel 2.1, hvori de udenlandske byer og deres klima også indgår. Ifølge Danmarks Meteorologiske Institut [2018] regner det gennemsnitligt mest i det centrale Jylland, hvorfor det er valgt at tage data fra Herning til sammenligningen. [Peel et al., 2007]



Figur 2.16: Illustration af klimazonerne i Danmark, jævnfør Köppen-Geigers klima klassifikation. [Peel et al., 2007] Klimadefinitionerne (Dfb og Cfb) findes i tabel 2.1. [Gaunaa, 2018]

Tabel 2.1: Köppen-Geiger klima klassifikation af udvalgte byer. [Peel et al., 2007]

By	Klima	Karakteristika for klimaet
Herning	(Dfb) Fugtigt kontinental-klima med varm sommer	• $< -3^{\circ}\text{C}$ - 22°C, • min. 4 mdr. $> 10^{\circ}\text{C}$, • nedbør: ingen forskel over året.
London, Bergen, Stavanger og Amsterdam	(Cfb) Tempereret havklima med varm sommer	• 0°C - 22°C, • min. 4 mdr. $> 10^{\circ}\text{C}$, • nedbør: ingen forskel over året.
Vancouver	(Csb) Middelhavsklima med tør og varm sommer	• 0°C - 22°C, • min. 4 mdr. $> 10^{\circ}\text{C}$, • nedbør: min. $3 \times$ nedbør i vådeste måned, tørreste måned < 30 mm.

Vejrstatistik fra de forskellige byer ses i tabel 2.2. Temperaturer og nedbørsmængder er baseret på gennemsnitsværdier for de sidste 30 år [Climate-Data.org, 2018]. Luftfugtighederne er givet af World Weather and Climate Information [2018].

Tabel 2.2: Vejrstatistik for de udvalgte byer. Viser gennemsnitlig temperatur, nedbørsmængde og luftfugtighed i årets 12 måneder, baseret på gennemsnitsværdier over de sidste 30 år. [Climate-Data.org, 2018] [World Weather and Climate Information, 2018]

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.
Herning												
Temp. [$^{\circ}\text{C}$]	-0,3	-0,3	2	5,7	10,6	14	15,4	15,4	12,4	8,7	3,8	2,2
Nedbør [mm]	66	45	54	44	51	58	71	77	86	91	93	78
Luftfugt. [%]	94	91	87	81	77	78	79	80	85	90	92	93
London												
Temp. [$^{\circ}\text{C}$]	4,9	5	7,2	9,7	13,1	16,6	18,7	18,2	15,5	11,6	7,7	5,6
Nedbør [mm]	56	39	46	45	49	50	48	53	56	60	61	58
Luftfugt. [%]	82	79	73	64	64	64	65	64	73	78	83	84
Bergen												
Temp. [$^{\circ}\text{C}$]	1	0,7	2,3	4,9	9,1	11,9	13,4	13,6	11	7,7	4,1	1,9
Nedbør [mm]	208	144	154	119	105	136	152	182	269	281	254	247
Luftfugt. [%]	79	77	73	74	71	77	80	80	81	81	79	80
Stavanger												
Temp. [$^{\circ}\text{C}$]	0,9	0,6	2,4	5,4	9,7	12,4	14,1	14,4	11,7	8,4	4,6	2,1
Nedbør [mm]	123	83	87	65	75	83	105	137	175	180	167	148
Luftfugt. [%]	79	77	73	74	71	77	80	80	81	81	79	80
Amsterdam												
Temp. [$^{\circ}\text{C}$]	2,4	2,6	4,8	6	11,7	14,7	16,5	16,5	14,3	10,8	6,3	3,5
Nedbør [mm]	70	47	64	44	50	59	75	77	79	87	79	74
Luftfugt. [%]	90	86	84	80	77	79	81	81	84	87	89	90
Vancouver												
Temp. [$^{\circ}\text{C}$]	2,5	4,3	6	9	12,5	15,3	17,7	17,4	14,3	10,1	5,9	3,6
Nedbør [mm]	179	136	116	75	62	53	36	43	68	138	179	198
Luftfugt. [%]	83	79	75	72	71	69	68	66	75	82	84	84

Kigges der nærmere på nedbørsmængderne, fremgår det af tabel 2.2, at der i Bergen og Stavanger generelt falder en del mere regn end i Herning (op til tre-fire gange så meget). Trods den højere nedbørsmængde er luftfugtigheden i Herning op til knap 20% højere over året sammenlignet med de to norske byer. I Vancouver falder der ligeledes en del mere regn i halvdelen af året sammenlignet med Herning, mens luftfugtigheden i Herning også i denne sammenligning er højere (knap 15% i nogle måneder). Dette kan måske begrundes med forskellen i klimaerne, defineret i tabel 2.1, hvor Herning er den eneste af byerne, der er defineret ved et fugtigt klima, hvilket måske kan være en problematik ift. træbyggeri i Danmark.

London kan generelt siges at være mindre fugtig og regnfyldt end Herning, mens temperaturerne også er en anelse højere. Dette tænkes umiddelbart at være positivt ift. anvendelsen af træ i byggeriet. Nedbør og luftfugtighed i Amsterdam er mere eller mindre det samme som i Herning, hvorfor der burde kunne trækkes en parallel mellem byerne - altså hvis de kan bygge i træ i Holland, burde det også kunne lade sig gøre i Danmark.

Som det fremgår af tabel 2.2, skiller Herning sig generelt ud på temperaturen, hvor der som det eneste sted i tabellen er gennemsnitlige temperaturer under frysepunktet (januar og februar). Det er derfor interessant at undersøge træ nærmere ved frostgrader, og om dette kan være årsag til begrænsninger i byggeriet. Først kigges der nærmere på træ og fugt.

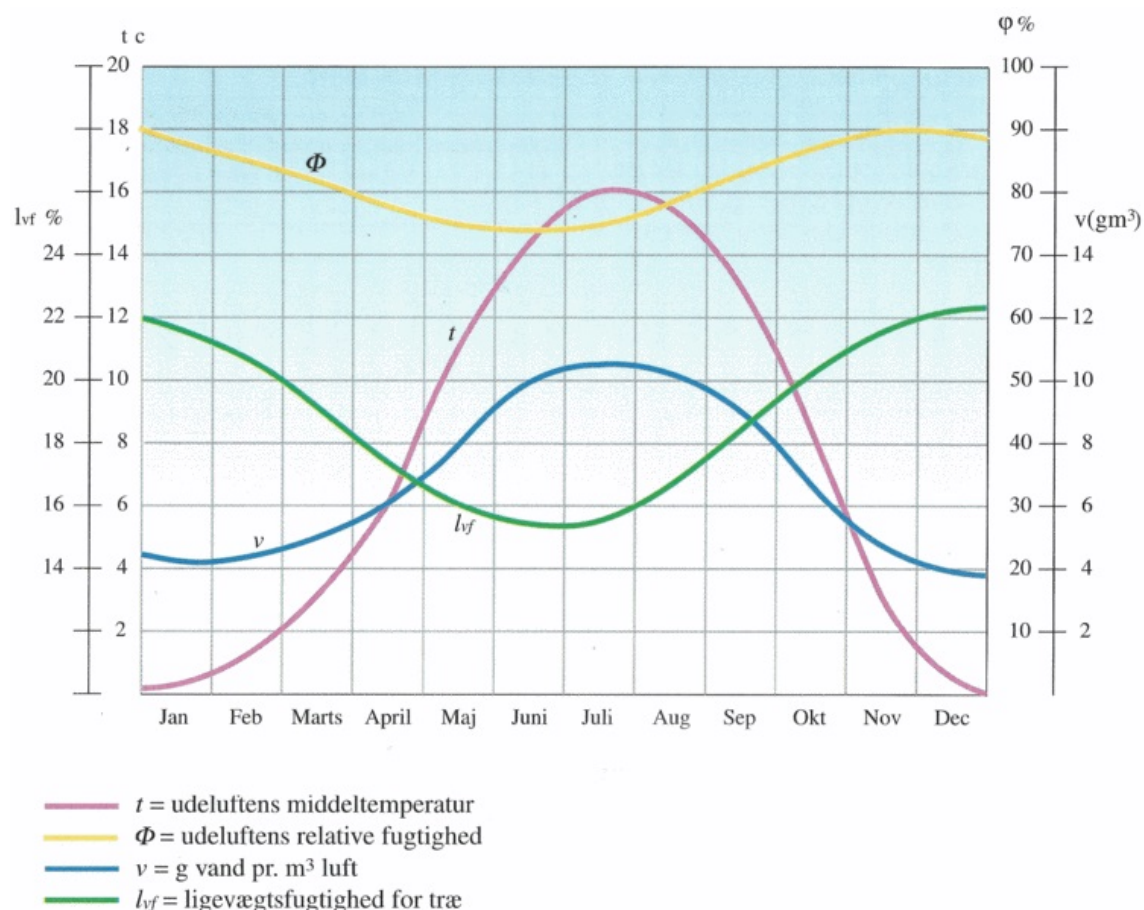
Træ og fugt

Træs egenskaber påvirkes i høj grad af vandindholdet, og det er vigtigt at have kontrol over fugtigheden i materialet, når man laver konstruktioner af træ. Træ ændrer dimension, når fugtindholdet ændres, og med et fugtindhold over 18-20% vil træ kunne nedbrydes af svampe, hvorfor et stabilt, lavt fugtindhold ofte er en forudsætning for vellykkede trækonstruktioner. [Teknologisk Institut, 2008a]

Et hygroskopisk materiale

Træ er et hygroskopisk materiale, hvilket vil sige, at fugtindholdet i træ vil variere afhængigt af dets omgivers relative fugtindhold og temperatur. Med tiden vil træ indstille sig efter dets omgivelser, og vil derved have indstillet sig på en såkaldt ligevægtsfugtighed. [Teknologisk Institut, 2008a]

Der er vist et eksempel på en ligevægtsfugtkurve på figur 2.17 på næste side, der viser ligevægtsfugtigheden i træ ved det omgivende klima i form af den relative luftfugtighed og -temperatur [Johansen et al., 2014]. Ift. de gennemsnitlige værdier for Herning (tabel 2.2), er temperaturerne på figur 2.17 generelt en anelse højere, mens den relative luftfugtighed er lavere. Dette vil betyde, at ligevægtsfugtigheden i træ, lavet på baggrund af vejrstatistikken for Herning i tabel 2.2, vil være en anelse højere end kurven vist på figur 2.17, og dermed mere kritisk i nogle måneder ud fra udsagnet omkring svampeangreb ved 18-20% træfugtighed.



Figur 2.17: Middelklima med tilhørende ligevægtsfugtighed for træ på en midtsjællandsk lokalitet, 1969. [Johansen et al., 2014]

Kurven kan i princippet gælde for alle træarter, men tiden, det tager for træet at indstille sig til ligevægtsfugtigheden, varierer mellem træsorter og -materialer. Varigheden med den kritiske træfugtighed vil altså være begrænset - måske endda ofte ikke eksisterende. Ved at indbygge træet konstruktivt minimeres risikoen for svampeangreb yderligere. Tabel 2.3 på modstående side giver fem eksempler på konstruktiv træbeskyttelse, der er vigtige at tage højde for ved beskyttelse af træ mod fugt fra udendørs miljø.

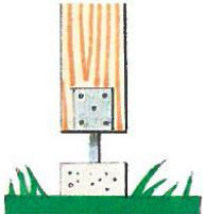
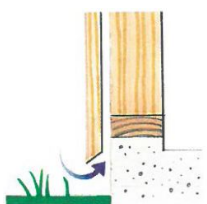
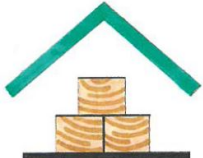
Fugtindholdet spiller en vigtig rolle ift. styrken i træet, og det er derfor vigtigt at sørge for, at de træprodukter, der anvendes, fungerer tilfredsstillende i hele brugstilstanden ift. det omkringliggende klima [Johansen et al., 2014]. Dette kan give nogle udførelses- og projekteringsmæssige udfordringer, hvor klimaet som nævnt i afsnit 2.2.5 varierer meget geografisk. Derved ikke sagt, at udfordringerne ikke er løsbare - f.eks. kan limtræsbjælker sagtens anvendes i svømmehaller.

Grundet risiko for mikrobiel vækst, er det vigtigt, at overfladefugtigheden på træ ved montering ikke overstiger 18%. En fordel ved at bygge i træ i denne sammenhæng er, at monteringen af træbyggeri er hurtig. For at udnytte dette maksimalt skal træet beskyttes mod fugt under udførelse, således det ikke bliver nødvendigt med tørring på byggepladsen. Grundprincippet i denne sammenhæng er, at klimafølsomme bygningsdele, såsom færdige bygningselementer, skal bygges ind og dermed beskyttes så hurtigt som muligt, hvilket kræver opmærksomhed under planlægning af montering og levering af elementer, hvor

årstider og geografi spiller en rolle.

Såfremt klimafølsomme bygningsdele ikke kan indbygges hurtigt nok, ift. at overfladefugtigheden ikke må overstige 18%, kan det være nødvendigt at bygge med vejrforanstaltninger, der hindrer de klimafølsomme bygningsdele i at blive direkte eksponeret for vand. Anvendelse af presenning kan være en mulighed ved montering af træelementer. [Gustafsson et al., 2017]

Tabel 2.3: Fem tommelfingerregler om konstruktiv udformning til beskyttelse af træ i udendørs miljø. [Johansen et al., 2014]

Tommelfingerregel	Konstruktiv udformning
Kernesiden udad	Kerneved er normalt mere modstandsdygtigt over for vejrpåvirkninger, bakterier og svampe end splintræ. Kerneved får også færre ridser og revner end splintræ, når træet svinder og udvider sig i takt med skiftende luftfugtighed.
Afstand til terræn	Monteres træ for tæt på jorden vil træet opfugtes, tilsmudses og inficeres med bakterier fra jorden. Træ bør derfor f.eks. opsættes med en afstand til jord på 20-30 cm. 
Skrå oversider og drypnæser	Drypnæser ved alle træforkanter sikrer, at regnvand drypper af og ikke ledes ind i underliggende konstruktioner. 
Ventilering	Fugtige rum mv. bør altid være ventilerede i et sådan omfang, at trækonstruktionen holdes tør. Ventilationsåbningernes størrelse er afgørende for ventilationen. 
Tørre materialer	Indbygget træ skal være tørret til den træfugtighed, som gælder i brugsfasen - centraltopvarmede rum har en anbefalet værdi på $8 \pm 2\%$. Indbygning af fugtigt træ fører ofte til skimmel i indeklimaet, og byggefugt bør derfor minimeres. Opbevaring af tørre trædele på byggepladsen bør altså undgås. 

Behandling og vedligehold

Der stilles i DS/EN 1995-1-1 krav til materialeegenskaberne for træ, og den nødvendige behandling heraf afhængigt af anvendelse. I Eurocoden er følgende angivet:

“Træ og træbaserede materialer skal enten have naturlig holdbarhed i henhold til EN 350-2 for den aktuelle risikoklasse (anført i EN 335-1, EN 335-2 og EN 335-3) eller gives en beskyttende behandling i henhold til EN 351-1 og EN 460.” [Dansk Standard, 2007a]

Dette betyder, at behandling kun er nødvendigt i nogle tilfælde mht. at sikre holdbarheden af træmaterialerne. Ofte overfladebehandles træmaterialer af æstetiske grunde, hvor bl.a. maling, linolie og ludbehandling kan anvendes. Nogle af overfladebehandlingerne, f.eks. maling, vil forlænge træmaterialernes levetid og dets modstandsdygtighed overfor biologisk nedbrydning. Med overfladebehandling af træ medfølger naturligvis et vedligehold alt efter hvilket æstetisk udtryk, der ønskes bibeholdt, de lokale klimaforhold træmaterialerne eksponeres for, og hvor tidligt det "rå" træmateriale bliver behandlet. Vælges træoverflader malet, kan det jf. Jensen et al. [2017] forventes at disse overflader skal malles hvert 4. - 8. år afhængig af, hvor udsat træoverfladen er for vejrligheder.

Kemisk behandling kan dog være nødvendigt i nogle tilfælde ift. at sikre træmaterials holdbarhed over for biologisk nedbrydning såsom trænedbrydende svampe, insekter (biller og termitter) og marine organismer. Til at vurdere hvorvidt det er nødvendigt med kemisk behandling, angiver DS/EN 335 fem brugsklasser (også kaldt risikoklasser), hvor forskel mellem brugsklasserne er baseret på forskel i miljøbelastninger, der kan gøre træet, eller træbaserede produkter modtagelige for biologisk nedbrydning.

Brugsklasse 1 er situationer, hvor træ eller træbaserede produkter er indendørs og ikke eksponeret for vejrligheder. Brugsklasse 5 er permanent eller regelmæssig nedsækning i saltvand. [Dansk Standard, 2013]

Derudover angiver DS/EN 350 fem holdbarhedsklasser for forskellige træsorter, der angiver, hvor modstandsdygtige træsorterne er overfor diverse biologiske nedbrydninger. Ud fra brugs- og holdbarhedsklasse kan DS/EN 460 efterfølgende anvendes som vejledning til at vurdere, om det er nødvendigt med behandling eller ej, som vist i tabel 2.4 på næste side. [Teknologisk Institut, 2008b]

Miljøstyrelsen anbefaler på deres hjemmeside, at forbrugere bør overveje, om det er nødvendigt at anvende trykimprægneret træ, idet det normalvis ikke findes nødvendigt, hvis træet ikke har jordkontakt, som præsenteret i tabel 2.3 på forrige side (sker aldrig indendørs). Ydermere anbefaler de forbrugere at anvende trykimprægneret træ, der er mærket med NTR (Nordisk Træbeskyttelses Råds mærke) eller de europæiske standarder DS/EN, da dette sikrer, at imprægneringen forlænger træets levetid og er til mindst mulig fare for forbrugeren og miljøet [Miljø- og Fødevareministeriet, 2010]. Uanset om træmaterialer er behandlet eller ej, gør alment god byggeskik sig gældende ift. at opnå en holdbar klimaskærm mht. vandafledning, beskyttelse mod slagregn etc., såfremt træ anvendes hertil.

Træets levetid afhænger altså af, hvilken træsort der er anvendt, og hvordan denne anvendes (iht. tabel 2.4 på næste side). For at illustrere dette, er det valgt at tage udgangspunkt i de træsorter, der anvendes i massivtræ (fremgik i afsnit 2.2.1 på side 10), da projektet primært fokuserer på etagebyggeri, og massivtræ derfor formodentlig vil være det anvendte materiale i konstruktionen. Hertil er levetider indenfor de tre første brugsklasser valgt

fremhævet (over jord, ubehandlet) De fremgår i tabel 2.5. Såfremt læseren er interesseret i levetider for de øvrige brugsklasser eller andre træsorter, henvises til Teknologisk Institut [2008c]. Levetiderne anført i tabellen stammer fra F. Kollmann tilbage i 1951, og sat i relief til DS/EN 335: 1992, da han er en af de få, som har publiceret værdier for træarters holdbarhed udendørs over jord [Teknologisk Institut, 2008c]. Valg af behandling medvirker selvfølgelig til en øget levetid.

Tabel 2.4: Sammenhæng mellem massivt kerneveds risiko- og holdbarhedsklasse, og kerneveds behov for imprægnering. Splintved er for alle træarter klassificeret i holdbarhedsklasse 5. [Teknologisk Institut, 2008b]

Risikoklasse	Holdbarhedsklasse				
	1 Meget holdbar	2 Holdbar	3 Moderat holdbar	4 Mindre holdbar	5 Ikke holdbar
1 (lille risiko)	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	1
4	0	1	1	2	2
5 (stor risiko)	0	1	1	2	2
0 = Naturlig holdbarhed er normalt tilstrækkelig. 1 = Kemisk træbeskyttelse bør overvejes. 2 = Imprægnering er normalt nødvendigt.					

Tabel 2.5: Levetider for ubehandlet træ i fri luft i antal år (min. – middel – max.) [Teknologisk Institut, 2008c]

Træart	Kollmanns betegnelser		
	Stadig tør	I det fri under tag	I det fri ubeskyttet
	Tilsvarende brugsklasser efter DS/EN 335		
	1	2	3
Ædelgran	<900	<50	<50
Rødgran	120-900	50-60-75	40-55-70
Lærk	<1800	90-120-150	40-65-90
Skovfyr	120-1000	90-100-120	40-60-85

Ved at tage hensyn til træets retningsbestemte og fugttekniske egenskaber samt lokale forhold på brugsstedet, som kan få indflydelse på træmaterialets styrke og holdbarhed, kan der altså umiddelbart opnås levetider og vedligeholdelsesintervaller på linje med andre byggematerialer. [Johansen et al., 2014]

Kondens i klimaskærmen

§ 355 i BR18 angiver, at “Bygninger skal sikres mod skadelig akkumulering af fugt som følge af fugttransport fra indeluften. Kuldebroer i klimaskærmen må ikke medføre problemer med f.eks. kondensdannelse og skimmelvækst.” [Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018] Mængden af kondens, der dannes i klimaskærmen, vurderes efter samme beregningsprincipper for træ som for andre bygningsmaterialer. Diffusion med kondensation til følge igennem f.eks. tage

og ydervægge i træmaterialer kan hindres ved brug af dampspærre på traditionel vis. Der er også tilfælde, hvor en dampspærre ikke er nødvendig, hvor bl.a. masivtræ bestående af mindst fem plader og pladetykkelser større end 70mm i mange tilfælde kan undvære brugen af dampspærre [Gustafsson et al., 2017].

Træ og frost

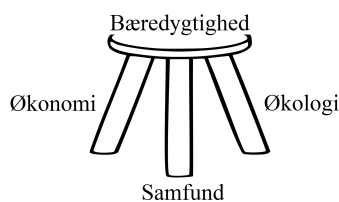
Når et træ står i jorden, kan frostreviser opstå, når vandet i veddet fryser, og de derved opståede spændinger udløses i form af en revne. Denne revne er som beskrevet i afsnit 2.2.1 på side 10 med til at ødelægge og dermed mindske styrken af træet. I en vækstperiode kan revnen "vokse sammen" igen, men den kan have tendens til at åbne sig igen, og idet strukturen i træet er brudt, vil det altid have ændret styrkeegenskaber i netop dette punkt. [Johansen et al., 2014]

Frostrevner i et sådan træ skyldes det høje fugtindhold i træet. Ingen teori eller fundne artikler indikerer, at dette kan blive et problem i konstruktionstræ anvendt i Danmark, hvilket bekræftes yderligere af kontaktet fagekspert fra Superwood. Ved anvendelse af træ i byggeriet har træet et noget lavere fugtindhold end et "levende" træ, og det er ikke tilstrækkeligt højt til, at volumenudvidelse i vandet kan resultere i frostrevner i træet.

Ift. henfald af materialet er dannelse, opbevaring og bevægelse af is inden for træ ikke en bekymring, da biologisk aktivitet kommer næsten til stilstand under frysepunktet for vand. [Lepage, 2012] Anvendelsen af træ vurderes altså ikke at være problematisk eller kritisk ift. de danske frostforhold.

2.2.6 Bæredygtig skovdrift

Jordens skovareal blev i 2005 opgjort til cirka 4 mia. ha, svarende til cirka 30% af jordens landareal eller godt 900 gange Danmarks størrelse [Møller, 2017]. Mængden er faldende med cirka 5 mio. ha om året, og det har i mange år været en kendt problematik, at mennesket er skyld i dette fald, skyld i ødelæggelse af regnskoven og dens dyreliv. Mange har derfor en opfattelse af, at det er en skidt ting at fælde træer og dermed "tære" på naturens ressourcer, men det er vigtigt at fastlægge, at svind i regnskov og bæredygtig skovdrift ikke er det samme. Reduceringen i tropisk regnskov satte i 1990'erne gang i den internationale miljøpolitik, der rettede fokus mod bæredygtigt ressourceforbrug og bæredygtig skovdrift. [Bretner, 2009] [Træ.dk, 2016]



Figur 2.18: Bæredygtighed illustreret ved en taburet med tre ben, lige afhængige af hinanden. [Red., pixabay [2018]] [Skov- og Naturstyrelsen, 2018]

Ideen bag bæredygtighed er, at begrebet hviler på tre ben (illustreret på figur 2.18), hvor der i tilfælde af uligevægt imellem de tre ben vil skabes ubalance i systemet. Der skal eksempelvis være økonomi i skovdriften for, at det er rentabelt at varetage den økologiske og samfundsmæssige udvikling, ligesom der i tilfælde af manglende økologi på sigt vil være manglende økonomisk udvikling, idet ressourcen udtømmes. Den samfundsmæssige udvikling skal sikre, at skoven opfattes som en ressource, der skal værnes om og bruges med omtanke, så reduktion af regnskoven ikke finder sted. [Bretner, 2009]

Ved en gradvis øget efterspørgsel af bæredygtigt træ vil et gradvist øget udbud på bæredygtigt træ opstå, og der vil dermed skabes økonomiske incitamenter til at øge skovarealet og til at mobilisere træressourcen i de eksisterende skove. Dette vil være med til at bevare skovene frem for, at arealet konverteres til f.eks. landbrug som er tilfældet omkring regnskoven, hvilket dermed også bidrager til den samfundsmæssige udvikling i lokalsamfundene. [Beck]

Bæredygtig skovdrift er i følge flere kilder, bl.a. Bretner [2009] og Verdens Skove [2018], godt for skoven og miljøet, da det skaber fokus på at bevare og forbedre bl.a. skovens sundhed, produktion og biodiversitet, således brugen af træ kan fortsætte altid, mens det sikres, at træet og skovens potentiale ikke forringes. The European Forest Institute [2018] angiver, at plantede skove for 25 år siden repræsenterede 4% af verdens skovområder, hvilket er steget til næsten 7% i dag. De 7% bidrager med min. en tredjedel af al den træ, der bruges i verden, så skovdrift skal ikke undervurderes. Ved bæredygtig skovdrift sikres det, at skovene "holdes levende" og sunde, fordi fældning af træer skaber mere plads til andre træer, hvormed der sikres nok nærring i jorden til at andre træer bedre kan vokse. Det skaber også en automatisk variation i træernes aldre, som også er med til at holde skoven i gang i fremtiden.

Træinformation [2018] skriver, at dyrkede skove er mere effektive til kulstofoptagelse og lagring end urørte naturskove, hvor træerne normalvis dør, rådner og derefter ryger CO₂-lageret i træet direkte tilbage til atmosfæren. Her spiller træprodukter en vigtig rolle for skovene, da de er med til at øge effektiviteten af skovens optagelse og lagring af kulstof - dette fordi det for det første øger væksten af de dyrkede skove, og fordi træprodukter som tidligere forklaret forlænger perioden, hvori kulstof er lagret fra atmosfæren. Øget brug af træ til for eksempel byggeri er derfor en nem og effektiv måde at modvirke klimaforandringerne på. [Træinformation, 2018]

For at sætte en sammenhæng op mellem den ekstra mængde træ, det ville kræve for naturen at producere ved øget efterspørgsel i byggebranchen, har Green [2013] undersøgt mængden af træressourcer i relation til den mængde, der er behov for i byggeriet. Deres undersøgelse viste, at der på 13 min. vokser nok træ i Nordamerika alene til at give nok træ til en 20 etagers bygning. Så umiddelbart er træ ikke en udtømmelig ressource, så længe vi sikrer, skove genplantes og drives bæredygtigt [Træinformation, 2018].

Dansk træimport

I Danmark importeres størstedelen af trælasten fra Sverige (69,7% af al import i 2017), og den resterende del importeres fra lande som Polen, Norge, Letland, Tyskland, Finland og Litauen. [Dansk Træforening, 2017]

Jf. European Environment Agency [2017], er der i (og omkring) Europa igennem de seneste mange år sket en stor stigning i det samlede skovareal. En af deres undersøgelser fra 2010 viser, at Norge kun udnyttede cirka 50% af deres skovtilvækst i 2010, Letland udnyttede

kun 65%, Polen og Finland udnyttede knap 75%, og Tyskland og Litauen udnyttede cirka 80% af deres skovtilvækst. Et land som Sverige udnyttede til gengæld al deres skovtilvækst i 2010, men Dansk Træforening [2017] angiver, at den danske import fra Sverige er steget i løbet af de sidste år. Det kan altså indikere, at skovtilvæksten bl.a. giver Danmark mulighed for øget import af materialet (også fra de øvrige nævnte lande).

Hvorledes skovtilvæksten er udnyttet i landene i 2018 er ikke kendt, men der har igennem de seneste knap 20 år været øget fokus på bæredygtig skovdrift - også i ovennævnte lande [PEFC Council, 2017]. Koblingen mellem bæredygtig skovdrift og tilvækst i skovene kan altså indikere, at der ikke er blevet mindre træ siden 2010, tværtimod. Øget import af træ kan ikke umiddelbart afskrives. Ellers er der også mulighed for at importere træ fra andre steder i verden, bl.a. Nordamerika som nævnt ovenfor. Selvom dette bidrager til øget forurening ved længere leveringsafstande af materialet, er materialet stadig langt mere miljøvenligt end beton.

I Danmark var der i 2010 kun en udnyttelse på knap 63% af skovtilvæksten [European Environment Agency, 2017], så det kan umiddelbart virke til, at der også er muligheder for at øge udbuddet af dansk træ på en bæredygtig måde. Jf. kontaktet fagekspert fra PEFC, anvendes dansk træ i forvejen både i Danmark og i udlandet, og det har som udgangspunkt ikke ringere tekniske kvaliteter end udenlandsk træ. Afhængigt af træart og anvendelse er der dog forskel på, hvad der anbefales at anvende.

Men det er selvfølgelig vigtigt at understrege, at når der anvendes træ i byggeriet, skal det være bæredygtigt træ. Klima- og miljøfordele ved at anvende træ i byggeri frem for beton er et af hovedargumenterne for at foretrække træet - og hvis ikke træet kommer fra bæredygtig skovdrift, forsvinder disse kæmpe fordele.

Certificering

Certificering af træ er opstået i forbindelse med øget fokus på bæredygtig skovdrift, og certificering er med til at sikre, at den anvendte træ kommer fra skove, hvor brugen af træ ikke forringer skoven [Bretner, 2009]. Ikke certificeret træ kan godt være bæredygtigt, men for at sikre træet er bæredygtigt, er den nemmeste måde ved at efterspørge certificeret træ. [Beck]

Der findes mange forskellige certificeringssystemer rundt omkring i verden. De to internationalt største og globalt mest anerkendte systemer for træ er FSC og PEFC, der tilsammen dækker over 98% af alle certificerede skove i verden. Der var oprindeligt en betydelig forskel mellem omfang og indhold i de to systemer, men med tiden har de tilnærmet sig hinanden i de krav, de stiller til opnåelse af et certifikat. Den store forskel ligger i deres geografiske dækning, bl.a. grundet baggrunden for deres etablering. FSC har en bredere dækning i Sydamerika, Asien og Afrika, mens PEFC har en bredere dækning i Nordamerika, Europa og Australien. [Bretner, 2009]

Ved at sikre den anvendte træ er certificeret med enten et af de to logoer vist på figur 2.19 eller en anden certificering, hjælper man til at sikre, der ikke tæres på naturens ressource eller miljøet skades.



Figur 2.19: FSC og PEFC er de to største certificeringssystemer i verden. [Forest Stewardship Council, 2018] [PEFC, 2018]

2.3 Begrænsinger for anvendelse af træ i byggeriet

I dette afsnit opsummeres resultaterne af den indledende analyse (tabel 2.6), mhp. at besvare den initierende problemstilling. Hvorledes den initierende problemstilling er blevet besvaret igennem analysen diskuteres umiddelbart efter tabellen. Med afsæt i dette, formuleres slutteligt et forskningsspørgsmål (afsnit 2.3.1 på side 33), som den resterende del af specialet beskæftiger sig med.

Tabel 2.6: Opsummering af de gennemgåede egenskaber for træ i en bygningsmæssig sammenhæng.

Styrkeegenskaber (afsnit 2.2.1 på side 10)	Massivtræ har udvidet mulighederne for at anvende træ som byggemateriale, hvilket udenlandske fleretagers byggeri i massivtræ beviser. Fremtidige planlagte fleretager byggerier i træ indikere, at vi endnu ikke har set begrænsningerne for, hvad der kan lade sig gøre at bygge i træ.
Energi og Indeklima (afsnit 2.2.2 på side 13)	Det er ikke et problem at opnå et tilfredsstillende termisk indeklima, hvis træ anvendes som byggemateriale, da dette afhænger af isolering og tætning på samme vis som for beton - dermed umiddelbart samme energiforbrug for de to materialer. Det er ligeledes muligt at opnå et sundt indeklima, såfremt man er opmærksom på valg af træmateriale. Hertil skal det sikres, såfremt der anvendes klæbemidler, at disse ikke udleder skadelige mængder af VOC.
Lydforhold (afsnit 2.2.3 på side 14)	At opnå tilfredsstillende lydforhold er en større udfordring ved træ. Det kan dog sagtens lade sig gøre at opnå gode lydforhold ved brug af træ, såfremt man er opmærksom herpå ved projektering af bygningselementer. F.eks. kan gode lydisolerende egenskaber for gulvkonstruktioner bl.a. opnås ved at øge massen f.eks. ved at anlægge et cementbaseret afretningslag.
Brandsikkerhed (afsnit 2.2.4 på side 17)	Trods træ værende et brandbart materiale, er det ikke nødvendigvis et dårligt materiale at anvende i den bærende konstruktion. Træ brænder med en konstant hastighed, hvilket gør det nemmere at dimensionere konstruktionen mod brand.

	Ved at anvende f.eks. gipsplader omkring konstruktionen, undgås forkulning af træet, hvormed bæreevnen bibeholdes. I følge de danske brandkrav er der altså ikke umiddelbart noget, der tyder på, at brandsikkerhed skaber en begrænsning for anvendelsen af træ i etagebyggeri. For at fleretagers byggeri opført i træ skal være et mere naturligt valg i Danmark, vil det kræve et bedre udgangspunkt ift. brandsikring af bygningen (mulig omskrivning af Eksempelsamlingen).
Det danske klima (afsnit 2.2.5 på side 21)	Der kan ved hensyntagen til træets fugttekniske egenskaber opnås levetider og vedligeholdelsesintervaller på linje med andre byggematerialer. Dette, samt om det er nødvendigt at behandle træ, afhænger i stor grad af valg af træsort, da træsorter har forskellige holdbarheder overfor biologisk nedbrydning. Hertil kan der vælges træsorter med naturlig holdbarhed, som kan anvendes i alle brugstilfælde uden kemisk behandling. Frostforhold medfører ingen begrænsning for anvendelsen af træ i byggeri i Danmark.
Bæredygtig skovdrift (afsnit 2.2.6 på side 28)	Så længe det sikres, at det anvendte træ er certificeret, hvormed det kommer fra bæredygtig skovdrift, tyder større efterspørgsel på træ kun på en positiv udvikling i skovene i verden. Mængden af tilgængeligt træ tyder ikke på at blive et problem ved større anvendelse af træ i byggeriet.

Det fremgår af tabellen, at intet tyder på, etagebyggeri i træ ikke skulle være muligt i Danmark - hverken i forhold til tilgængeligheden af materialet, udforming af byggeriet eller behandling og vedligehold mod det danske klima, så der sikres en levetid tilsvarende til byggeri i beton. Det kan altså konkluderes i den indledende analyse, at de gennemgåede faktorer og det danske reglement inden for byggeri ikke medfører nogle begrænsninger for anvendelsen af træ i etagebyggeri i Danmark. Det indikerer dog nogle dårligere forudsætninger end ved byggeri i beton, bl.a. i form af en mere omfattende brandteknisk dokumentation.

Men den initierende problemstilling, *hvorfor bygges der ikke mere i træ i Danmark*, er ikke fuldt besvaret igennem den indledende analyse. Én af grundene til dette er, at den indledende analyse beskæftiger sig meget med, *hvad der kan lade sig gøre* ved at undersøge, om der er begrænsninger for at anvende træ som byggemateriale i Danmark. I analysen har der ikke været forholdt sig til, hvor omkostningsfulde, tidskrævende o.lign. de gennemgåede løsninger er, og om der på denne front overhovedet er fordele ved at anvende materialet, der kan opveje for de dårligere forudsætninger. Der mangler altså konkret information omkring, hvilke fordele/ulemper der er ved at anvende træ fremfor beton, før det er muligt at komme nærmere forklaringen på, hvorfor der ikke bygges mere i træ i Danmark.

2.3.1 Forskningsspørgsmål

Med afsæt i ovennævnte vælges det at formulere et forskningsspørgsmål, der søges besvaret gennem den resterende del af specialet.

Forskningsspørgsmålet lyder som følgende:

Hvilke konkurrencemæssige fordele er der ved at opføre etagebyggeri i træ frem for beton i Danmark?*

**Med konkurrencemæssige fordele menes noget, der placerer materialet over konkurrenten (beton) i en konkurrence om at skabe/levere bedste etagebyggeri.*

Forskningsspørgsmålet er normativt¹, hvilket er fundet passende i denne undersøgelse, da det er ønsket at undersøge værdien af træ som byggemateriale. Det er af forfatterens opfattelse, at træ vil være et miljøvenligt og bæredygtigt alternativ til beton, men hvorledes der er andre fordele ved materialet i en byggemæssig sammenhæng er ikke kendt. I tilfælde af at bygherrer, entreprenører og andre aktuelle parter skal overbevises om, at de i fremtiden skal bygge i træ, er det vigtigt at fremhæve værdien af materialet og de medfølgende konkurrencemæssige fordele, således parterne bedre kan se, hvordan materialet muligvis kan komme dem til gode.

For at kunne konkludere om træ vil være et konkurrencedygtigt alternativ til beton, tages der udgangspunkt i udenlandske fleretagers træprojekter. Som beskrevet i afsnit 2.1.2, vil udenlandske erfaringer være det bedste bud på at finde frem til en mulig økonomisk bæredygtighed ved anvendelsen af træ. Jf. Harris og Ogbonna [2002] viser casestudier sig værdifulde i situationer, hvor den eksisterende viden er begrænset, da de kan give dybdegående kontekstuel information, som kan resultere i et overordnet forståelsesniveau inden for et emne. Multicasestudie er derfor vurderet at være en relevant undersøgelsesmetode. Ydermere vil konkrete byggeprojekter i træ kunne afklare uvisheder omkring bygbar- og tidsmæssige fordele samt eventuelle ulemper ved brug af materialet.

Det ønskes ligeledes at inddrage danske entreprenører i undersøgelsen, således vurderingen sker på baggrund af, hvad de mener der er afgørende i bedømmelsen af et byggeprojekts præstation. Dermed er det nemmere at vække og/eller øge en interesse blandt de danske entreprenører for at anvende træ i etagebyggeri.

I kapitel 3 vil dette beskrives nærmere, samt hvilke andre metoder, der vil blive anvendt til besvarelse af forskningsspørgsmålet.

¹Normative spørgsmål anvendes, når man gerne vil bestemme værdien af noget (f.eks. hvor ønskværdigt, godt, normalt eller anvendeligt det er), ligesom de gør det muligt at fremsætte en holdning eller en vurdering. [Eriksen, 2017]

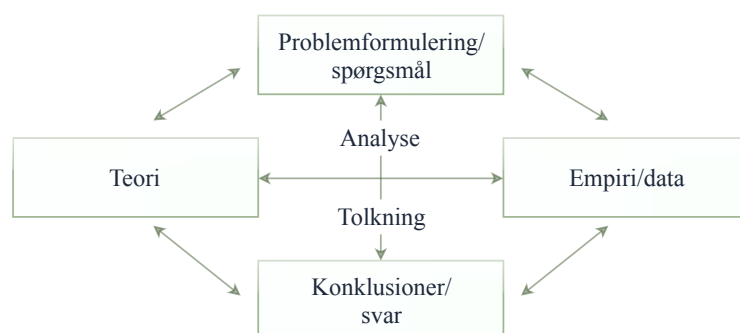
3

Vidensproduktion og metodevalg

I dette kapitel redegøres for vidensproduktionen og de metoder, der er valgt til besvarelse af forskningsspørgsmålet givet i afsnit 2.3.1 på side 33. Indledningsvist beskrives arbejdsprocessen bag specialet (afsnit 3.1), hvorefter rapportstrukturen præsenteres for at give et indblik i specialets opbygning samt formål med vidensproduktionen i de enkelte kapitler (afsnit 3.2 på næste side). Dernæst diskuteres/fastlægges rapportens videnskabsteoretiske ståsted, da dette er væsentligt for at skabe forståelse for undersøgelsens rammer (afsnit 3.3 på side 37). Slutteligt præsenteres undersøgelsesrammerne (-design), og der redegøres for de metodiske overvejelser, der ligger til grund for de valgte metoder til undersøgelsen (afsnit 3.4 på side 40).

3.1 Arbejdsproces

Den overordnede vidensproduktion og arbejdsproces igennem specialet er sket ud fra en samfundsvidenskabelig¹ og problemorienteret² tilgang. Dette kommer til udtryk igennem hele specialeperioden. Figur 3.1 kan anvendes til at illustrere arbejdsgangen igennem forløbet, der viser et samspil mellem *Problemformulering/spørgsmål* og *Konklusioner/svar*, der findes gennem tolkning og analyse af forskellig *Empiri/data* og *Teori*. Processen mellem elementerne er i denne rapport gennemført iterativt og cirkulært, hvor spørgsmål har ført til analyser, svar og delkonklusioner, som har ført til nye/andre spørgsmål og undersøgelsesområder. Dette forløb igennem specialet er forklaret nærmere efter figuren, opdelt i tre delforløb. [Andersen, 2013]



Figur 3.1: Vidensproduktionen i specialet kan illustreres ved denne model. [Andersen, 2013]

¹Samfundsvidenskab beskæftiger sig med en række aspekter af menneskeskabte fællesskaber, *samfund*, f.eks. sociale, økonomiske og politiske problemer [MHansen, 2017]

²Den problemorienterede arbejdsgang identificerer og formulerer, hvad der opleves som problemer [Redaktionen, 2017c]

Idéfase

Forløbet startede ud med en brainstorming inden for samfundsrelevante emner og problematikker, hvor Cirkulær Økonomi blev identificeret som overordnet tema for specialet. Cirkulær økonomi blev fundet aktuelt, da det er et emne, der berører mange forskellige aspekter af de problemstillinger, verdenssamfundet står over for. Det er et emne, der kan skabe økonomisk bæredygtighed og som dermed kan give meget værdi for det danske samfund ved implementering af principper herfra, som også er dokumenteret af Morlet et al. [2015].

Der blev efterfølgende lavet et stort mindmap med henblik på at påpege alle de forskellige, aktuelle områder/emner i den danske byggeindustri, hvori principperne fra Cirkulær Økonomi kunne implementeres og afhjælpe eller medvirke til at forbedre nutidige forhold. Anvendelsen af mere træ i byggeriet i Danmark blev identificeret som det ønskede emne at undersøge nærmere. Dette, da emnet blev fundet interessant ift. de miljømæssige problemer, verden står overfor, samt der opstod en undren over, at Danmark ikke havde fulgt den udvikling, der igennem de seneste år har været inden for træbyggeri bl.a. i de omkringliggende lande til Danmark.

Alt forarbejde til valg af emne tog udgangspunkt i *teori* og *andres empiri*, hvor ud fra små problemanalyser, årsagsdiagrammer og tolkning heraf førte til *den initierende problemstilling*, der kan betragtes som rapportens indledende *spørgsmål*.

Indledende del

Det fysiske speciale blev indledt med en teoretisk undersøgelse af den initierende problemstilling med henblik på at identificere eventuelle begrænsninger eller problemer, der kunne være årsag til eller forklare denne undren.

Den indledende analyse tager også udgangspunkt i *teori*, da det var ønsket at danne et ordentligt udgangspunkt for specialets videre undersøgelse. Det teoretiske grundlag for anvendelsen af træ i etagebyggeri er mangelfuldt og ikke tilstrækkeligt til den indledende analyse alene, hvorfor der er suppleret med forskellig empiri i form af bl.a. forsøg med materialet udført af andre.

Undersøgelse og besvarelse af den initierende problemstilling i den indledende analyse kan altså siges at repræsentere en *delkonklusion*, som er lavet på baggrund af eksisterende *teori* og *andres empiri*. Denne besvarelse og delkonklusion leder frem til rapportens *forskningsspørgsmål*, der fungerer som styringsredskab for resten af undersøgelsen.

Hovedundersøgelse

Hovedundersøgelsen til besvarelse af forskningsspørgsmålet er foregået ved egen indsamling af *empiri* og *data* gennem casestudier, spørgeskemaer og standardiseret interview af personer i de forskellige cases, primært entreprenører, bygherrer og en enkelt arkitekt.

Selve rammerne for hovedanalysen er baseret på *teori*, fundet gennem et omfattende litteraturstudie. Teorien danner altså grundlaget for hele hovedundersøgelsen og den indsamlede empiri/data, der gennem analyse og tolkning fører til specialets *konklusion*.

3.2 Specialestruktur

Overordnet set kan specialet defineres som en eksplorative undersøgelse, hvilket er en samfundsvidenskabelig metode til at udforske forhold og fænomener, der er mindre kendte

[Andersen, 2013]. Undersøgelsen inddrager eksisterende teori og empiriske studier inden for emnet, hvorefter specialet gennem hovedanalysen tilføjer ny erfaring til udvidelse af vidensfeltet.

Igennem specialet varierer undersøgelsesformålet i de forskellige kapitler og afsnit. Dette kan forklares ved den videnskabsteoretiske tilgang, som forklares nærmere i afsnit 3.3. Figur 3.2 på den følgende side illustrerer rapportstrukturen med de forskellige undersøgelsesformål, hvortil den anvendte dokumentation til vidensproduktionen er angivet (iht. figur 3.1 på side 35).

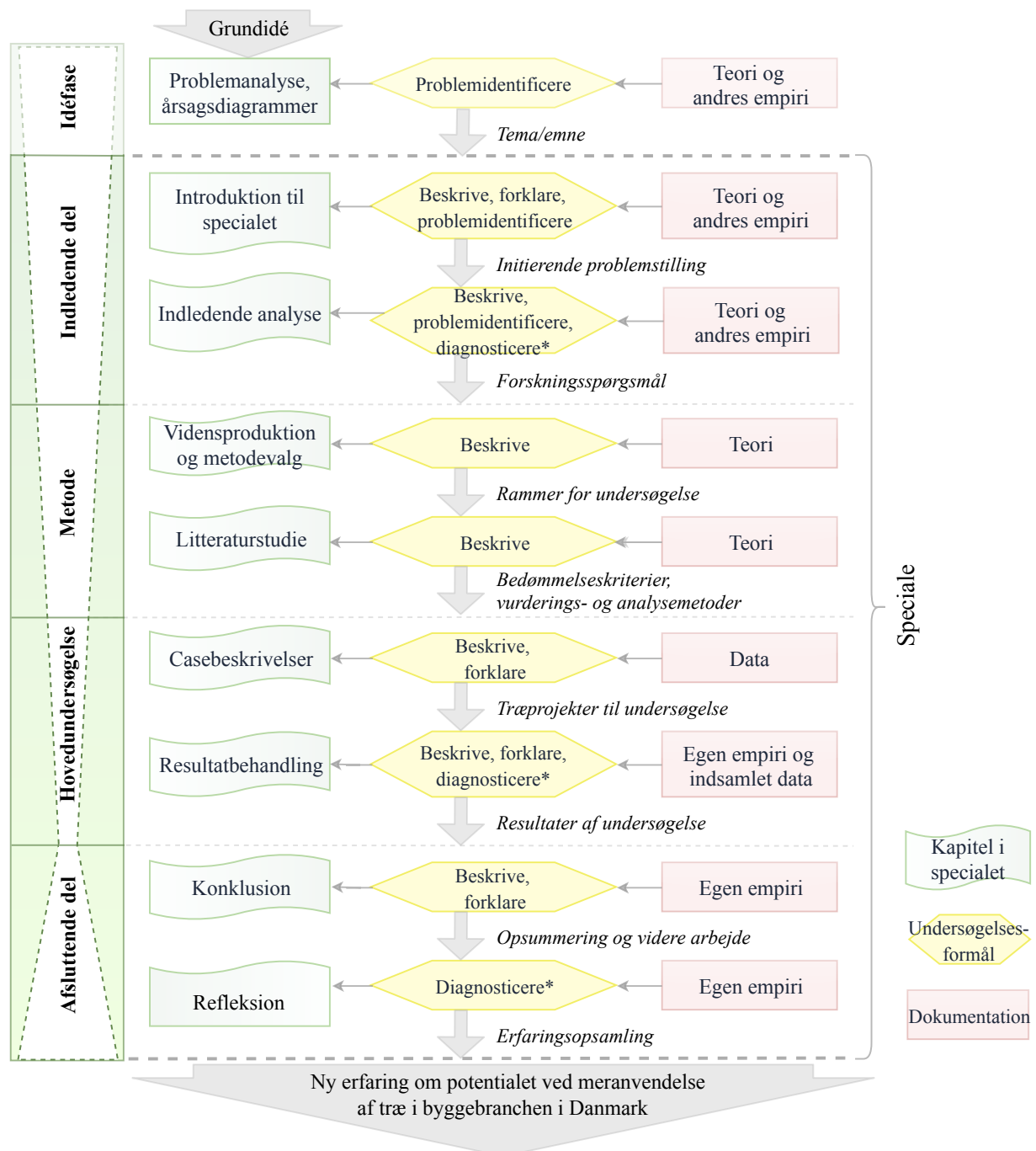
3.3 Videnskabsteoretisk ståsted

Videnskabsteori er i videnskabelige sammenhænge et essentielt begreb, da det udgør grundlaget for al stillingtagen, der både implicit og eksplicit danner rammerne for en undersøgelse. Det er derfor vigtigt at klarlægge den videnskabsteoretiske tilgang, således grundlaget for dette speciale står klart for læseren. [Thurén, 2008]

I forbindelse med at klarlægge specialets videnskabsteoretiske udgangspunkt, er der bl.a. taget udgangspunkt i Fuglsang et al. [2013]. Efter granskning af bogen har det været vanskeligt at angive det nøjagtige videnskabsteoretiske ståsted igennem projektetforløbet, da der i flere teorier findes passende argumenter for, at det er dette ståsted, der haves. Samtidig findes også argumenter for det modsatte. Nogle videnskabsteorier er vidt forskellige, mens mange i bund og grund minder meget om hinanden, hvilket har gjort det vanskeligere at argumentere for det ene ståsted frem for det andet.

De videnskabsteoretiske positioner kan grundlæggende set opdeles i *Objektivisme*, *Subjektivisme* og *Konstruktivisme*. Objektivisme kaldes også den empirisk-analytiske position, der sammenfatter teorier med målbare data fra virkeligheden, og den indebærer teorier som positivisme og kritisk rationalisme. Subjektivisme er modsat Objektivisme en fortolkende position, hvor forståelse bl.a. opnås gennem fortolkning som i den hermeneutiske videnskabsteori. Denne anses dog at være for subjektiv til anvendelse i dette vidensfelt. Mens de to repræsenterer to forskellige verdensanskuelser, kombinerer konstruktivisme karakteristika fra de to. [Langergaard et al., 2006]

Inden for ingeniørfaget og naturvidenskaben haves der typisk den objektive tilgang, og der gøres oftest brug af den hypotetisk-deduktive metode, som mere specifikt er baseret på et positivistisk syn [Thurén, 2008]. I metoden opstilles hypoteser, der typisk udledes vha. kvantitative metoder, hvilket umiddelbart godt kunne beskrive tilgangen i dette speciale. Men denne teori anses at være for "objektiv/"nøgttern", da det i analysen af resultaterne er ønsket at finde sammenhænge og forklaringer på de fundne resultater og ikke blot drage "åbenlyse" konklusioner. Dette, fordi byggeprocessen anses at være kompliceret at evaluere, da mange forskellige ting har indflydelse på forløbet, og det vurderes derfor ikke troværdigt blot at konkludere på baggrund af tallene.



Figur 3.2: Rapportstrukturen opdelt i specialets kapitler, respektive undersøgelsesformål og vidensproduktion. Venstre del af figuren illustrerer detaljeringsgraden ("bredden") af indsamling og behandling af information undervejs.

*Diagnosticerende undersøgelser søger på baggrund af nogle identificerede symptomer at give et bud på, hvilke faktorer der producerer positive eller negative resultater. Et udgangspunkt for en sådan undersøgelse vil typisk være et ønske om bedre at forstå eller forklare [Andersen, 2013].

I socialkonstruktivismen er der forskellige grundantagelser, bl.a. at al viden er fortolkningsviden, og den er betinget af sociale sammenhænge. Dette kunne umiddelbart godt beskrive ståstedet i resultatanalysen, hvor det som sagt ønskes at finde årsager og forklaringer på

de fundne resultater. [Fuglsang et al., 2013] Forfatterne er desuden klar over, at konklusionen derved højst sandsynligt kunne tænkes at være påvirket af deres fortolkning, og at resultaterne dermed kan være peget i en retning, forfatterne måske ønsker at få dem, hvilket er en karakteristisk "down-side" af socialkonstruktivismen. Det er dog ikke ønsket, at dette skal være tilfældet, men at der i undersøgelsen afspejles så "præcist" et billede af virkeligheden som muligt. Hermed fokuseres på hele tiden at forholde sig til og reflektere over fejl og mangler undervejs i undersøgelsen og egen forståelse. Dette leder i retning af en anden videnskabsteori, der bl.a. medvirker til at minimere indflydelsen af en forfatters egne forudindtaget overbevisninger omkring et emne.

Kritisk Rationalisme

Kritisk Rationalisme blev først introduceret af Karl Popper i 1934 i hans bog, *The Logic of Scientific Discovery*. For Popper handler videnskaben om at finde et kriterium for at skelne mellem videnskab og ikke-videnskab [Popper, 1974], kaldet *demarkationsproblemet*. Løsningen til dette problem skal jf. Popper findes i videnskabens metode. [Holm, 2016]

Ifølge Popper begynder videnskabelige undersøgelser med formuleringen af en teori/et kvalificeret gæt på en forklaring af et virkeligt forhold. Ud fra denne teori deduceres nogle hypoteser, der kan afprøves empirisk. Hvis ikke empirien stemmer overens med hypoteser, falsificeres teorien. Den "rene" observation, der ses i positivismen, findes altså ikke jf. Popper, da forskere altid begynder med en idé om, hvad det er, der skal undersøges. På forhånd er der altså allerede defineret en teori. [Fuglsang et al., 2013] [Holm, 2016]

I specialet kan dette relateres til de bagvedliggende tanker til projektet, beskrevet ud fra følgende fire trin i Poppers videnskabelige metode. Processen er en kontinuerlig spiral, som vil fortsætte [Fuglsang et al., 2013]. [Holm, 2016]

1. *Forskeren formulerer en teori.*

Ved at anvende træ i byggeriet i stedet for beton, kan det medvirke til at løse miljømæssige problemer, verden står overfor. Dette skaber en undren over, hvorfor der så ikke bygges mere i træ i Danmark.

2. *Fra teorien deduceres konkrete hypoteser, der kan testes i praksis.*

Bagvedliggende hypotesen går på, at der må være regler i Danmark, der forhindrer etagebyggeri i træ. Hypotesen angiver i dette tilfælde forfatterens konkrete forventninger, der på baggrund af teorien er til undersøgelsens udfald [Holm, 2016].

3. *Hypotesen afprøves i et eksperiment.*

Der eksperimenteres ikke i dette tilfælde, men tages udgangspunkt i teori og andres forsøg og empiri, hvorfra der drages en logisk slutning om problemstillingen. Konklusionen på denne problemstilling kan da på sin vis betragtes som værende deduktiv [Thurén, 2008].

4. *To muligheder: falsificeres teorien, formuleres en ny - bekræftes teorien, regnes den for gyldig.*

Teorien falsificeres i dette tilfælde, da der ikke er regler i Danmark, som forhindrer etagebyggeri i træ.

Forfra igen:

1. Den nye teori går altså på, at der ikke er begrænsninger for anvendelsen af træ i

etagebyggeri i Danmark, men at der er dårligere forudsætninger ved anvendelsen af materialet sammenlignet med beton.

2. Ny bagvedliggende hypotese er baseret på de dårligere forudsætninger, da der ikke anses at være tilstrækkelige fordele ved at anvende materialet til at opveje de dårligere forudsætninger, og at dette derfor må være årsagen til, at der ikke bygges mere i træ i Danmark.
3. Hypotesen testes ved specialets hovedundersøgelse, hvor det ønskes at drage almene, generelle slutninger ud fra egen empiri. Konklusionen på forskningsspørgsmålet kan derved betragtes som induktiv [Thurén, 2008].
4. Falsificeres denne hypotese også, formuleres igen en ny teori.

Denne teori er bedre end de to tidligere teorier, og forfatterne vil nu være nærmere en forståelse af hvorfor der ikke bygges mere i træ i Danmark.

Poppers pointe gav god mening i dette speciales fremgangsmetode, bl.a. da ovennævnte teorier undersøgt igennem specialet ikke kan bevises, men det kan afprøves, hvorledes de holder eller ej. I den induktive del af specialet (hovedundersøgelsen), er forfatterne godt klar over hele induktionsproblematikken; at denne undersøgelse ikke kan give sikker viden. Dette bunder bl.a. i Poppers *asymmetritese*, der siger, at der kun skal én observation til for at modbevise en videnskabelig teori, så selv en uendelig mængde observationer kan aldrig bevise teorien [Popper, 1974].

Der er hovedsageligt to konsekvenser af, at teorier ifølge Popper altid skal testes for at skabe forståelse af videnskaber. Den første er, at der altid må gå en teori forud for de empiriske undersøgelser, hvormed observationer af virkeligheden altid er planlagte og dermed styrede af forventninger til resultatet. Dette er et punkt, der undervejs i dette speciale har været meget fokus på. Det er altid forsøgt sikret, at et eventuelt bias fra forfatterne ikke får indflydelse på undersøgelsen eller resultatet, og at forventninger til resultatet ikke kommer til udtryk.

Den anden konsekvens er, at selve formålet med det videnskabelige arbejde pludselig bliver at modbevise teorier i stedet for at bevise, hvilket har medvirket til, at Poppers videnskabsteori også kaldes *falsifikationisme*. [Holm, 2016]

Overordnet set karakteriseres det bagvedliggende videnskabsteoretiske ståsted til dette speciale altså som kritisk rationalistisk, da der drages flere paralleller til denne teori, selvom der også er fundet ligheder med andre teorier. Identifikation af forfatternes bagvedliggende videnskabsteoretiske ståsted anvendes bl.a. i forbindelse med at gøre forfatterne selv samt læseren opmærksomme på de nævnte konsekvenser ved videnskabsteorien.

3.4 Undersøgellesdesign og -teknikker

Undersøgellesdesign er betegnelsen for den måde, hvorpå specialets genstandsfelt undersøges. Det udgør altså den benyttede kombinationen af fremgangsmåder til indsamling, analyse og tolkning af data til besvarelse af forskningsspørgsmålet [Andersen, 2013]. Specialets forskningsspørgsmål er et åbent spørgsmål, hvorved det ved undersøgelse og løsning af denne form for problemer er svært at undgå forskerbias, da det er muligt at trække undersøgelsen og dermed løsning i en retning, der stemmer overens med forskernes ønsker og interesse. Bl.a. derfor har det været vigtigt for forfatterne at have et kritisk rationalistisk ståsted,

hvormed der hele tiden reflekteres over egen undersøgelse med henblik på at identificere fejl og mangler.

Kombinationen af undersøgelsesmetoder udgør en undersøgelsesteknik. Det valgte undersøgelsesdesign og -metoder ses illustreret på figur 3.3 på den følgende side. I de følgende afsnit diskuteres specialets metoder med henblik på at forholde sig kritisk til valg og fravalg af metoder til undersøgelsen. Først gennemgås rammerne for det valgte undersøgelsesdesign.

3.4.1 Casemetodiske overvejelser

Som skrevet i forskningsspørgsmålet (afsnit 2.3.1 på side 33), ønskes det at vurdere konkurrencemæssige fordele i træ ved at tage udgangspunkt i flere udenlandske træprojekter og danske betonprojekter. Den overordnede undersøgelsesmetode i dette speciale er valgt som et komparativt³ multicasestudie⁴, da dette er vurderet at besvare forskningsspørgsmålet ud fra et virkelighedsnært udgangspunkt, da der tages afsæt i andres erfaringer med virkelige projekter. Der anvendes herved forskellige informationskilder til belysning af genstandsfeltet.

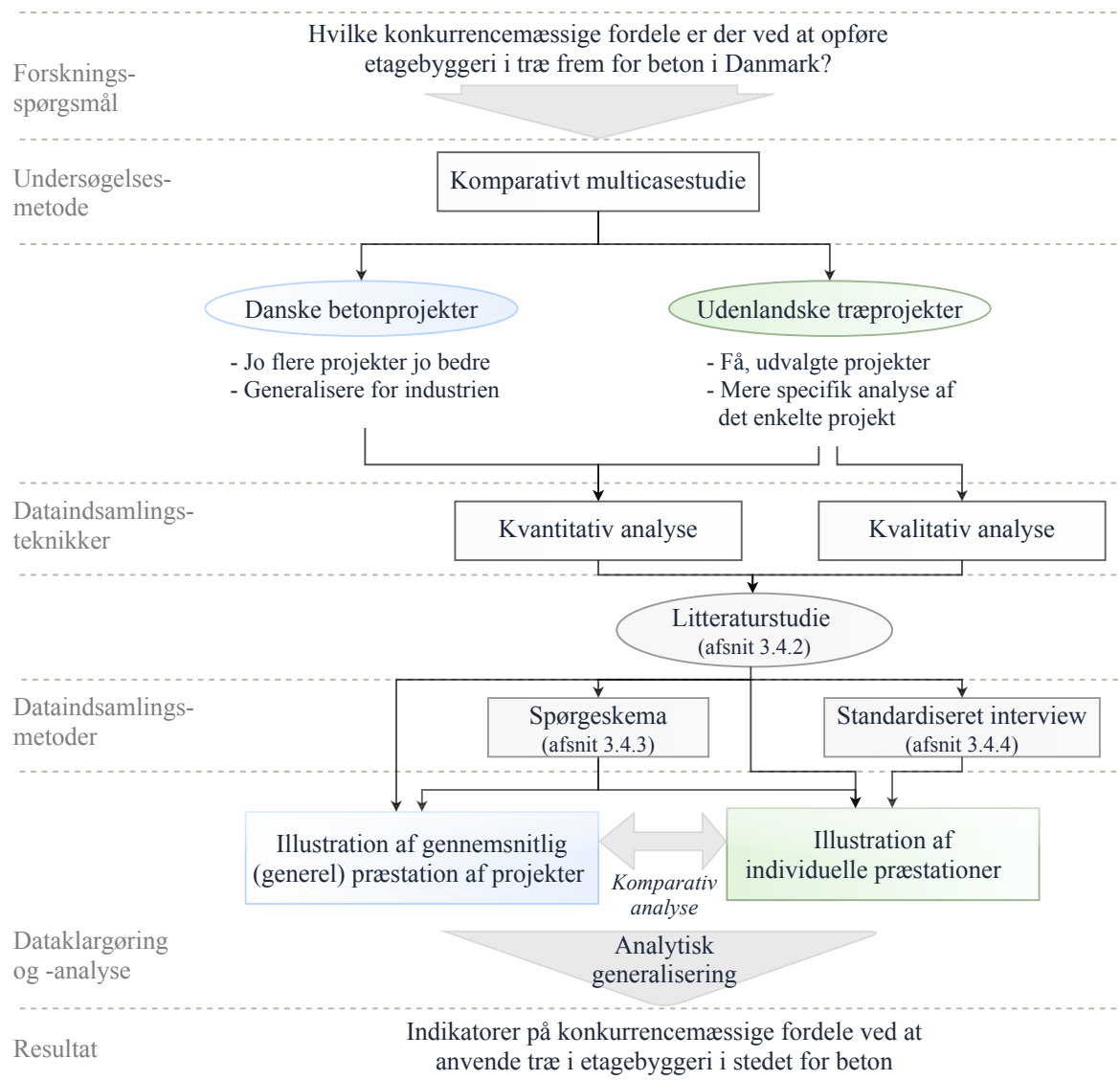
Den mest præcise besvarelse på forskningsspørgsmålet med den valgte undersøgelsesmetode ville opnås ved inddragelse af et stort antal danske beton- og træbyggerier, hvormed rammerne for de to typer ville være mere eller mindre de samme. Da dansk etagebyggeri ikke forefindes i træ, er dette ikke muligt, og det er derfor valgt at tage udgangspunkt i udenlandsk erfaring med etagebyggeri i træ. Rammerne for undersøgelsen af beton- og træprojekter bliver dermed forskellige i undersøgelsen, hvilket medfører nogle ekstra forbehold, der skal medtages i vurderingen (forklaret nærmere i kapitel 4).

Tilgangen til de to byggematerialer er på baggrund af ovennævnte valgt at være lidt forskellig. På den ene side ønskes det at danne et "generelt" billede af præstationen af dansk etagebyggeri i beton (bolig, kontor o.lign), mens der på den anden side fokuseres mere på få udvalgte træprojekter (bolig), hvoraf det ønskes at foretage en mere grundig analyse for at tage hensyn til de ekstra forbehold omtalt tidligere.

Træprojekterne ønskes altså undersøgt individuelt, hvormed der foretages en mere dybdegående undersøgelse af disse projekter. Da der kun tages udgangspunkt i få træprojekter mindskes den eksterne validitet af undersøgelsen ift. generaliserbarheden af identificerede konkurrencemæssige fordele ved træ (se senere afsnit om *Validitet og pålidelighed af casestudier*). Med betonprojekterne ønskes det at generalisere, så der foretages en undersøgelse med udvalgte projekter (stikprøve) til repræsentation af totalpopulationen (al dansk bolig-etagebyggeri i beton). Det er dermed ønskeligt at inddrage så mange betonprojekter i undersøgelsen som muligt, således stikprøven udgør så repræsentativt et billede af totalpopulationen som muligt.

³Komparativ metode er videnskabelig forskning, der er baseret på sammenligninger og analyser af ligheder og forskelle mellem observerede fænomener inden for et defineret analyseområde [Redaktionen, 2017b].

⁴Multicasestudie består af kvalitative undersøgelser af flere konkrete og afgrænsede tilfælde med formålet at opnå detaljeret og praktisk baseret viden [Redaktionen, 2017a].



Figur 3.3: Undersøgellesdesign, -teknikker og -metoder anvendt i specialets hovedundersøgelse.

Udvælgelse af projekter

Udvælgelse af projekterne er grundet den forskellige tilgang også foretaget forskelligt. Træprojekterne er udvalgt ud fra princippet bag en stratificeret udvælgelse, hvor udvalgte træprojekter er opdelt efter konstruktionstype, da det er ønsket at undersøge forskellige måder at udføre træbyggeri på, så der kan drages fordele og ulemper ind fra de forskellige typer. Der vælges kun ét projekt inden for de udvalgte strata, da der ikke er så stort et antal af højhusbyggeri i træ i verden, og flere af dem er opført på deres "egen" måde med nye/anderledes løsninger, end det normalt ses i betonbyggeri. Træ medfører andre muligheder, og det er derfor fundet interessant at undersøge potentialet ved forskellige konstruktionstyper ud over blot at drage generelle konklusioner på materialet. En nærmere casebeskrivelse af de udvalgte træprojekter findes i kapitel 5. Der henvises til kapitlet for en nærmere gennemgang af relevansen af udvalgte projekter.

Betonprojekterne er udvalgt af entreprenørerne selv, så set fra undersøgelsens side, er projekterne tilfældige (inden for de givne rammer). Entreprenørerne er derimod udvalgt

systematisk efter omsætning. Ud fra Finans [2017], der lister de 50 største entreprenører i Danmark baseret på omsætning, er 14 entreprenører udvalgt, som er de eneste på listen, der bygger bolig-etagebyggeri i beton. Disse er udvalgt, da størstedelen af al bolig-etagebyggeri i beton er opført af disse entreprenører, og deres udvalg af projekter dermed vurderes at kunne danne et repræsentativt resultat for totalpopulationen.

Validitet og pålidelighed af casestudier

Jf. Yin [1994] er det muligt at generalisere et resultat selv af enkelte casestudier. Det drejer sig først og fremmest om at beskrive sit casestudie så godt som muligt og identificere forhold ved de fundne resultater, der er specifikke for netop den enkelte case, og hvad der kan generaliseres. Spørgsmålet i denne sammenhæng går jf. Yin ikke på, om der kan produceres generel viden (inferens), men hvor valid den identificerede viden er.

Yin [1994] opstiller tre trin til at sikre kvalitet af ethvert eksplorativt casestudie, der skal være en del af et studie for at sikre god kvalitet af resultaterne.

1. Konstruktiv validitet

Det kan ofte påpeges, at undersøgere fejler i at udvikle et tilstrækkeligt operationelt sæt af målinger, og at subjektiv bedømmelse ofte danner grundlaget for indsamlingen af data. For at sikre konstruktiv validitet, skal det da sikres, at den indsamlede data stemmer overens med målet for undersøgelsen (forskningsspørgsmålet), og det skal demonstreres, at de valgte målinger af denne data rent faktisk afspejler det, der er ønsket at måle/undersøge. For at sikre konstruktiv validitet i denne undersøgelse er der foretaget et omfattende litteraturstudie, som danner et bredt grundlaget for hele hovedundersøgelsen og valget af målingsparametre (nærmere beskrevet i afsnit 3.4.2 på den følgende side). Dataindsamling til undersøgelsen er sket gennem en spørgeskemaundersøgelse, hvor spørgsmålene er forsøgt formuleret specifikke og kortfattede, således den indsamlede data stemmer overens med målet. Retningslinjer for udarbejdelse af spørgeskema findes i afsnit 3.4.3 på side 45.

2. Ekstern validitet

Dette omhandler problemet om at vide, hvornår en undersøgelses resultater kan anvendes til at generalisere andre tilfælde end blot den aktuelle case. Det er i denne sammenhæng vigtigt at skelne mellem generalisering gennem et casestudie og en spørgeskemaundersøgelse, da de bygger på to forskellige principper; spørgeskemaundersøgelser bygger på en statistisk generalisering, mens casestudier bygger på en analytisk generalisering. Generalisering af resultaterne sker ikke automatisk, men gøres jf. Yin [1994] ved at teste resultaterne fra undersøgelsen i andre, lignende cases.

I denne undersøgelse er de to materialer igen tilgået forskelligt. Da det er ønsket at generalisere betonprojekternes præstation blot ud fra en kvantitativ analyse, er der tale om statistisk generalisering. Hvis der skal drages nogle generelle konklusioner for træ som byggemateriale ud fra træprojekterne, skal disse baseres på en nærmere analyse af projekterne, hvorfor der til dataindsamling fra træprojekterne er valgt at supplere den kvantitative undersøgelse med kvalitative standardiserede interviews. Det er desuden valgt at inddrage mere end ét træprojekt i undersøgelsen, hvilket er med til at "teste"/validere resultaterne.

3. Reliabilitet (pålidelighed)

Målet med reliabilitet er at minimere fejl og bias i undersøgelsen, og det skal demonstrere, at undersøgelsen kan gentages med opnåelse af de samme resultater, f.eks. dataindsamlingsprocedurerne. Den generelle måde at tilgå dette problem er jf. Yin [1994] ved at gøre så mange trin i processen så operationelle som muligt og at udføre researchen som om nogen altid kigger én over skulderen.

I denne undersøgelse er det for det første forsøgt at tage hensyn til dette ved en omfattende beskrivelse af fremgangsmåden i litteraturstudiet (appendiks A på side 111), således hele grundlaget for undersøgelsen er synlig, og det ville være muligt for andre at gentage den. Hele dette kapitel omhandlende vidensproduktion og metodevalg med omfattende beskrivelser af arbejdsprocessen osv. medvirker også til åbenhed omkring hele processen, og kildeangivelser skaber en mulighed for andre om gentagelse af dette studie. Slutteligt i undersøgelsen foretages en parameterundersøgelse, således det gøres klart, hvad det valgte udgangspunkt for undersøgelsen har betydet for undersøgelsens resultater, og det giver dermed andre indblik i pålideligheden af resultaterne.

Der er som nævnt foretaget et omfattende litteraturstudie, hvoraf mange KPIs er blevet identificeret. Et udvælgelseskriterie for disse har bl.a. været KPIs, der går igen i flere af artiklerne, hvormed det vil være nemmere for andre at finde frem til samme KPIs (og resultater) i en lignende undersøgelse. Dette øger både pålidelighed og validitet af undersøgelsen, da ofte anvendte KPIs mere sandsynligt er bedre indikatorer ift. de mindre hyppigt anvendte.

Informationskilder

Datakilder fra casene omfatter uformelle mailkorrespondencer, telefonsamtaler, spørgeskema, standardiserede interviews og forskellige hjemmesider. Det er i alle tilfælde forsøgt at samle primærdata fra medvirkende parter i projekterne for at gøre undersøgelsen så korrekt og præcis som mulig, men hvor det ikke har været muligt, er der i stedet forsøgt med sekundærdata fra hjemmesider o.lign., da det var vurderet bedre end ingen information. Da de udvalgte træprojekter alle har været først og størst inden for forskellige områder, var det i de fleste tilfælde nemt at finde meget informationsholdigt og aktuelt materiale herom (anvendt bl.a. til casebeskrivelserne i afsnit 5). Hjemmesiderne er udvalgt ud fra et kriterie om, at informationen på hjemmesiden er primærdata.

3.4.2 Litteraturstudie

For at sikre en bred, faglig viden om genstandsfeltet, er der foretaget et omfattende litteraturstudie af eksisterende teori.

Til besvarelse af forskningsspørgsmålet (afsnit 2.3.1 på side 33), er bedømmelse og vurdering af projektpræstationer i fokus under litteraturstudiet, da dette vurderes at være et godt udgangspunkt til vurdering af konkurrencedygtigheden og fordele ved anvendelse af træ frem for beton i etagebyggeri i Danmark. Bedømmelse af projekter er generelt et relativt bredt emne, men ved fokus på bedømmelse af byggeprojekter indsnævres genstandsfeltet.

Der er i litteraturstudiet hovedsageligt fokuseret på videnskabelige artikler, da bedømmelse og projektevaluering er et dynamisk emne, der udvikler/har udviklet sig over tid. Hermed er søgningen også begrænset til de seneste 20 år.

Jerntrekanten (tid-pris-kvalitet) har længe været styrende i byggeprojekter ift. at stille krav og efterfølgende bedømme, hvorledes disse krav er efterlevet i projektet. Men med tiden er andre værdier i byggeprocessen dukket op. Dette litteraturstudie er opstillet for at sikre så bred en viden inden for emnet, således det med udgangspunkt i en bred vifte af bedømmelseskriterier er nemmere at vurdere relevante parametre, analyser osv. til denne undersøgelse på baggrund af de ressourcer, forfatterne har til rådighed.

Der er hovedsageligt gjort brug af udenlandske publikationer, da der ikke er fundet megen dansk forskning inden for emnet. Udenlandsk forskning er fundet lige så relevant og anvendeligt som havde det været dansk forskning, da hovedelementer i et byggeprojekt er de samme i alle lande, dog foregår ting lidt forskelligt i henhold til gældende love og regler i de forskellige lande. F.eks. er der stramme sikkerhedsregler på en dansk byggeplads, mens reglerne i andre lande kan være mindre stramme. Dette var i mente ved udvælgelse af bedømmelseskriterier i tilfælde, hvor et resultat af et kriterie kunne variere efter land.

Da litteraturen udgør så vigtig en ramme i undersøgelsen, er det som nævnt forsøgt at foretage et meget bredt studie, således der opnås en bred vifte over emnet, hvormed "dårligere" kilder udgør en mindre betydende del af hele undersøgelsen. Der er undervejs i litteraturstudiet bl.a. blevet forholdt til, hvem forfatterne er, og hvor mange "cited by" de forskellige artikler og forfattere generelt har. Det er hermed søgt at få et indtryk af artiklers og forfatteres generelle anerkendelse. Nærmere beskrivelse af fremgangsmåde og fundne artikler i litteraturstudiet findes i appendiks A på side 111. Artiklernes relevans ift. denne undersøgelse er også kort beskrevet i dette appendiks.

Resultatet af litteraturstudiet, der danner rammerne for hele undersøgelsen, findes i kapitel 4 på side 51.

3.4.3 Spørgeskema

Undersøgellesrammer og -formål er gennem litteraturstudiet stillet klare og præcise (kapitel 4 på side 51), hvormed den nødvendige indsamling af data til undersøgelsen ligeledes er kendt. Da undersøgelsen er baseret på udvalgte parametre og kriterier fundet ved litteraturstudiet, og dermed indebærer en masse tal og parametre, er det fundet passende at anvende spørgeskemaer til dataindsamlingen, som tilsendes over mail til de udvalgte parter. Der udarbejdes to kvantitative spørgeskemaer - hhv. et spørgeskema til de udenlandske træprojekter (på engelsk) og et til de danske betonprojekter (på dansk), som forklares nærmere under *Udformning og opbygning af spørgeskema*. Begge spørgeskemaer findes i appendiks C.

Det er valgt at gøre brug af spørgeskema til indsamling af data, da de fleste egenskaber ved metoden sammenlignet med interview, er fundet fordelagtige i denne sammenhæng. Dette værende fordele som, det er hurtigere at indsamle data, nemmere at administrere, der kan nåes ud til flere, det giver respondenterne bedre tid til besvarelse af spørgsmålene, således der er større mulighed for at få al information, hvis en respondent ikke skulle kende til svaret på stående fod. Det er ligeledes nemmere at efterbehandle spørgeskemaer, og de medvirker ingen intervieweffekt, hvor respondenterne kan påvirkes i bestemte retninger. Hermed forsøges dataindsamlingen holdt neutral for at undgå bias i denne. [Andersen, 2013]

Metoden har dog også et par negative sider. Den virker desværre ikke altid efter hensigten, da mange mennesker føler, de bliver overdyndet med spørgeskemaer [Andersen, 2013], og det kan medvirke til en mindsket svarrate. Tid er en knap ressource for mange, særligt i byggebranchen, hvorfor det kan være vigtigt at gøre det klart med et spørgeskema, hvorfor nøjagtigt respondenterne skulle interessere sig for området, og hvad respondenterne eventuelt selv kunne få ud af resultaterne. Der er stor sandsynlighed for, at mange respondenter ikke vil reagere eller deltage i undersøgelsen, hvis de ikke finder udbyttet aktuelt for dem [Andersen, 2013].

Ved træprojekterne anses dette ikke at blive et problem, da det et eller andet sted forventes, at bygherre og/eller andre medvirkende parter gerne vil dele informationer om byggeriet for at sprede budskabet om, hvad de har opnået, og at de også er en del af "bølgen".

Hvad angår betonprojekterne derimod, forventes det, at der skal gøres en ekstra indsats for at forsøge at indbringe så mange besvarelser som muligt. Dette, bl.a. fordi undersøgelsen på en måde går ind og skubber til entreprenørernes nuværende virke. Undersøgelsen stiller spørgsmålstegn ved, hvorvidt beton i etagebyggeri er en god idé, og om entreprenørerne i stedet burde komme med på træ-trenden.

Det er altså vigtigt særligt at klarlægge for disse parter, hvad de kunne få ud af at medvirke i undersøgelsen. Deltagelse giver dem mulighed for at få indsigt i undersøgelsen og resultaterne, da den tilføjer ny erfaring inden for emnet, hvormed de kan få mulighed for at anvende denne nye erfaring til egne fordele i virksomheden og markedet.

Da et spørgeskema kun besvares af et udsnit og ikke den fulde population, vil en spørgeskemaundersøgelse altid være behæftet med mangler. Dette værende f.eks. måden, hvorpå stikprøven er udvalgt (beskrevet i afsnit 3.4.1 på side 41), kan de stillede spørgsmål kritiseres, måden hvorpå de er stillet osv., hvorfor udformning og opbygning af spørgeskemaet er et vigtigt element (beskrevet i følgende afsnit). Jf. Fuglsang et al. [2013] (kritisk rationalisme) kan et spørgeskema altså ikke fuldstændigt verificere eller falsificere en påstand, men hjælpe til at sandsynliggøre en påstand eller bidrage til at opbygge en hypotese.

Udformning og opbygning af spørgeskema

Til udformning af spørgeskemaet, er der gjort brug af forfatterens erfaring fra tidligere indsamling af spørgeskemaer på forfatterens uddannelsesforløb. Dette har indebåret følgende, som Andersen [2013] også beskriver:

- Overskueligt spørgeskema, der er opdelt efter emner, således det er nemmere for respondenterne at gå til de områder, han/hun har kendskab til. Dette skal medhjælpe til at skabe overblik og spare tid for respondenterne.
- Da der indgår mange parametre i undersøgelsen, vil der automatisk opstå flere spørgsmål til skemaet. Det skal dog stadig forsøges at holde det så kort som muligt, så der er større mulighed for at modtage flere (og bedre) besvarelser.
- Anvende sprog, respondenterne forstår. Da den ønskede data til undersøgelsen kunne kræve inddragelse af flere parter i et projekt, som er eksperter inden for hvert deres felt af projektet, blev det bedømt, at der i visse sammenhænge godt kunne anvendes terminologi, som disse parter normalt betjener sig af. I det engelske spørgeskema kunne det være en udfordring at oversætte til rigtige engelske termer, hvilket bl.a. blev forsøgt dækket af informationssøgning på nettet omkring disse.
- Undgå lange spørgsmål, dobbelt- eller flertydige spørgsmål og stil præcise spørgsmål,

hvormed der kan dannes tvivl om, hvad der nøjagtigt ønskes svar på.

Spørgsmålene skal holdes "neutrale", så der ikke vækkes unødigt irritation hos respondenterne.

- Der stilles både åbne og lukkede spørgsmål. Hvor der søges tal, datoer eller lign., er spørgsmålene åbne, da det ønskes at kende til de nøjagtige fakta i stedet for f.eks. at inddele i intervaller, hvilket medfører mere præcise og specifikke parametre. I tilfælde, hvor respondenterne skal bedømme noget (kvalitativ data), anvendes en gradbøjet standardskala (Likert Scale), således besvarelserne konverteres til numeriske værdier og dermed gøres lettere sammenlignelige og "neutrale" [Hanna, 2016]. Hvor det vurderes fordelagtigt, er der tilføjet en åben svarmulighed til de lukkede spørgsmål.
- Spørgeskemaet sendes over mail til respondenterne, da dette for det første anses at være en hurtig og nem måde at få kontakt til parterne på. Spørgeskemaerne udsendes i Word-format med begrænset adgang, således respondenterne ikke ved fejl kan komme til at slette eller bytte rundt på vigtig information. Svarfelterne er klare og tydelige at identificere, og ved de åbne spørgsmål laves de således, der er tilstrækkelig plads til respondentens svar.

Der er udarbejdet to kvantitative spørgeskemaer, da det var nødvendigt med mere information fra de danske entreprenører, da disse projekter ikke var kendte på forhånd. Dog var der nogle retningslinjer til betonprojekterne, som entreprenørerne blev bedt om at udvælge projekterne efter:

1. Projekterne skal være totalentrepriser, således det kun er nødvendigt at kontakte én person, såfremt der skulle opstå bemærkelsesværdig varians i informationerne.
2. Projekterne skal være klassificeret som fleretagers betonbyggeri.
3. Projekterne må ikke være erhvervsbyggeri (kontorbygninger er dog tilladt, helst boligbyggeri).

Kriterierne er opstillet for at forsøge at gøre rammerne omkring projekterne mere lig hinanden (nævnt i afsnit 3.4.1 på side 41) og dermed gøre projekterne i undersøgelsen mere/lettere sammenlignelige.

Alle spørgeskemabesvarelser findes i elektronisk bilag (se appendiks E).

Adspurgte parter

Spørgeskemaet til indsamling af information om træprojekterne sendes til én involveret i de tre forskellige træprojekter, og hvis ikke denne person kan udfylde al informationen, videresendes spørgeskemaet til en anden involveret part, så der kommer besvarelse på så mange spørgsmål som muligt. Til bedømmelse af projektpræstationerne er det på baggrund af litteraturstudiet, fundet aktuelt at inddrage bygherre, arkitekt, ingeniør og entreprenør, da disse har bedst mulighed for at bidrage med information, der kan anvendes til den kvantitative undersøgelse. Spørgeskemaet forsøges først besvaret af bygherre, da denne anses at have kendskab til en stor del af spørgsmålene, og i de resterende tilfælde mulighed for at kontakte den part, der ellers har.

Det danske spørgeskema sendes som nævnt ud til 14 forskellige danske entreprenører med håbet om at få inkluderet flest mulige entreprenører og betonprojekter i undersøgelsen. Jo flere projekter og forskellige entreprenører, der indgår i undersøgelsen, des mere generelle præstationer af betonbyggeri kan drages.

3.4.4 Standardiseret interview

For at danne et mere dybdegående indtryk og analyse af de udenlandske træprojekters præstationer, er det valgt at inddrage standardiserede interviews af medvirkende parter fra disse projekter. Dette er valgt, da det ikke var muligt for forfatterne selv at skabe overblik over dele af projekterne, der jf. litteraturstudiet (kapitel 4) var aktuelle til vurdering af præstationerne af projekterne, og som blev bedømt for omfattende at inddrage i det kvantitative spørgeskema.

Det standardiserede interview er den mest almindelige kvantitative teknik til at indsamle mundtlige udsagn [Andersen, 2013]. I dette interview er spørgsmålene ens for alle medvirkende parter, og de er på forhånd givet i en bestemt rækkefølge, der ikke rykkes om på. Da interviewet er så standardiseret, åbnes der i denne undersøgelse op for, at de deltagende parter kan besvare interviewet som et spørgeskema, der er udformet som et standardiseret interview, men at de interviewede til forskel selv kan udfylde spørgsmålene på skrift.

Som nævnt tidligere er nogle af fordelene ved et spørgeskema, at det er hurtigere, det giver bedre tid for respondenterne at besvare de enkelte spørgsmål, så det åbner for muligheden for at der laves mere fyldestgørende besvarelser. De er desuden nemmere at efterbehandle end et interview, så med inddragelse af flere træprojekter, er dette anset at være en stor fordel, således der ikke skal lægges for meget arbejde i at efterbehandle. Dette, samt at de medvirkende oftest skal afsætte mindre tid til at medvirke i interviewet, når de har mulighed for at besvare spørgsmålene løbende, er årsag til, at de blev givet valget, som et forsøg på at øge svarraten.

Metoden medfører, at nogle af fordelene ved et kvalitativt interview desværre forsvinder. Dette værende bl.a. større svarvillighed, besvarelsesprocent og at det sikres, det er den interviewede selv, der besvarer spørgsmålene. Det sidste er i denne sammenhæng anset i stedet at være en fordel ved spørgeskemaet, da det ikke nødvendigvis er ønsket, at det er den person, der er kontakten, der skal besvare spørgsmålene, men i stedet den/de personer, der er anset at have størst kendskab til emnet/spørgsmålet. Hermed blev det muligt for den medvirkende at inddrage andre, hvor personen ikke selv følte, han/hun kunne bidrage med det mest fyldestgørende svar.

At der er sandsynlighed for en mindre svarvillighed og besvarelsesprocent ved spørgeskema kan blive et problem, da det kan være "lettere" for medvirkende parter at springe spørgsmål over, hvis de enten finder spørgsmålet for krævende at svare på, eller hvis de skulle misforstå spørgsmålet. Dermed kan information være gået tabt. [Andersen, 2013]

Ved at anvende standard interview/spørgeskema, er der ikke gjort plads til uformel dialog, hvilket kunne åbne op for nye synsvinkler og informationer iht. genstandsfeltet. Da undersøgelsen er baseret på et omfattende litteraturstudie har dette heller ikke været ønsket, da rammer og kriterier var identificeret igennem dette, og det ikke er ønsket at blande forskellig information fra forskellige parter, men derimod modtage nogenlunde samme besvarelser og mængde af information fra alle. Hermed bliver udgangspunktet for alle resultater og analyser de samme.

Ved udformning af spørgsmål, er der igen taget udgangspunkt i punkterne beskrevet i afsnit 3.4.3. De stillede spørgsmål er åbne spørgsmål og lægger op til en supplerende forklaring til resultater af den kvantitative undersøgelse. Hensigten med det standardiserede interview er at tilføje kvalitativ data til analysen - metoden anvendes altså til den kvalitative analyse af træprojekterne.

Hvorvidt alle parter i undersøgelsesenhederne skulle interviewes eller ej blev afgjort af forløbet beskrevet i afsnit 3.4.3.

Spørgsmål som, hvordan respondenterne skal udvælges, hvor mange der skal udvælges osv. har været mere eller mindre givet ved udvælgelse af selve projekterne, beskrevet i afsnit 3.4.1.

Alle interview-besvarelser findes i elektronisk bilag (se appendiks E).

4

Litteraturstudie

I dette kapitel præsenteres resultatet af litteraturstudiet, som findes i appendiks A på side 111. Først præsenteres metoden, der har været anvendt til bestemmelse af bedømmelseskriterierne (afsnit 4.1), hvorefter rammerne for undersøgelsen med de udvalgte kriterier præsenteres, som danner grundlaget for undersøgelsens spørgeskema og standardiseret interview (afsnit 4.1.1 på den følgende side). Slutteligt præsenteres udvalgte analysemetoder til behandling af resultaterne (afsnit 4.2 på side 56), anvendt i kapitel 6.

Formålet med litteraturstudiet var at danne rammerne og grundlaget for hele undersøgelsen af projektbedømmelsen af de forskellige byggeprojekter i hhv. træ og beton. Gennem litteraturstudiet skulle relevante artikler identificeres til at definere nogle Key Performance Indicators (KPIs) og aktuelle analysemetoder, som ultimativt skulle bruges til at vurdere konkurrencedygtigheden og mulige fordele ved at bygge i træ frem for beton i etagebyggeri i Danmark. Projekterne ønskes bedømt på et overordnet plan, men også inden for forskellige parametre, således fordele og ulemper nemmere kan identificeres. Det forventes altså ikke, at træ kan udkonkurrere beton på adskillige områder.

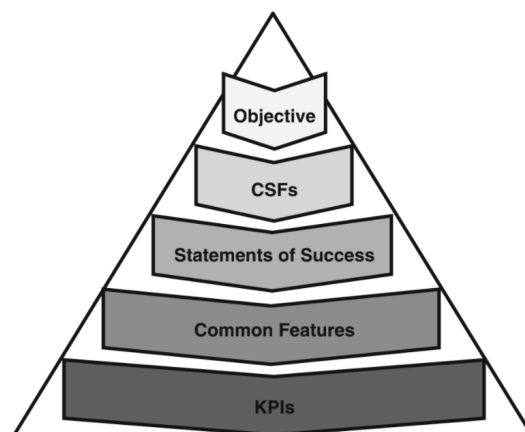
Fremgangsmåde i litteraturstudie

Der er blevet søgt efter videnskabelige artikler fra 1998 til og med 2018 i fem udvalgte databaser på søgninger lignende: (construction* OR bulding*) AND (project*) AND (KPI* OR benchmark* OR "performance metrics"OR "key performance indicator*").

Søgningerne resulterede i alt i 1.975 artikler, hvoraf 86 artikler blev udvalgt til gennemlæsning. 37 forskellige artikler blev vurderet som anvendelige mht. udvælgelse- og behandling/analyse af KPIs, hvoraf 25 artikler er anvendt til at definere de udvalgte KPIs, som præsenteres i et senere afsnit. For yderligere information omkring, hvordan litteraturstudiet er foretaget, begrundelser for søgekriterier, hvorfor anvendte artikler er fundet relevante mm., henvises til appendiks A.

4.1 Bestemmelse af bedømmelseskriterier

Til udvælgelse af KPIs til denne undersøgelse, er der taget udgangspunkt i Jahangirian et al. [2017], som præsenterer en hierarkisk opbygget fremgangsmetode til udvælgelse af KPIs baseret på kritiske succesfaktorer (CSF'er) ift. at opnå et overordnet mål i et projekt. Fremgangsmåden ses på figur 4.1, og forklaring af figuren findes i tabel 4.1 på den følgende side.



Figur 4.1: Anvendte top-down CSF/KPI-metode [Jahangirian et al., 2017]. Beskrivelse findes i tabel 4.1 på næste side.

Metoden foreslår følgende formel til vurdering af projektets overordnede præstation, baseret på de individuelle KPIs:

$$PSM = \frac{w_i \sum_i \sum_j KPI_{ij}}{\text{Totale antal KPI}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Hvor PSM Project's Success Measure,
 i, j refererer til CSF indekset og dens relaterede KPI indeks,
 w_i vægtning af den i 'te CSF.

Tabel 4.1: Definition af led i top-down CSF/KPI-metode. [Jahangirian et al., 2017]

Objective	<i>Overordnet mål med undersøgelsen</i>
Critical Success Factors (CSF'er)	<i>Repræsenterer de områder af et projekt, der er væsentlige for dets succes</i>
Statements of Success	<i>Opstilling af succeskriterier inden for ovennævnte områder</i>
Common Features (CF)	<i>Laves for at indkapsle Statements of Success til et sæt håndterbare kriterier</i>
Key Performance Indicators (KPIs)	<i>Kvantificerbare mål, der bruges til at måle og sammenligne præstationer med hensyn til at opfylde strategiske og operationelle mål</i>

Metoden er fundet interessant til denne undersøgelse og besvarelse af forskningsspørgsmålet, da den anvender CSF'er som hovedelement, så der skabes en tilgang til at udvikle kvantitative præstationsindikatorer, der tager højde for forskellige perspektiver til at vurdere et projekts præstation. Tilgangen skaber en top-down sammenhæng mellem strategiske og operationelle aktiviteter, hvor CSF'erne repræsenterer de strategiske fokusområder i et byggeprojekt, og KPI'erne repræsenterer de operationelle præstationer i selve udførelsen. [Jahangirian et al., 2017]

4.1.1 Key Performance Indicators

Resultatet af den gennemgaaede metode findes i tabel 4.2 på side 54. Gennemgangen i dette afsnit er opstillet på baggrund af fremgangsmåden i metoden (afsnit 4.1).

Objective

Det overordnede mål i denne undersøgelse er at besvare forskningsspørgsmålet, givet i afsnit 2.3.1. Dette ønskes gjort ud fra en sammenligning mellem præstationen af de udvalgte udenlandske træprojekter og danske betonprojekter ved det overordnede index givet i formel 4.1. Projekternes præstationer inden for de forskellige CSF'er og KPIs ønskes også vurderet og analyseret individuelt.

Det overordnede index vil blive beregnet i to forskellige forhold. I det ene forhold vil der være ligelig vægtning af de forskellige CSF'er (w_i i formel (4.1)). I det andet forhold vil vægtningen blive baseret på danske entreprenørers prioritering af de strategiske fokusområder (CSF'er), så vurderingen sker på baggrund af, hvad de mener kan være afgørende for at øge deres

interesse for at anvende træ i etagebyggeri. I spørgeskemaet til de danske entreprenører, er disse da yderligere blevet bedt om at prioritere CSF'erne ift. hinanden.

I London har drivkraften bag udviklingen inden for træbyggeri været entreprenørerne, hvorfor det netop er vurderet interessant at tage udgangspunkt i de danske entreprenørers syn på "succesen" af et byggeprojekt [Koch, 2016].

Critical Success Factors

Områder, der blev vurderet væsentlige ift. at præstere godt i et byggeprojekt, findes i tabel 4.2.

Statement of Success

Der er i denne undersøgelse et overordnet succeskriterie for at erklære "succes" inden for de forskellige CSF'er:

Succes ift. konkurrencemæssige fordele ved træ er, *hvis træprojekterne præsterer bedre end betonprojekterne.*

I undersøgelsen tåntænkes det, at træprojekterne skal sammenlignes med et gennemsnit for betonprojekterne i "individuelle" sammenligninger. I tilfælde af succes, altså hvor et træprojekt præsterer bedre end gennemsnittet for betonprojekterne, gives altså 1 point til dette projekt inden for denne KPI, mens det andet får 0 point, og omvendt hvis betonprojekterne præsterer bedre. Dette pointsystem anvendes ved alle KPIs, som vægtes ligeligt ift. hinanden ved bestemmelse af succesgraden inden for den enkelte CSF. Ved bestemmelse af PSM (formel (4.1)) vægtes CSF'erne, som beskrevet i tidligere afsnit.

Common Features

Common features er defineret som "fællesnævner", der kan beskrive flere KPIs. Det ses f.eks. i tabel 4.2 på næste side, at Enhedspris er valgt som en fællesnævner for flere KPIs under Pris, og det dækker bl.a. over kvadratmeterpris for råhus, kvadratmeterpris for projektering, etc.

Key Performance Indicators

Et stort antal af de fundne artikler i litteraturstudiet omhandlede de KPIs, der ifølge artiklerne anses at være vigtigst til vurdering af succesen af et byggeprojekt, men mere eller mindre alle artikler udledte forskellige KPIs, hvor iblandt nogle gik igen. De valgte KPIs til denne kvantitative undersøgelse ses i tabel 4.2 (beskrivelse/definition af disse findes i tabel 4.3 på side 55), og de er valgt på baggrund af vurderet relevans ift. denne undersøgelse og forfatterens ressourcer.

I tabel 4.4 på side 56 findes supplerende KPIs, der var fundet interessante til analysen af træprojekterne. Disse blev dog fundet for omfattende/svære at inddrage i den kvantitative analyse, hvorfor de inddrages i en supplerende kvalitative analyse af træprojekterne i stedet. I den kvalitative analyse ønskes det yderligere at berøre flere af aspekterne fundet gennem den indledende analyse, omhandlende de omtalte dårligere forudsætninger for at anvende træ, opståede komplikationer undervejs i byggeriet (forbundet med at være firstmover), og personlig erfaring og holdning fra aktuelle parter omkring materialet.

Tabel 4.2: Udvalgte CSF'er, common features og KPIs til den kvantitative analyse, med kildeangivelser.

CSF	CF	KPI	Kilde(r)
Pris	Prisvariation	Tilvækst i pris [%]	(1),(2),(6), (9),(11),(16), (18),(19),(20), (23),(24),(26), (31),(32),(34), (35)
	Enhedspris	Overordnet for projekt [kr/m^2]	(1),(2),(17), (18),(19),(20), (22),(23),(24), (31),(32),(35)
		Opførelse af projekt [kr/m^2]	
		Pris for projektering [kr/m^2]	
		Estimeret vedligehold [kr/m^2]	
		Estimeret nedrivning [kr/m^2]	
		Pris for råhus [kr/m^2]	
	Værdi(/profit)	Omsætningshastighed [kr/dag]	(2),(20)
Tid	Tidsvariation	Tilvækst i tid [%]	(1),(2),(6), (9),(11),(16), (18),(19),(20), (22),(23),(24), (26),(31),(32), (34),(35),(37)
	Intensitet/ produktivitet	Projekt produktivitet [m^2/dag]	(1),(2),(18), (19),(20),(22), (23),(24),(31)
		Byggeintensitet [m^2/dag]	
Kvalitet	Tilfredshed	Tilfredshed af kvalitet [1-7]	(5),(14),(24)
Tilfredshed	Overordnet tilfredshed	Bygherre [1-7]	(15),(18),(20), (23),(24),(31)
		Interessent* [1-7]	
Sikkerhed	Ulykker	Ulykkesrate [uheld/pers]	(4),(6),(22), (26),(31),(32)
Miljøvenlighed	Forurening	CO_2 -mængde [CO_2/m^2]	(15)
Energiklasse	Energiforbrug	Energiforbrug [$\text{kW}/\text{m}^2/\text{år}$]	(15)

* Interessent er den bygherre, entreprenør, arkitekt eller lignende, som kontaktes i forbindelse med undersøgelsen.

Kilder: (1)Shrestha og Fernana [2017]; (2)Gransberg og Villarreal Buitrago [2002]; (4)Nassar og AbouRizk [2014]; (5)Ngacho og Das [2014]; (6)Cha og Kim [2011]; (9)Yeung et al. [2009]; (11)Yeung et al. [2008]; (14)Xiao og Proverbs [2002]; (15)Kylili et al. [2016]; (16)Omar og Fayek [2016]; (17)Choi et al. [2016]; (18)Hanna [2016]; (19)Hanna et al. [2014]; (20)Konchar og Sanvido [1998]; (22)Cox et al. [2003]; (23)Ling [2004]; (24)Radujković et al. [2010]; (26)Yun et al. [2016]; (31)Chan og Chan [2004]; (32)Rankin et al. [2008]; (34)Presley og Meade [2010]; (35)Hwang et al. [2013]; (37)Heravi og Ilbeigi [2012].

Tabel 4.3: Beskrivelse af hvad de anvendte KPIs omfatter og indeholder.

KPI	Beskrivelse
Pris	
Tilvækst i pris	Procentvis stigning af pris for opførelse/byggeri (total pris for byggeriet ift. oprindelige beløb i kontrakten).
Overordnet for projekt	Totale pris for hele projektet (ekskl. erhvervelse af byggegrund og nedrivning af eksisterende bygninger på grunden) over bruttoarealet.
Opførelse af projekt	Total pris for opførelse/byggeri af bygning (inkl. funderingsomkostninger, ekskl. projekteringsomkostninger) over bruttoarealet.
Pris for projektering	Total pris for projektering af byggeri (sum af ingeniør- og arkitekt omkostninger) over bruttoarealet.
Estimeret vedligehold	Estimeret sum af årlige drifts- og vedligeholdelsesomkostninger over bruttoarealet.
Estimeret nedrivning	Estimerede omkostninger forbundet med nedrivning/bortskaffelse af bygning efter endt levetid over bruttoarealet.
Pris for råhus	Sum af omkostninger forbundet med råhuset (materialer, levering og montering af de bærende elementer, ekskl. fundering) over bruttoarealet.
Omsætnings-hastighed	Totale pris for opførelse af bygning (inkl. omkostninger forbundet med fundering) over antal af arbejdsdage forbundet herved.
Tid	
Tilvækst i tid	Procentvis stigning af varighed af opførelse/byggeri (total varighed af byggeri ift. oprindelig planlagt varighed).
Projekt produktivitet	Bruttoareal over total varighed af hele projektet i arbejdsdage.
Bygge-intensitet	Bruttoareal over endelige varighed for opførelsen af bygningen i arbejdsdage.
Kvalitet	
Tilfredshed af kvalitet	Bygherres vurdering af bygningskvalitet på skala fra 1(meget utilfreds) til 7(meget tilfreds).
Tilfredshed	
Bygherre	Bygherres overordnede tilfredshed med projekt på skala fra 1(meget utilfreds) til 7(meget tilfreds).
Interessent	Interessents (respondent) overordnede tilfredshed med projekt på skala fra 1(meget utilfreds) til 7(meget tilfreds).
Sikkerhed	
Ulykkesrate	Antal registrerede uheld (der har medført min. én dags sygefravær) over antal medvirkende personer i byggeriet (ekskl. funktionærer).
Miljøvenlighed	
CO ₂ -mængde	Sum af beregnede CO ₂ mængder ved fremstilling af materialer anvendt til råhuset over bruttoarealet.
Energiklasse	
Energi-forbrug	Beregnet energiforbrug af bygning per m ² per år.

Tabel 4.4: CSF'er, der uddybes/suppleres i den kvalitative analyse (med kildeangivelser).

CSF	KPI	Problematik	Kilde(r)
Kvalitet	Størrelsesorden af fejl/man- gler op til overrækkelse af projekt	Ikke realistisk at skaffe kvantitativ data	(1),(4),(5),(9), (11),(14),(15), (34),(37) m.fl.
Sikkerhed (og sundhed)	Ulykkesrate (og støj, støv mm.)	Supplement til kvantitativ data	(4),(6),(22), (26),(27),(31), (32) m.fl.
Miljøvenlighed	Affaldsgenerering under opførelse	Ikke realistisk at skaffe kvantitativ data	(6)
	Genbrug/-anvendelse (mængder, eftersalg, etc.)	Parallel til tema	(6),(15)
Yderligere kilder end angivet i tabel 4.2 : (27)Park et al. [2013]			

4.2 Behandling af Key Performance Indicators

Igennem litteraturstudiet er der ligeledes fundet flere metoder til analyse og behandling af besvarelser og beregnede KPIs. Udvalgte metoder gennemgås i dette afsnit. Først præsenteres en metode til justering af priser, da dette er noget, der kan variere meget mellem lande, og dermed skal tages hensyn til, når der sammenlignes projekter mellem forskellige lande.

4.2.1 Justering af pris

Da de udvalgte træprojekter er udenlandske, skal der dannes et fælles sammenligningsgrundlag af priserne for at tage højde for forskellig valuta, købekraft osv. i de forskellige lande, som beskrevet kort i afsnit 2.1.2.

Denne justering er inspireret af Choi et al. [2016], også fundet igennem litteraturstudiet, som beskriver en *cost normalization framework*, der anbefales til præstationsvurdering af byggeprojekter internationalt.

Metoden opdeles i tre følgende trin:

1. Valutaomregning
2. Justering af placering
3. Tidsjustering

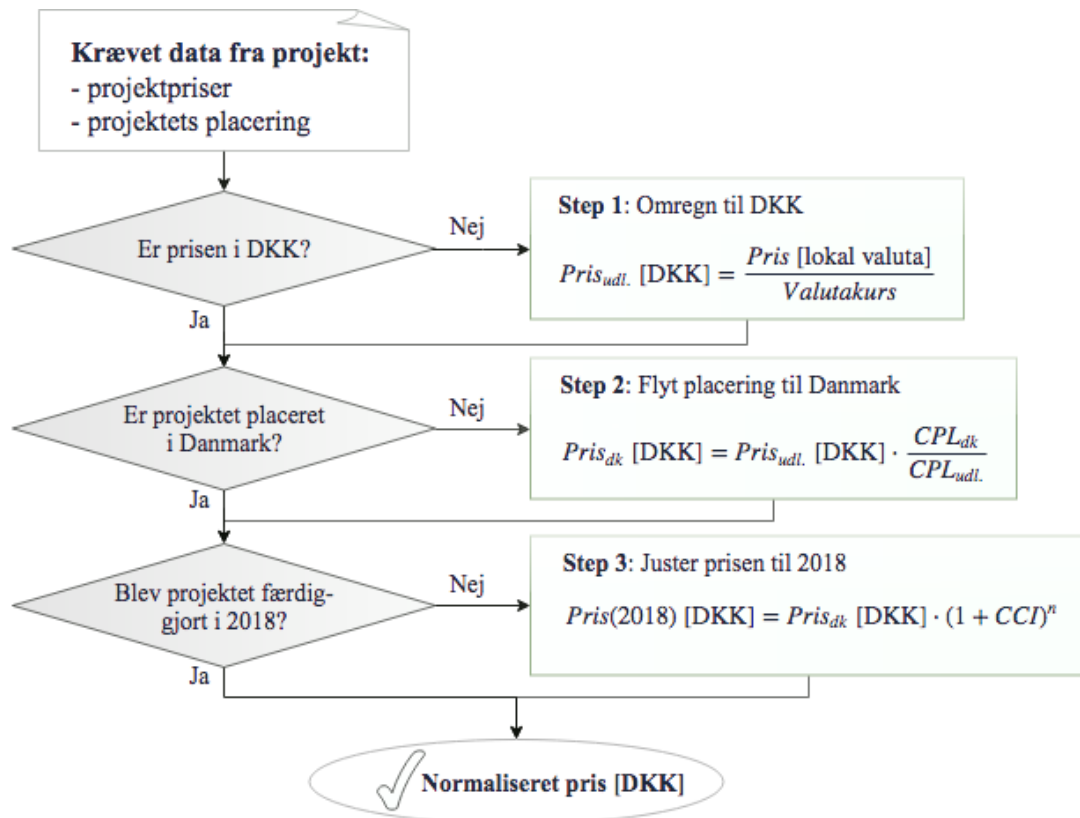
Den anvendte fremgangsmetode til normalisering af priserne ses på figur 4.2.

1. Valutaomregning

Omregning af priser til samme valuta sker med valutakurserne givet i tabel 4.5. Der beregnes med valutakurserne fra de år, projekterne stod færdige. Projekterne er præsenteret i kapitel 5, og der er hhv. et projekt fra Canada, som stod færdigt i august 2017 og to fra Norge, der stod færdigt i hhv. december 2016 og november 2015.

Tabel 4.5: Anvendte valutakurser. [Danmarks Nationalbank, 2018]

Placering	Årstal	Valutakurs [DKK/100[valuta]]
Canada	2017	508,37
Norge	2016	80,18
	2015	83,43

**Figur 4.2:** Fremgangsmetode til normalisering af projekt-priser.

2. Justering af placering

For at tage højde for projekters placering i andre lande, anvender Choi et al. [2016] *the International Construction Intelligence Index (ICII)*.

Indekstallet repræsenterer en relativ konstruktionsfaktor for bl.a. materiale- og installationsomkostninger, der inkluderer arbejdskraft, leje af udstyr o.lign., som kan variere mellem lande. For at finde et tilsvarende indeks til denne undersøgelse, er forskellige indekser undersøgt, bl.a. fordi Choi et al. [2016] anvender ICII fra en kilde, der ikke angiver værdier for de aktuelle lande i denne undersøgelse.

Det mest optimale ville være at finde et indeks, der var skræddersyet til byggeindustrien, og som tog højde for alt, der kan have betydning for et byggeris pris - og at der kunne findes værdier for 2015, 2016 og 2017, men dette var ikke tilfældet.

I tabel 4.6 ses en kort præsentation af to fundne indekser. Indekstallene ses i tabel 4.7.

De fundne værdier for Comparative Price Levels (CPL) er gennemsnitsindeks for landene, og de fundne værdier for ICII er gennemsnitsindeks for hovedstæderne, men det er stadig vurderet, at de kan anvendes til at danne et relativt forhold mellem landene.

Tabel 4.6: To gennemgåede indekser til justering af projekternes placering. [OECD.Stat, 2017] [Wiggins, 2016] [Wiggins, 2014] [Wiggins, 2013] [Anderson, 2012]

I	Kort beskrivelse	Kritik
Comparative Price Levels (CPL)	Baseret på Purchasing Price Parity (PPP) for BNP. Bygger på "basket of goods" approach. Denne "basket" inkluderer bl.a. forbrugsvarer, services, materiel, materialer, og angiver derfor et generelt mål for forskellen i levepriser i mellem forskellige lande.	<u>Fordele:</u> - Muligt at finde indekser for både 2015, 2016 og 2017, - Gennemsnitsværdier for landene <u>Ulemper:</u> - Inkluderer forbrugsvarer o.lign., som ikke har noget at gøre med byggeindustrien, - PPP ignorerer betydningsfulde elementer såsom arbejdsproduktivitet, præstationer og margener. [Turner&Townsend, 2017].
International Construction Intelligence Index (ICII)	Tager højde for bl.a. BNP, byggeaktivitet, arbejdsløshed, materialeomkostninger o.lign., som sammenlignes mellem landene til at indikere "Construction Intelligence". Kan f.eks. anvendes til vurdering af placering af fremtidige byggeprojekter.	<u>Fordele:</u> - Samme indeks anvendt af Choi et al. [2016] (men fra anden kilde), - "Skræddersyet til sammenligning af byggeindustrien på tværs af landene, - Udvider CPL ved at tilføje arbejdskraftens produktivitet, markedsforhold, entreprenørernes præstationer og margener [Turner&Townsend, 2017]. <u>Ulemper:</u> - Ingen tal for 2015 og 2017 - Gennemsnitsværdier for hovedstæderne

Tabel 4.7: Undersøgte indeks til justering af projekternes placering. Der er angivet værdier siden 2012 for at danne et større overblik over udviklingen. [OECD.Stat, 2017] [Wiggins, 2016] [Wiggins, 2014] [Wiggins, 2013] [Anderson, 2012]

Land	2017	2016	2015	2014	2013	2012
Comparative Price Levels (CPL)						
Danmark	100	100	100	100	100	100
Canada	87,40	86,29	89,43	85,82	90,98	95,35
Norge	111,02	110,48	110,57	113,43	117,29	118,60
International Construction Intelligence Index (ICII)						
Danmark		100		100	100	100
Canada		73,02		76,16	80,10	80,43
Norge		90,47		102,02	113,08	115,26

Det fremgår af tabel 4.7, at der er relativt stor forskel i CPL og ICII - særligt for Norge, hvor indekset i hhv. den ene er højere end det danske, mens det i den anden er lavere, hvilket har stor betydning for resultatet af justeringen.

Andre kilder er undersøgt for at finde en forklaring på det store relative fald i ICII i Norge i 2016. Følgende er fundet:

- Den norske krone er faldet i værdi ift. den danske krone siden 2012, hvilket medvirke til fald i ICII sammenlignet med Danmark [Danmarks Nationalbank, 2018], Fald med 10,22% i den norske krone relativt til Danmark mellem 2014 og 2016.
- *Construction Cost Index* for boligbyggeri (inkluderer materialer og arbejdskraft) er i Danmark steget med 7,56%. I Norge er samme indeks 18,6%, hvilket ville medvirke til stigning i ICII for Norge relativt til Danmark. [Statistisk sentralbyrå, 2018] [Statistics Denmark, 2018]

Det norske produktionsindeks stiger relativt til det danske, hvilket må være et resultat af øget efterspørgsel i Norge, der burde medvirke til prisstigning - dermed burde det påvirke ICII for Norge til at stige relativt til Danmark.

- BNP i Norge er mellem 2014 og 2016 faldet med knap 13% mere relativt til Danmark, hvilket kunne forårsage det store fald i ICII for Norge. ICII inkluderer dog BNP for byggeri, ikke den totale.

BNP for byggeri er fra 2014-2016 stigende i både Danmark og Norge med nogenlunde samme størrelse. Da Norges totale BNP i 2014 er ca. 43% større end Danmarks, angiver BNP for byggeri en større andel i Danmark ift. den totale BNP, hvormed den procentvise stigning også vil være større relativt til Norge. Dette ville medføre et fald i Norges ICII relativt til Danmark, dog ikke så stort, som angivet i tabel 4.7. [The World Bank, 2018] [Trading Economics, 2018]

Som det fremgår af ovenstående punkter, kan der ikke identificeres en årsag til det store fald i Norges ICII fra 2014-2016, hvormed der ses kritisk på dette indeks.

Det vælges derfor, trods nævnte fordele og ulemper i tabel 4.6, at anvende CPL til justering af projekternes placering - dels også fordi der her findes tal for 2015, 2016 og 2017, hvilket anses at være en stor fordel.

3. Tidsjustering

Efter trin 1 og 2 i metoden er projekterne justeret ift. valutakursen for det år, de blev opført, samt de er "rykket til Danmark" i samme år. Der skal derfor som det tredje step foretages en tidsjustering for at få det samme år som grundlag for alle projekter i undersøgelsen.

Det vælges at justere tiden ift. *Construction Cost Index*, der angiver udviklingen i de danske byggepriser over årene (tabel 4.8 på den følgende side). Den inkluderer både materialer og arbejdskraft for råhus, el-installation osv. og medregner inflation ift. disse elementer.

Projekterne justeres til første kvartal i 2018.

Kritik af metode

I metoden tages ikke højde for den teknologiske udvikling, og hvordan byggeprocessen dermed er effektiviseret med tiden, og byggetiden er blevet kortere.

Da der i Danmark ikke har været nogen udvikling inden for træbyggeri, fordi vi ikke er "startet" med at bygge i træ endnu, anses det ift. træprojekterne at være fair ikke at tage

Tabel 4.8: Construction Cost Index (CCI) i Danmark fra 2014-2017. 2014 angiver indeks 100.

*Baseret på nettoprisindekset for første kvartal i 2018, da der ikke forefindes værdier for CCI i 2018 [Danmarks statistik, 2018]. [Statistics Denmark, 2018]

Årstal	Construction Cost Index (CCI)
2014	100
2015	101,9
2016	103,7
2017	104,4
2018*	104,5

højde for dette. Udviklingen inden for træbyggeri i f.eks. Norge vil selvfølgelig medvirke til, at Danmark kan blive gradvist bedre til at bygge i træ også, men dette anses at være minimalt ved disse projekter, så det anses ikke at medføre en større fejlestimering.

Ved betonprojekterne burde der måske være taget højde for effektivisering, teknologisk udvikling osv., da man bliver bedre til at bygge i beton for hvert år. Men da der ikke tages højde for dette i træprojekterne, vælges det heller ikke at tage højde for det ved betonprojekterne, og betydningen anses at være ubetydelig, da både træ- og betonprojekter er opført indenfor de seneste fire år.

4.2.2 Analyse af resultater

Igennem litteraturstudiet er der fundet flere artikler, som angiver forskellige metoder til behandling og analyse af besvarelser og KPIs. Tilgangen i analysen af resultaterne er forskellig såvel som tilgangen til de to byggematerialer, beskrevet i afsnit 3.4 på side 40.

Da det ønskes at danne et generelt billede af præstationen af etagebyggeri i beton i Danmark (bolig, kontor o.lign.), foretages der en undersøgelse af nogle udvalgte betonprojekter (stikprøve), som skal repræsentere totalpopulationen af betonbyggeri. Det er tiltænkt at eftervise stikprøvens repræsentativitet ved at foretage en statistisk analyse.

Flere af de fundne artikler anvender forskellige statistiske metoder, bl.a. t-testen (student t-test). Bl.a. Hanna [2016] foretager en statistisk analyse på deres resultater i form af en t-test, hvor der antages normalfordeling af resultaterne. I analysen afbildes resultaterne ved boksplots, således der dannes et visuelt overblik til sammenligning. Testen starter med en nulhypotese, der igennem analysen hhv. accepteres eller forkastes - signifikansniveauet sættes iht. ønsket risiko ved forkastelse af hypotesen.

Metoden kan f.eks. anvendes til at afgøre om to sæt data er betydeligt forskellige fra hinanden - f.eks. præstationen af træ- og betonprojekter som i dette tilfælde. Analysen blev egentlig fundet interessant, da den indgår i mange af artiklerne fundet i litteraturstudiet, der har lignende undersøgelsesdesign til denne undersøgelse. Men den er ikke fundet aktuel, da det som tidligere nævnt ikke er ønsket at vurdere/generalisere træprojekterne ud fra statiske analyser. Der er dog draget inspiration fra flere dele af den anvendte metode af Hanna [2016] samt andre, der anvender lignende metoder [Rankin et al., 2008].

5

Casebeskrivelser

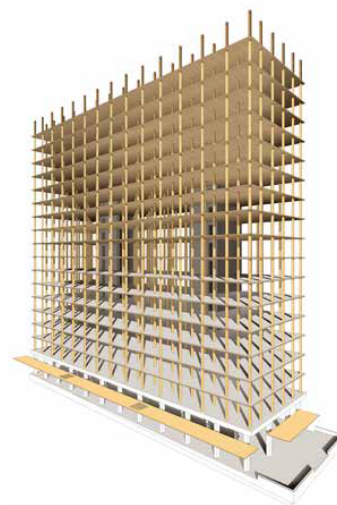
I dette kapitel præsenteres de udvalgte træprojekter til undersøgelsen. Der præsenteres de tre projekter, der ønskede at medvirke i undersøgelsen, som hver repræsenterer tre forskellige konstruktionstyper. Andre aktører fra andre projekter har altså også været kontaktet, men der har enten ikke været givet en tilbagemelding eller givet et afslag fra disse parter.

Casebeskrivelserne vil udelukkende være baseret på offentlig tilgængelig information fra internettet, hvor information omkring pris er indhentet gennem den kvantitative analyse af casene.

De tre projekter er hhv. opført i Vancouver (Canada), Trondheim og Bergen (Norge).

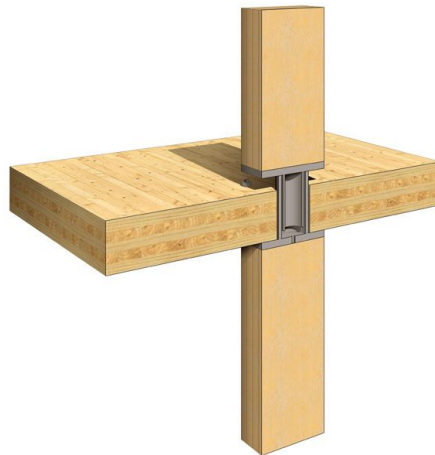
5.1 Brock Commons, Vancouver

Brock Commons i Vancouver, Canada, er bl.a. udvalgt da dette var det højeste byggeri i træ i verden ved dette projekts opstart, måler 54 meter i højden fordelt over 18 etager. Det har derfor været interessant at undersøge, hvilke udfordringer der har været ved byggeriet, samt hvilke tekniske løsninger, der er anvendt. Bygningen er opført til studenterboliger for University of British Columbia, og den ses til venstre på figur 5.1. Den stod færdig i august 2017, har et bruttoareal på 15.115m² og er en såkaldt hybrid konstruktion, da der både er anvendt beton og massivtræ til de bærende elementer. De 17 øverste etager er udført i massivtræ, mens den nederste etage, og de to elevatorskakte er udført i beton. Den bærende konstruktion ses illustreret til højre på figur 5.1. [Forestry Innovation Investment, 2017]



Figur 5.1: Til venstre ses træbygningen Brock Commons i Vancouver, Canada, på 18 etager. Til højre ses de bærende elementer i bygningen. [Forestry Innovation Investment, 2017]

Konstruktionen afviger fra et traditionelt søjle-bjælke system, da der ikke er anvendt bjælker. Gulvstrukturen består af 5-lags CLT-elementer understøttet på lim-lamineret træsøjler (limtræ) på et 2,85 x 4,0 meter grid. Dette resulterer i CLT-elementer, der kan overføre laster både i- og på tværs af spændretningen, hvilket fjerner behovet for bærende bjælker. For at undgå en lodret lastnedføring gennem CLT-elementerne muliggør en stålforbindelse i samlingerne en direkte overførsel af last mellem søjlerne. Stålforbindelsen mellem søjler og CLT-elementer er illustreret på figur 5.2. [Forestry Innovation Investment, 2017]



Figur 5.2: Samlingsdetalje mellem CLT-elementer og limtræs søjler. [Forestry Innovation Investment, 2017]

Bygningen er opført med en kort varighed. Der er opført to etager om ugen, hvor det har taget 6-12 minutter at montere et CLT-element og 5-10 minutter at montere en limtræs søjle. Der er blevet brugt 2.233m³ træ til CLT-elementerne og limtræs søjlerne, hvilket, efter sigende, skulle tage de amerikanske og canadiske skove seks minutter i alt at gro. Dette giver en besparelse på 2.432 tons CO₂, sammenlignet med samme byggeri kun opført i beton i stedet. De 1.753 tons CO₂ udgøres af den mængde, der er opbevaret i træet, og de resterende 679 tons CO₂ angiver den besparelse der har været ved at anvende træ frem for beton. [Forestry Innovation Investment, 2017]

Der har været udviklet tre forskellige strategier for at brandsikre bygningen, hvori de fleste teknikker er almindelige for fleretagers byggeri i British Columbia. Der er hhv. lavet en brandstrategi for opførelsen/byggeperioden og to for driftsperioden, hhv. en passiv- og en aktiv brandbeskyttelsesplan.

Brandstrategien under byggeriet gik bl.a. ud på, at der maks. måtte være fire etager, hvor træelementerne ikke var brandbeskyttet, samt der altid var en brandvagt tilstede. Den passive brandbeskyttelse består af en ikke-brandbar stuetage, samt ikke-brandbare trappetårne, da disse er lavet i beton. Ydermere er alle træelementer beklædt med min. tre lag gipsplader, hvilket giver bygningen en to timers brandmodstandsevne for alle strukturelle samlinger og mellem alle lejligheder, og en times brandmodstandsevne mellem korridorer og lejligheder. Den aktive brandbeskyttelse består af et alarmsystem, der både visuelt og lyd-mæssigt alarmerer beboere om brand, samt der er installeret et automatisk sprinklersystem i hele bygningen, der endvidere er tilkoblet et back-up vandsystem, som alene kan forsyne sprinklerne med vand i 30 minutter. [Forestry Innovation Investment, 2016]

Under opførelse var det vigtigt at kontrollere fugtindholdet i CLT-elementerne, da for lidt fugtindhold under fremstillingen kan påvirke ydeevnen af det anvendte klæbemiddel, mens for meget vil resultere i vækst af mug. Forskellige typer af coating (overdækning/-træk) blev som en del af projekteringen testet både fysisk og igennem simulation, for at minimere fugtindholdet i hele bygningens driftsperiode samt under opførelsen. Mens coatingen reducerede fugtindholdet under opførelse, blev det erfaret under byggeriet, at denne forhindrede beton-afretningslaget på CLT-elementerne i at binde tilstrækkeligt, hvilket resulterede i delaminering i nogle områder. Problemet blev løst ved mekanisk genmontering af beton-afretningslaget med skruer. [Forestry Innovation Investment, 2018]

Projektet er opsummeret i tabel 5.1, hvori også de væsentligste aktører i projektet fremgår.

Tabel 5.1: Opsummering af projektet Brock Commons i Vancouver.

Højde 54 meter, 18 etager	Projektleder UBC Properties Trust	Arkitekt Acton Ostry Architects Inc.
Bruttoareal 15.115m ²	CLT og limtræs leverandør Structurlam Product	Ejer University of British Columbia
Byggeperiode November 2015 - August 2017	Pris for projekt ekskl. moms 50,8 MCAD	Mere information findes på www.naturallywood.com/emerging-trends/tall-wood/brock-commons-tallwood-house

5.2 Moholt 50|50, Trondheim

Moholt 50|50 er et bydelsprojekt i Trondheim, Norge, der tager udgangspunkt i de sidste 50 år som studenterby og ser frem mod de kommende 50 år - deraf navnet Moholt 50|50. Bygherre på projektet er Sit (Studentsamskipnaden i Gjøvik, Ålesund og Trondheim) og består af fem 28 meters høje bygninger i ni etager indeholdende 632 nye studenterboliger i alt fordelt over et bruttoareal på ca. 17.500m². Derudover indeholder projektet også en børnehave, et bydelsbibliotek/aktivitetshus, en parkeringskælder med 30 p-pladser, cykelparkering og teknikrum og servicefaciliteter såsom legeplads, frisør, fitnesscenter og vaskeriservice. Det er alt sammen opført i CLT-elementer. Alt det nye byggeri har et samlet bruttoareal på ca. 25.000m², hvor de eksisterende bygninger i området har et bruttoareal på 63.000m² og består primært af treetagers teglbygninger med studenterboliger og lejligheder,



Figur 5.3: De fem nieters bygninger opført som del af bydelsprojektet Moholt 50|50. [Træinformation, 2018]

samt to børnehaver. [Selstrøm, 2017] Til denne undersøgelse er det kun de fem nye ni-etagers stundenterboligtårne, der vil blive inddraget, da undersøgelsen netop omhandler fleretagers (bolig)byggeri i træ. De fem tårne kan ses på figur 5.3.

De fem tårne fra Moholt 50|50 er fundet interessante til denne undersøgelse, da det statiske system i de fem tårne er skive-byggeri, hvilket er et system, der i forvejen er hyppigt anvendt i fleretagers byggeri i Danmark, hvormed der kan drages flere paralleller til danske byggemetoder. Det statiske system ses på figur 5.4, hvor den venstre del illustrerer en model af det bærende system, og den højre del viser én af tårnene under opførelsen. Derudover er bygningerne også interessante grundet deres størrelse, lighed og antal, hvor gentagelseeffekten tænkes at have en positiv indflydelse på den samlede byggeintensitet for projektet. Dette kan vurderes at være et mere sammenligneligt eksempel til byggeintensiteten opnået af de danske betonprojekter, da deres præstation er et resultat af mange års erfaring med montering af betonelementer.



Figur 5.4: Til venstre ses en model af det statiske system, udgjort af CLT-elementer [Arkitektur N, 2018]. Til højre ses et af tårnene under opførelse [Træ.dk, 2016].

Der er anvendt ca. 5.300m^3 massivtræ til de fem tårne, der er anvendt fra anden til niende etage. Kælder og første etage er udført i beton. Brugen af CLT-elementer har reduceres CO_2 -forurening forbundet med materialer med 57% iht. TEK10. Tårnene er beklædt med Kebony og har et estimeret energiforbrug på $80,3\text{kWh}/\text{m}^2/\text{år}$, hvilket giver bygningen energimærke A ift. passivhusstandard (NS3700/3701). Trods træs hygroteermiske egenskaber er der ikke anvendt dampspærre i ydervæggene. Kun få indvendige vægge er beklædt med gips for at overholde lyd- og brandkrav. [Selstrøm, 2017] Bygningerne har sprinkleranlæg iht. NS-EN 12845, der angiver krav om automatiske slukningssystemer i bygninger med elevator Lieblein [2016].

Projektet er opsummeret i tabel 5.2 på næste side, hvori også de væsentligste aktører i projektet fremgår.

Tabel 5.2: Opsummering af de fem nietagers tårne opført som del af bydelsprojektet Moholt 50|50

Højde 28 meter, 9 etager	Hovedentreprenør Veidekke Entreprenør AS	Arkitekt MDH Arkitekter
Bruttoareal 17.500m ²	Massivtræs leverandør Stora Enso	Ejer Sit
Byggeperiode Marts 2015 - December 2016	Pris for tårne eksl. moms 487 MNOK	Mere information www.arkitektur. no/moholt-5050

5.3 Treet, Bergen

Treet i Bergen, Norge, er tidligere indehaver af rekorden som højeste træbygning med sine 14 etager (51 meter højt), da det stod færdigt i 2015, indtil det blev overgået af Brock Commons i 2017. Byggeriet er opført for Bergen og Omegn Boligbyggelag (BOBB), og det består af 48 færdige moduler i træ og et bærende system i limtræ [Beck, 2015]. Bygningen kan ses på figur 5.5. Det er begrænset, hvor meget arbejde udover montering, der er foretaget på byggepladsen, da alle tekniske installationer og hvidevarer har været installeret i modulerne inden opførelse. Samlet har bygningen et bruttoareal på 5.600m². [Dale, 2016]

Byggeriet er fundet interessant til denne undersøgelse, da det netop er et modulbyggeri, hvilket kan være en fordel, træ kan medvirke til i byggeriet grundet dets mindre masse. Det er omtalt som en fordel, da det kan forestilles, at dette også har en positiv betydning ift. byggeintensiteten - også af sikkerhedsmæssige årsager, da størstedelen af byggeriet foregår under mere kontrollerede forhold end på en byggeplads. Fugtproblemer vil ligeledes være minimeret under byggeprocessen.

**Figur 5.5:** Treet i Bergen, Norge. [Henriksen, 2014]

De præfabrikerede moduler er udført i CLT, og alle træelementer i bygningen kan jf. Dale [2016] og Falkenberg [2016] samlet oplagre ca. 2.000 tons CO₂. Efter norske standarder har bygningen energimærke A, samt det efterlever kriterierne for et passivhus (NS3700/3701) [Selstrøm, 2016]. Der er anlagt to såkaldte power-etager, hhv. etage fem og ti, hvor der er anvendt betonelementer for at give bygningen en mere stabiliserende tyngde, hvorved bygningen også er en hybrid. Der er endvidere monteret diagonale skræstivere af limtræ i

rammekonstruktionen (kan ses på figur 5.5) for at skabe stabilitet. [Beck, 2015]
Komponenterne, bygningen består af, er vist på figur 5.6.



Figur 5.6: Komponenterne, som Treet består af. Øverst til venstre ses modulerne, mens rammekonstruktionen af limtræ er vist til højre for. Nederst til venstre ses de anvendte massivtræs-elementer, mens facadebeklædningen er vist til højre for. [Trifkovic, 2015]

Hvad angår brandsikkerhed, så har projektchefen, Ole Kleppe udtalt, at Treet er Norges mest brandsikre lejlighedsbyggeri, hvor han tilføjer: “*Når limtrekonstruksjoner begynner å brenne dannes det et lag av kull på utsiden av trevirket og brannen slukner. Alle treoverflater er malt med brannmaling og det er uttak for slukkevann i hver etasje. Det er sprinkling i leiligheter, i korridorer, på balkong, over himling og i garasjeanlegget. Leilighetene er dessuten godkjent i brannklasse EI90*” [Falkenberg, 2016].

Information om projektet er opsummeret i tabel 5.3, hvor bl.a. aktørene i projektet fremgår.

Tabel 5.3: Opsummering af projektet Treet i Bergen.

Højde 51 meter, 14 etager	Totalentreprenør Sweco	Arkitekt Artec AS og Smedsvig Landskapsarkitekter AS
Bruttoareal 5.600m ²	Limtræs og massivtræs leverandør Moelven Limtræ AS	Ejer Bergen og omegn boligbyggelag
Byggeperiode Maj 2014 - December 2015	Pris for projekt eksl. moms 220 MNOK	Leverandør af præfab- rikerede byggemoduler Kodumaja

6

Resultatbehandling

I dette kapitel præsenteres og analyseres resultater af undersøgelsen. Data er indsamlet gennem spørgeskemaer udsendt til aktuelle parter, som beskrevet i afsnit 3.4 på side 40. Først i afsnittet vurderes den indsamlede data i spørgeskemaundersøgelsen mht. validitet og pålidelighed for at identificere forudsætningerne for de fundne resultater (afsnit 6.1). De egentlige resultater af spørgeskemaundersøgelsen (beregnete KPIs) er præsenteret i afsnit 6.2 på side 70. I analysen af resultaterne (afsnit 6.3 på side 73) inddrages løbende besvarelser fra udsendt standardiseret interview mhp. bedre at fortolke og forklare resultaterne.

Spørgeskema-, interviewbesvarelser samt Excel-ark anvendt til behandling af besvarelserne er vedlagt i elektronisk bilag (appendiks E).

Der gøres opmærksom på, at noget af indeholdet i spørgeskemabesvarelserne fra betonprojekterne er sløret for at tilsikre deres anonymitet, hvorfor disse projekter ligeledes vil blive holdt anonyme i dette kapitel.

6.1 Vurdering af spørgeskemaundersøgelse

I dette afsnit kigges der nærmere på selve spørgeskemaundersøgelsen, som danner grundlaget for de resultater, der præsenteres og analyseres igennem dette kapitel. Besvarelserne findes i elektronisk bilag (appendiks E). Afsnittet skal medvirke til at illustrere validiteten og øge pålideligheden af undersøgelsen.

Udenlandske træprojekter

Spørgeskemaerne til dataindsamling for Brock Commons (BC), Moholt 50|50 (M) og Treet (T) (præsenteret i kapitel 5 på side 61) blev som udgangspunkt udsendt til bygherrerne, da de blev vurderet at have bedst kendskab til størstedelen af spørgsmålene, som beskrevet i afsnit 3.4.3 på side 45.

I det ene tilfælde kunne bygherre ikke finde tilstrækkeligt med tid til at deltage i undersøgelsen, hvormed forfatterne blev viderestillet til projektets arkitekt. Arkitekten besvarede størstedelen af spørgsmålene, hvorefter entreprenør og leverandør blev kontaktet med henblik på at modtage besvarelser på resten af spørgsmålene. Dette gav ikke den resterende del af besvarelserne, hvorfor bygherre som sidste udvej blev kontaktet igen, hvilket resulterede i den resterende del - dog havde bygherre ingen interesse i at bekendtgøre priser og udgifter for offentligheden.

I andet tilfælde blev der ikke responderet fra bygherre selv efter flere henvendelser, hvorfor entreprenøren blev kontaktet i stedet, der har bidraget med al den information, de kunne.

Sidste besvarelse er modtaget fra bygherre selv.

Danske betonprojekter

Ved dataindsamling fra danske betonprojekter blev 14 entreprenørvirksomheder kontaktet, som beskrevet i afsnit 3.4.1 på side 41. Kontakten blev skabt ved et telefonopkald til enten en receptionist eller projektleder i de udvalgte entreprenørvirksomheder med henblik på at skaffe en mailadresse, således spørgeskemaer blev sendt de rigtige steder hen fra start og for at gøre sig bemærket som et forsøg på at øge svarraten. Dette samt udsendelse af "rykkermails" resulterede i en tilbagemelding fra alle parter, hvoraf fem forskellige virksomheder ønskede at medvirke, hvilket resulterede i seks besvarelser i alt. Den resterende del manglede enten tid eller interesse for undersøgelsen, i enkelte tilfælde var firmapolitikken i vejen for deltagelsen.

De modtagne besvarelser er hovedsageligt udfyldt af projektledere, hvor der ikke har været yderligere kendskab til deres erfaring med projekterne, branchen eller andet, der kan have haft indflydelse på besvarelsene.

Da der var kontaktet 14 forskellige entreprenørvirksomheder, svarer dette til en besvarelsesprocent på 36%, som ønskede at deltage i undersøgelsen. Denne deltagerrate har nok været forventelig, dog var det forventet, at særligt de større entreprenørvirksomheder ville bidrage med flere projekter end blot ét projekt pr. virksomhed. Dette var tilfældet med én af virksomhederne, som afleverede to projekter. Den lave svarrate er ugunstig ift. ønsket om at generalisere en præstation af dansk beton-etagebyggeri (bolig, kontor el.lign.), da seks danske projekter ikke vurderes at være tilstrækkelige til en statistisk undersøgelse. Dette bl.a. også fordi to af besvarelsene omhandler hhv. en psykiatri og et butikscenter. Disse vurderes altså ikke at kunne bidrage til generaliseringen, da mange af rammerne i et sådan byggeri er anderledes end et boligbyggeri.

Den lave mængde besvarelser har resulteret i mindsket validitet af undersøgelsen af betonprojekterne, og dermed et andet udgangspunkt for resultatbehandlingen af disse, hvilket har ført til en anderledes resultatbehandling end først ønsket (som beskrevet i afsnit 4.2.2 på side 60). Der er dermed ikke foretaget en statistisk analyse af stikprøven, hvormed en generalisering af resultatet bliver mere usikkert.

6.1.1 Fejlkilder

Efter modtagelse af de udfyldte spørgeskemaer er flere åbenlyse fejl og misforståelser identificeret i alle seks spørgeskemaer, hvilket inkluderer flere manglende besvarelser på spørgsmål. Dette gav anledning til at identificere de mulige fejlkilder i spørgeskemaundersøgelsen, da det har betydning for kvaliteten af resultatet. Det er valgt at reflektere over dette inden resultatet præsenteres bl.a. for at illustrere læringsprocessen, da erfaringen er gjort under indsamling af spørgeskemabesvarelser og dermed før selve resultatbehandlingen er påbegyndt. Således er læseren også gjort klar over nogle af rammerne for resultaterne, der indgår i analysen.

Som hjælp til at identificere mulige fejlkilder, er der søgt inspiration i Andersen [2013], som definerer nogle spørgsmål, der kan hjælpe til at afklare fejlkilder ved spørgeskemaundersøgelser.

Modtager alle relevante personer skemaet? - Ved udsendelse af spørgeskemaer til danske entreprenører, er der kun sendt spørgeskema ud til én mailadresse i hver virksomhed,

hvorefter det har været op til modtageren at viderebringe spørgeskemaerne til aktuelle personer. Antallet af besvarelser har dermed været meget afhængigt af denne person, der har haft indflydelse på, hvem og hvor mange der er blevet inddraget fra virksomheden. Personligt kendskab og henvendelser til respondenterne ville formodentlig have givet større svarrate, men da forfatterne ikke har kendskab til mange i branchen, var dette ikke en mulighed, der resulterede i flere besvarelser.

Hvilken situation er svareren i? - Travlhed i den danske entreprenørbranche kan måske have påvirket både mængden af besvarelser og kvaliteten heri. Den generelle travlhed vurderes at påvirke alle involverede entreprenørvirksomheder, hvilket formodes også at ville præge svarraten på spørgeskemaundersøgelsen. En bedre "markedsføring" af undersøgelsen kunne måske have medvirket til, at flere ville tage sig tid til undersøgelsen, hvis det var gjort tydeligere for dem, hvad de nøjagtigt kunne bruge en indsigt i undersøgelsen til. Travlhed kan endvidere påvirke, hvor grundige respondenterne er i deres besvarelser, og det kan påvirke, hvor omhyggeligt respondenterne læser spørgsmålene, hvilket også kan føre til fejlbesvarelser eller mistolkninger.

Bliver intentionen med spørgsmålene forstået? - I selve besvarelserne har der været flere fejl og misforståelser at spore. Det har ikke været entydigt hvilke spørgsmål, der har været fejlbesvarelser i, hvormed det er vanskeligt at udpege hvilke formuleringer, der ikke har været specificeret tilstrækkeligt. Her nævnes nogle af dem:

- I to af besvarelserne er overordnede kriterier for deltagelse i undersøgelsen misforstået, da der som skrevet er modtaget besvarelser fra en psykiatri og et butikscenter.
- En respondent har tydeligt angivet det gennemsnitlige antal ansatte under opførelsen/byggeriet i stedet for det totale antal, som der blev spurgt ind til i spørgeskemaet. En anden respondent har angivet både total og gennemsnit, hvilket kunne indikere, at dette spørgsmål har været lettere misforståeligt. Dette kan påvirke validiteten af spørgsmålet og pålidelighed af besvarelsen negativt, da der er risiko for, at andre også kan have misforstået spørgsmålsformuleringen.
- Der er fundet fejl ved angivelse af forskellige priser og tider for projekterne, men det var muligt at rette op på disse, da bl.a. en respondent havde angivet højere pris for opførelsen af bygningen end hele projektet, hvormed det er antaget, at der er byttet rundt på besvarelserne. Dette kunne altså tyde på, at der er anvendt utilstrækkeligt definerede termer. En spørgeskemavejledning kunne måske have afhjulpet dette, indeholdende en kort definition og beskrivelse af termene, således respondenterne ikke var i tvivl om, hvad der præcist skulle inkluderes i de forskellige dele.

Utilstrækkeligt definerede termer minimerer generelt validiteten af spørgeskemaundersøgelsen, da der ingen garanti er for, at den indsamlede data stemmer overens med målet, forfatterne havde med undersøgelsen.

- Der fremgår flere manglende svar i spørgeskemaerne, hvilket både kan skyldes misforståelse af spørgsmålene, manglende viden omkring spørgsmålet eller at spørgsmålet måske var for tidskrævende at besvare. Respons/feedback på spørgeskemaet blev modtaget fra to af respondenterne, der mente, spørgeskemaet var meget omfattende at besvare.

Et kortere spørgeskema, måske færre præstationsmålinger i undersøgelsen, så det ikke var så omfattende for respondenterne at udfylde alle spørgsmål, havde måske ført til mere udførlige besvarelser - og måske endda flere af dem.

Under resultatbehandlingen vælges det at se bort fra ovennævnte usikkerheder, da data fra spørgeskemaundersøgelsen trods fejl, mangler og mulige misforståelser er den eneste data, forfatterne har at tage udgangspunkt i. Dette påvirker validitet og pålidelig af resultatet af undersøgelsen, hvilket diskuteres senere.

6.2 Resultat af spørgeskemaundersøgelse

I dette afsnit præsenteres resultatet af spørgeskemaundersøgelsen i form af de beregnede KPIs.

Tabel 6.1 præsenterer i den øverste del karakteristika for de betonprojekter, der indgår i undersøgelsen, således der skabes et indtryk af projekterne. I den nederste del opsummeres (og suppleres) samme information for træprojekterne fra casebeskrivelserne i kapitel 5 på side 61. Dette anvendes/omtales ved senere resultatbehandling.

Tabel 6.1: Øverst: Karakteristika for betonprojekterne, indsamlet gennem spørgeskemaundersøgelsen.

Nederst: Opsummerende (og supplerende) karakteristika for træprojekter fra kapitel 5 på side 61. *5 separate (ens) boligårne.

Betonprojekter						
Information	Projekt 1	Projekt 2	Projekt 3	Projekt 4	Projekt 5	Projekt 6
Funktion	Ejerbolig	Bolig	Psykiatri	Bolig	Bolig (og butik)	Butikscenter
Antal etager	6	6	6	4-7	4-8	3
Bruttoareal [m ²]	5.944	2.500	52.000	12.000	5.050	30.000
Færdiggjort	Juli 2015	Dec. 2016	Okt. 2018	Juli 2014	April 2018	April 2017
Dimensioneret levetid [år]	50+	50-100	60	50	50	-
Konstruktionstype	Skive	Bjælke/søjle	Præfab.	Bjælke/søjle	Præfab.	Bjælke/søjle
Funderingstype	Pæle	Pæle	Direkte	Pæle+stribe	Stribe	Direkte
Estimeret antal arbejdere (udførelse)	100	10	260	65	25	200
Kompleksitet: [1-5]						
Projektering	2	1	5	4	2	4
Udførelse	2	1	5	3	2	3
Træprojekter						
Information	Brock Commons		Moholt 50 50		Treet	
Funktion	Studiebolig		Studiebolig		Ejerbolig	
Antal etager	18		9 (×5*)		14	
Bruttoareal [m ²]	15.115		17.500		5.600	
Færdiggjort	Aug. 2017		Dec. 2016		Dec. 2015	
Dimensioneret levetid [år]	100		-		50	
Konstruktionstype	Søjle/skive		Skive		Modulbyg.	
Funderingstype	Adskillige (beton)		Punkt (beton)		Direkte (beton)	
Estimeret antal arbejdere (udførelse)	9-11		170		40	
Kompleksitet: [1-5]						
Projektering	4		3		4	
Udførelse	5		3		5	

6.2.1 Key Performance Indicators

I tabel 6.2 på næste side ses resultaterne for de tre træprojekter. Det fremgår af tabellen, at der ikke blev modtaget så mange informationer omkring priserne på M og T. Dette skyldes som tidligere nævnt, at der på det ene projekt ikke kunne skabes kontakt til bygherre, som kendte til priserne. Det andet projekt ønskede ikke at dele beløbene. Dette har resulteret i, at CSF'en 'Pris' udelukkende er bedømt ud fra den overordnede enhedspris for disse to projekter.

Tabel 6.3 på side 73 viser resultaterne for de seks betonprojekter, hvor kolonnen til højre giver et beregnet gennemsnit, da det er dette, der ønskes at sammenligne træprojekterne med. Det beregnede gennemsnit er kun regnet ud fra fire ud af de seks projekter. De to undladte projekter er de tidligere omtalte projekter, hhv. en psykiatri og et butikscenter, og de er ikke indregnet i den gennemsnitlige værdi, da det er vurderet, at forskellene fra et boligbyggeri er for store, og de dermed ikke vurderes repræsentative for den gennemsnitlige præstation søgt i denne rapport. Projekterne er dog medtaget i resultaterne og dele af undersøgelsen alligevel, grundet den lave svarrate.

Alle priser er justeret ud fra fremgangsmetoden præsenteret i afsnit 4.2.1 på side 56. Moelven blev kontaktet som en form for "kvalitetssikring" af prisomregningen med et ønske om at få pejling af, hvad deres arbejde med T ville koste, hvis et lignende projekt skulle opføres i Danmark i stedet. Deres rolle i byggeriet af T har været at levere og montere trækonstruktionen over kælderniveau. De har dog ikke været involveret i byggemodulerne, som har været den største udgift i projektet. Men deres bedømmelse er, at levering og montering af limtræ- og massivtræskonstruktioner ville kunne bygges til cirka samme pris i Danmark, dog justeret ift. inflation siden 2014 og lidt ekstra transportomkostninger. De bedømte dette til en stigning på ca. 3% pr. år, hvilket resulterer i en højere pris for deres arbejde end beregnet jf. fremgangsmetoden i afsnit 4.2.1 på side 56. Med dette er det ikke sagt, at der ikke kunne findes en billigere pris hos andre leverandører i andre lande, men da Moelven er en skandinavisk virksomhed, er de et godt bud på nogen, der kunne kontaktes ved træbyggeri i Danmark, da de besidder noget erfaring med materialet fra Norge. Der er ikke taget yderligere hensyn til disse tal i analysen.

CO₂-mængden for træprojekterne er beregnet ud fra de 900 kg/m³, der er lagret i træet (afsnit 1.2 på side 4) [Johansen et al., 2014], dermed resulterer dette i et negativt resultat. CO₂-mængden for betonprojekterne er beregnet ud fra en forurening på 214 kg/m³ [Munch-Petersen og Nielsen, 2017]. Der er i begge beregninger kun taget højde for forurening forbundet med selve materialet, og der er dermed i ingen af beregningerne taget højde for en forureningskilde såsom transport til/fra fabrikker osv. I et sådan tilfælde ville forureningen forbundet med transport af beton være højere, da det kræver mere transport end ved at levere en tilsvarende mængde i træ grundet dets lettere masse (alt afhængig af transportafstande).

De beregnede KPIs anvendes til bedømmelse af projektprestationerne i afsnit 6.3.

Tabel 6.2: Beregnede KPIs ud fra svar på spørgeskemaer fra udenlandske træprojekter.

*Denne værdi er givet af Vikan [2018].

KPI	Brock Commons	Moholt 50 50	Treet
Pris			
Tilvækst i pris [%]	0,03	-	-
Overordnet for projekt [kr/m ²]	19.562	17.545*	29.105
Opførelse af projekt [kr/m ²]	2.679	-	-
Pris for design [kr/m ²]	1.348	-	-
Estimeret vedligehold [kr/m ²]	280	-	-
Estimeret nedrivning [kr/m ²]	501	-	-
Pris for råhus [kr/m ²]	5.276	-	-
Omsætningshastighed [kr/dag]	561.437	-	-
Tid			
Tilvækst i tid [%]	0,05	0,03	0,00
Produktivitet [m ² /dag]	21,8	19,7	4,7
Byggeintensitet [m ² /dag]	36,0	46,8	14,6
Kvalitet			
Tilfredshed [1-7]	7	6	7
Tilfredshed			
Bygherre [1-7]	7	6	7
Interessent [1-7]	-	6	7
Sikkerhed			
Ulykkesrate [uheld/pers]	0,00	0,01	0,00
Miljøvenlighed			
CO ₂ -mængde [kCO ₂ /m ²]	-80,3	-217,4	-128,5
Energiklasse			
Energiforbrug [kWh/m ² /år]	134,3	64,0	15,0

Tabel 6.3: Beregnede KPIs ud fra svar på spørgeskemaer fra danske entreprenører.

*Gennemsnit er beregnet for projekt 1,2,4 og 5, da 3 og 6 er hhv. en psykiatri og et butikcenter. Gennemsnitsværdien for vægtningen (point) nederst i tabellen er beregnet ud fra alle seks projekter.

**Tallene angiver pointantal og ikke selve vægtningen. Hermed angiver 7 den vigtigste CSF, og 1 angiver den mindst vigtige CSF.

KPI	Betonprojekter						Gnm.-snit*
	Projekt 1	Projekt 2	Projekt 3	Projekt 4	Projekt 5	Projekt 6	
Pris							
Tilvækst i pris [%]	0,01	0,00	-	0,00	0,03	0,00	0,01
Overordnet for projekt [kr/m²]	9.612	16.124	23.154	15.249	11.683	20.020	13.167
Opførelse af projekt [kr/m²]	9.135	16.000	-	12.167	9.901	15.000	11.801
Pris for design [kr/m²]	207	806	2.019	784	594	434	598
Estimeret vedligehold [kr/m²]	-	-	442	-	10	-	10
Estimeret nedrivning [kr/m²]	-	-	-	-	347	-	347
Pris for råhus [kr/m²]	3.451	-	4.462	3.573	3.525	5.005	3.516
Omsætningshastighed [kr/dag]	176.809	215.561	-	403.885	111.111	893.735	224.566
Tid							
Tilvækst i tid [%]	0,00	-0,02	-	0,00	-0,17	0,00	-0,05
Produktivitet [m²/dag]	16,6	12,1	-	14,1	5,2	59,5	12,0
Byggeintensitet [m²/dag]	18,7	13,4	-	31,7	11,2	59,5	18,8
Kvalitet							
Tilfredshed [1-7]	7	7	6	6	6	6	6,5
Tilfredshed							
Bygherre [1-7]	7	7	6	6	-	6	6,7
Interessent [1-7]	7	7	6	6	6	6	6,5
Sikkerhed							
Ulykkesrate [uheld/pers]	0,05	-	0,02	0,00	0,08	0,04	0,04
Miljøvenlighed							
CO₂-mængde [kCO₂/m²]	59,4	-	-	110,1	105,9	-	91,8
Energiklasse							
Energiforbrug [KW/m²/år]	52,6	52,6	25,0	-	33,4	-	46,2
Vægtning (point**)							
Pris	6	6	5	1	5	7	5,0
Tid	3,5	5	3	4	4	4	3,9
Kvalitet	3,5	7	6	5	6	6	5,6
Tilfredshed	5	4	4	6	7	5	5,2
Sikkerhed	7	3	7	7	3	3	5,0
Energiklasse	2	2	2	2	2	2	2,0
Miljøvenlighed	1	1	1	3	1	1	1,3

6.3 Projektpræstationer

I dette afsnit analyseres projektpræstationerne ud fra de beregnede KPIs, præsenteret i tabel 6.2 og 6.3. Analysen foretages på forskellige niveauer. Først vurderes den overordnede præstation af projekterne. Efterfølgende undersøges disse præstationer nærmere inden for de enkelte CSF'er og slutteligt de enkelte KPIs. Figur 6.1 viser beregnet PSM i de fire sammenligninger, både vægtet (entreprenørernes prioritering af CSF'erne, tabel 6.3) og uvægtet (ligelig vægtning mellem CSF'erne).

6.3.1 Overordnet præstation af projekterne

Den overordnede præstation af projekterne bedømmes ved PSM, som er givet ved formel (4.1), præsenteret i afsnit 4.1 på side 51.

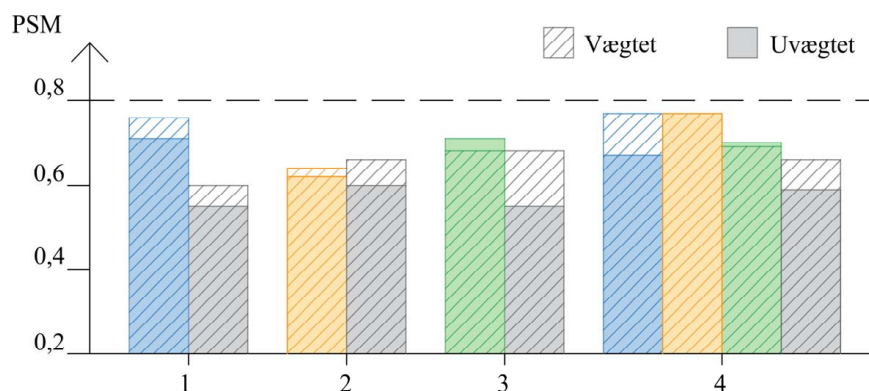
Resultaterne for sammenligningerne mellem de enkelte træprojekter og gennemsnitspræstationen for de fire betonprojekter ses i tabel 6.4. Sammenligning 4 angiver resultaterne for en samlet sammenligning, hvori alle træprojekter indgår.

Retningslinjerne for sammenligningerne gives her:

- Angivet vægtning er gennemsnitsværdien fra tabel 6.3 - ingen vægtning er ved ligelig vægtning mellem alle CSF'er.
- I sammenligning 1-3 er KPI'erne stillet op mod hinanden (træprojekt mod gennemsnit for beton), og projektet med bedst præstation har fået 1 point ved den respektive KPI, det andet har fået 0 point.
- Ved Kvalitet og Tilfredshed er pointene delt ud ift. skalaen anvendt i spørgeskema. Dermed har 7 resulteret i 1 point, 6 i 0,83 point osv. Denne skala er anvendt i dette tilfælde, da begge CSF'er er subjektive, hvormed det ikke er vurderet retfærdigt at give 1 til "vinderen" og 0 til "taberen" ud fra disse præstationer, blot fordi nogle måske kan have tendens til at være mere beskedne med bedømmelsen end andre.
- I den totale sammenligning (nr. 4) har den bedste præstation inden for en given KPI ligeledes givet 1 point, og den dårligste har givet 0. De resterende to er bestemt ud fra en lineær sammenhæng mellem bedste og dårligste præstation.
- Hver CSF er bestemt ud fra en ligelig vægtning mellem de indgåede KPIs, da der igennem litteraturstudiet ikke er fundet nogle artikler og metoder, hvor de enkelte KPIs vægtes ift. hinanden.
- Træprojekterne har styret, hvilke KPIs der medtages i sammenligningen. I tilfælde af Pris (se tabel 6.2) er sammenligningen for M og T altså kun baseret på den overordnede enhedspris for projekterne.
- Enhedspris for nedrivning og vedligehold (i tabel 6.2 og 6.3) er udeladt helt fra undersøgelsen, da de færreste havde kendskab til disse.

Tabel 6.4: Overordnet præstation af projekterne vurderet ved Project Success Measure (PSM) i forskellige sammenligninger.

Sammenligning nr.	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi-klasse	Miljø-venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,18	0,14	0,20	0,19	0,18	0,07	0,04	1	
Ingen vægtning	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14		1
1 Brock Commons Betonprojekter	0,33 0,67	0,67 0,33	1,00 0,92	1,00 0,94	1,00 0,00	0,00 1,00	1,00 0,00	0,76 0,60	0,71 0,55
2 Moholt 50 50 Betonprojekter	0,00 1,00	0,67 0,33	0,83 0,92	0,83 0,93	1,00 0,00	0,00 1,00	1,00 0,00	0,64 0,66	0,62 0,60
3 Treet Betonprojekter	0,00 1,00	0,00 1,00	1,00 0,92	1,00 0,93	1,00 0,00	1,00 0,00	1,00 0,00	0,68 0,68	0,71 0,55
4 Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	0,60 0,73 0,00 1,00	0,56 0,70 0,18 0,52	1,00 0,83 1,00 0,92	1,00 0,83 1,00 0,93	1,00 0,73 1,00 0,00	0,00 0,59 1,00 0,74	0,56 1,00 0,71 0,00	0,77 0,77 0,69 0,66	0,67 0,77 0,70 0,59



Figur 6.1: Resultater for de beregnede vægtede og uvægtede PSM i de fire sammenligninger.

I sammenligning 1 ses BC at præstere bedre end betonprojekterne i begge beregninger for PSM.

I sammenligning 2 præsterer M bedre i tilfældet, hvor der er ligelig vægtning mellem CSF'erne, mens betonprojekterne præsterer bedre, hvor PSM er bestemt ud fra de danske entreprenørers prioritering af de syv CSF'er.

I sammenligning 3 har de to projekter præsteret lige godt ud fra entreprenørernes vægtning, mens T vinder ved den uvægtede PSM.

I sammenligning 4 præsterer betonprojekterne dårligst af alle projekter i begge tilfælde. I denne sammenligning ses der at være byttet rundt på flere ting, da der pludselig er fire projekter at sammenligne, hvormed der også er givet point mellem 0 og 1 inden for den enkelte KPI. Dette betyder bl.a., at selvom T i sammenligning 3 (tabel 6.4) får 0 point i Tid, kan det stadig godt have en positiv værdi i denne sammenligning. Det indikerer, at projektet, trods dets dårligere præstation sammenlignet med betonprojekterne, stadig præsterer bedre end de andre træprojekter i min. én KPI i Tid. En nærmere analyse af de enkelte KPIs gennemgås mere detaljeret i afsnit 6.3.2 på side 78.

Ud fra alle sammenligningerne vurderes det, at træprojekterne overordnet set har præsteret bedst, og at det derfor ud fra denne specifikke undersøgelse umiddelbart er et konkurrence-dygtigt materiale.

Det ønskes at undersøge nærmere, hvorfor helt præcist træprojekterne præsterer bedre. Først præsenteres vægtningens betydning for den enkelte CSF, hvorefter udvalgte KPIs gennemgås nærmere.

Betydning af valgt vægtning for overordnet præstation

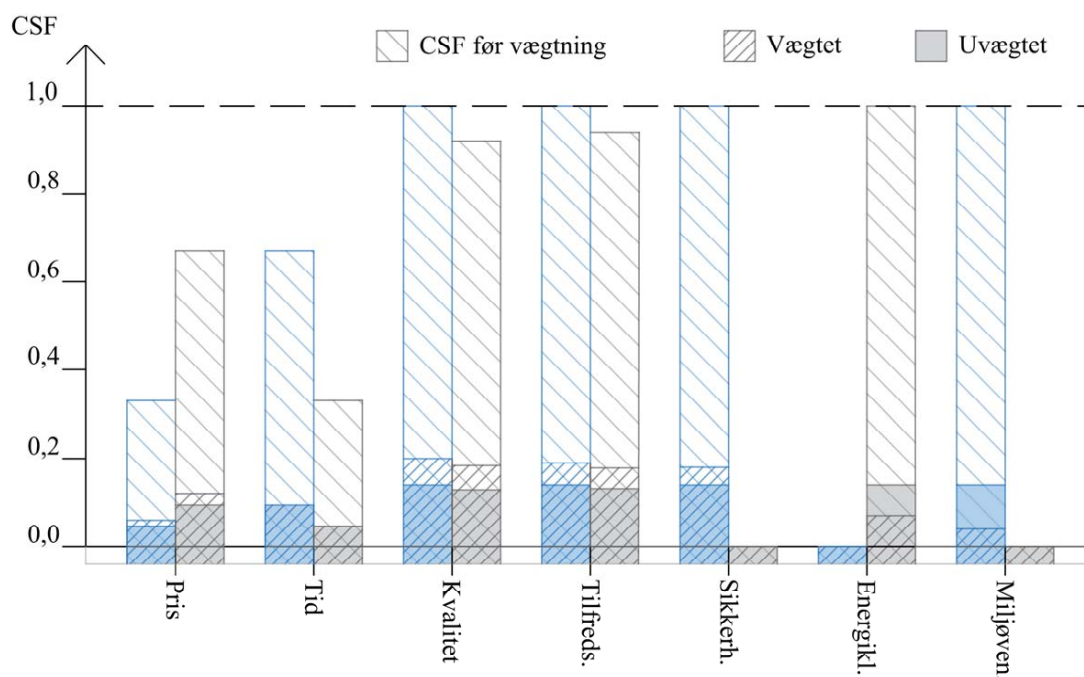
Figur 6.2 til 6.5 illustrerer de beregnede CSF'er i alle fire sammenligninger. Figureerne viser projekternes præstationer inden for den enkelte CSF, og hvordan denne præstation indgår i den vægtede og uvægtede PSM. Figureerne er præsenteret for at visualisere, hvilken betydning den valgte vægtning har på det enkelte projekts præstation inden for de specifikke CSF'er.

Det fremgår af sammenligning 1 (figur 6.2), at selvom BC præsterer bedre inden for Miljøvenlighed end betonprojekterne og dermed scorer maks. point, og cirka to tredjedele dårligere inden for Pris, så indgår der i den vægtede værdi stadig flere point forbundet med Pris end Miljøvenlighed. Forestilles det dermed, at vægtningen var modsat fordelt mellem

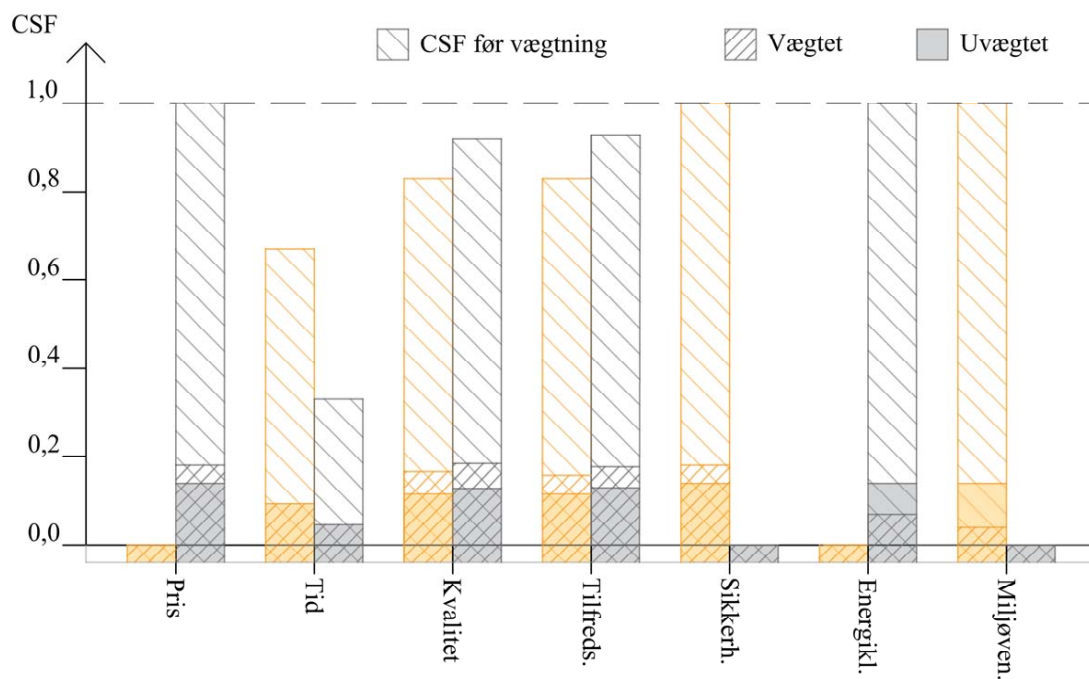
de to CSF'er, ville forskellen imellem den vægtede PSM for BC og betonprojekterne øges, da en højere vægtning i Miljøvenlighed ikke ville påvirke resultatet for betonprojekterne inden for dette området, da det har fået 0 point.

Sammenligning 2 og 3 (hhv. figur 6.3 og 6.4) viser også, hvordan vægtningen af Pris påvirker en større del af PSM end både Miljøvenlighed og Energiklasse. Selvom betonprojekterne scorer 1 i Pris og træprojekterne scorer det samme inden for de to andre områder, betyder dette kun en tredje-/fjerdedel for træprojekternes overordnede præstation sammenlignet med betonprojekterne. Dette gør sig ikke gældende ved den uvægtede værdi, hvor præstation inden for den enkelte CSF "belønnes" lige meget.

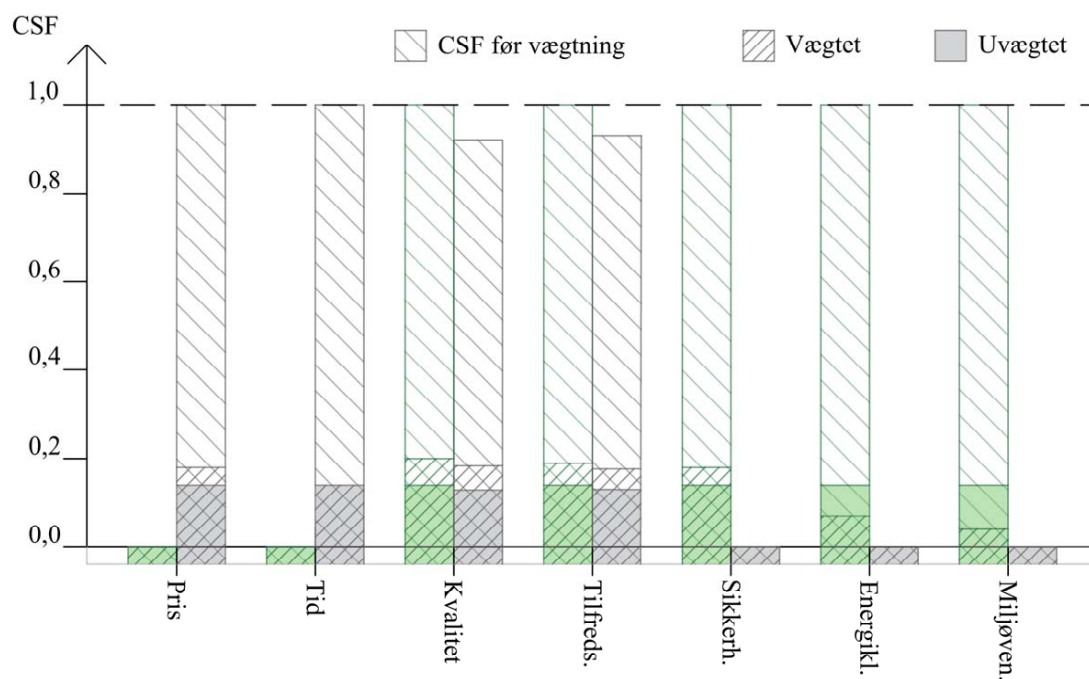
Sammenlignes resultaterne i figur 6.5 med resultaterne af sammenligning 4 i figur 6.1, kan den højere uvægtede end vægtede PSM for BC (blå) og betonprojekterne (grå), ud fra figur 6.5 forklares med at Kvalitet, Tilfredshed og Sikkerhed påvirker BC i en positiv retning ved den vægtede værdi, mens Pris, Kvalitet og Tilfredshed påvirker betonprojekternes vægtede PSM positivt. Den "negative" forskel i Energiklasse og Miljøvenlighed er ikke tilstrækkelig til at opveje dette, hvormed den vægtede PSM bliver højere end den uvægtede.



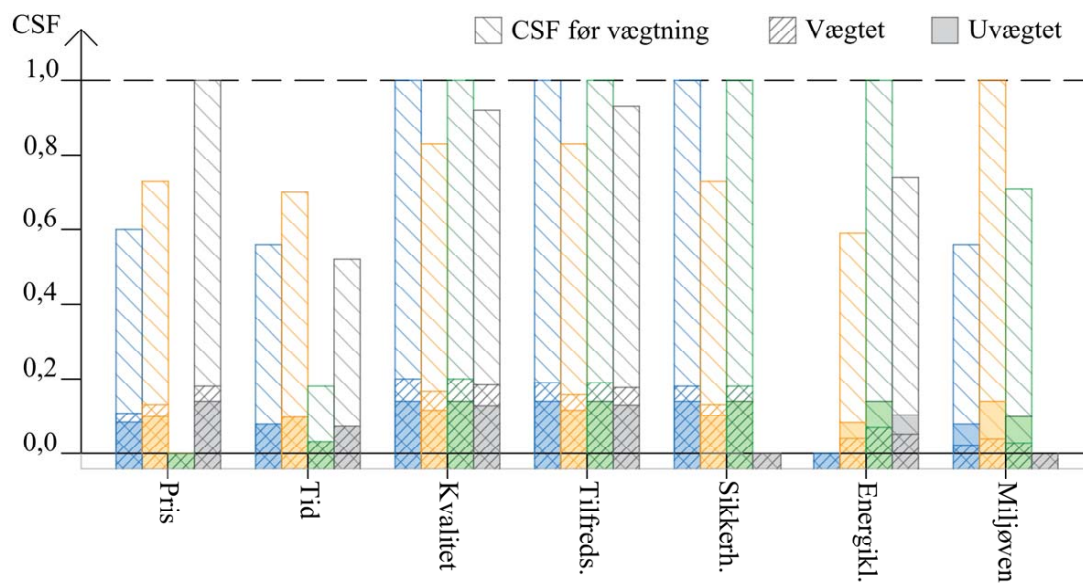
Figur 6.2: Beregnede CSF'er før og efter vægtning for sammenligning mellem Brock Commons (blå) og betonprojekterne (grå) (sammenligning 1).



Figur 6.3: Beregnede CSF'er før og efter vægtning for sammenligning mellem Moholt 50|50 (orange) og betonprojekterne (grå) (sammenligning 2).



Figur 6.4: Beregnede CSF'er før og efter vægtning for sammenligning mellem Treet (grøn) og betonprojekterne (grå) (sammenligning 3).



Figur 6.5: Beregnede CSF'er før og efter vægtning for sammenligning mellem alle træprojekter og betonprojekterne (grå) (sammenligning 4).

6.3.2 Nærmere analyse af KPIs

I dette afsnit præsenteres en grafisk sammenligning af alle projekterne inden for de enkelte KPIs.

Den grafiske sammenligning foregår i en slags "boksplots" (se figur 6.6 på modstående side til 6.20 på side 85). Den grønne boks markerer området mellem min. og maks. præstation af de fire betonprojekter, der er anvendt i sammenligningerne. Stregen igennem boksen indikerer gennemsnittet af de fire projekter (tabel 6.3). De "ydre" rammer af plottet er styret af, hvorledes træprojekterne præsterer ift. området, boksen og dermed de fire betonprojekter dækker over. "Boksplottet" er inspireret af analysemetoden omtalt i afsnit 4.2.2 på side 60, tilpasset denne undersøgelse grundet spørgeskemaundersøgelsens lave svarrate.

Præstationerne fra de fire betonprojekter (benævnt P₁, P₂, P₄ og P₅) vil alle fremgå med et kryds i figurerne og træprojekterne med en rød cirkel (benævnt BC, M og T). De to resterende betonprojekter (P₃ og P₆) er medtaget i figurerne, blot som en illustration af forskelligheden i præstation ved forskellig funktion af byggeriet. Disse vil fremgå med en hvid firkant.

I dette afsnit behandles KPI'erne (tabel 6.2 på side 72 og 6.3 på side 73) med henblik på at kommentere på forskellen i værdierne og forklare præstationerne af projekterne inden for de enkelte KPIs. Forskellene forsøges yderligere forklaret ved de modtaget besvarelser på de standardiserede interviews (kvalitative spørgeskemaer) fra de tre træprojekter, som er vedlagt i elektronisk bilag (se appendiks E). Disse indeholder supplerende beskrivelser omkring træprojekterne (omtalt i afsnit 4.1.1 på side 52), som kan hjælpe til at forklare nogle af præstationerne. Besvarelserne er modtaget på skrift fra de samme parter, som medvirkede i spørgeskemaundersøgelsen. Ved samme fremgangsmåde som omtalt i afsnit 6.1.1 på side 68, er der ikke identificeret fejl og/eller misforståelser i besvarelserne.

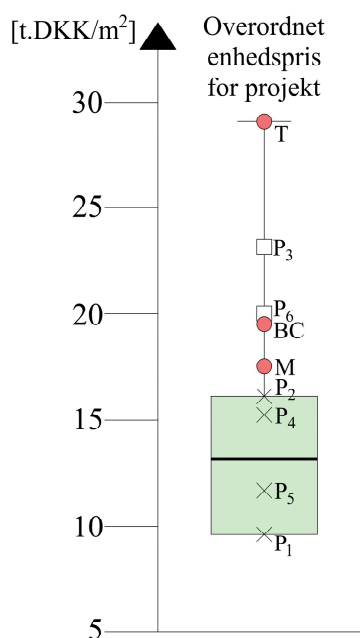
Pris

Som det fremgik i afsnit 6.2.1 på side 71, er den overordnede enhedspris for projektet den eneste KPI inden for Pris, hvor der findes resultater fra alle projekterne. Det er derfor mest korrekt at tage udgangspunkt i denne til sammenligning af alle projekternes præstationer inden for Pris.

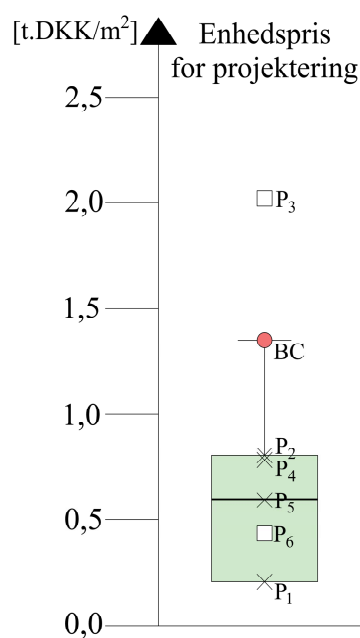
Det fremgår af figur 6.6, at alle tre træprojekter er dyrere end de fire betonprojekter medtaget i undersøgelsen. T ses at have været et særligt dyrt projekt sammenlignet med de andre, da det er hele 120% dyrere pr. m² end gennemsnittet for betonprojekterne. En forklaring på dette kan findes ved at inddrage nogle af de andre KPIs.

For det første er projektet vurderet at være hhv. komplekst og meget komplekst at projektere og udføre af arkitekten (respondenten for T, tabel 6.1), og det har sammenlignet med de andre projekter taget meget længere tid, både under projektering og opførelse (jf. spørgeskemabesvarelsen, appendiks E), hvilket kan tyde på, at de har haft nogle udfordringer med projektet. Dette medfører alt sammen til en højere pris. T består som det eneste af de tre træprojekter af almene boliger og ikke studieboliger, hvilket måske har medvirket til dyrere materialevalg eller andre, måske dyrere løsninger i projekteringen. Byggeriet er også opført i en meget lavere energiklasse (tabel 6.2 på side 72) end alle de resterende projekter, hvilket højst sandsynligt har påvirket til en noget højere pris.

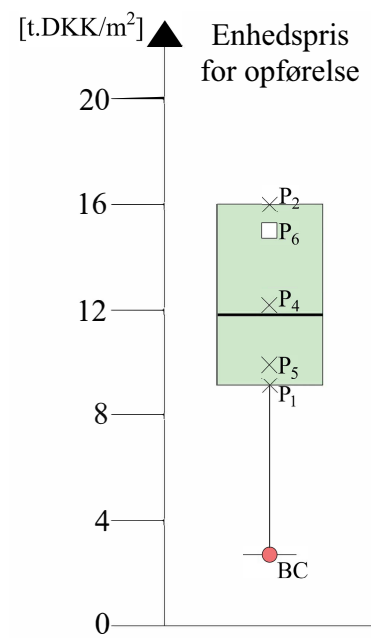
Jf. interviewbesvarelsen fra T (appendiks E på side 149), anså respondenterne mange af løsningerne i dette projekt som en investering i fremtiden. De begrundede det med, at T var et pilotprojekt, hvorfor varigheden af dimensioneringen af det bærende system var stort, hvilket har medført ekstra omkostninger end normalvis.



Figur 6.6: Overordnet enhedspris for projekt



Figur 6.7: Enhedspris for projektering



Figur 6.8: Enhedspris for opførelse

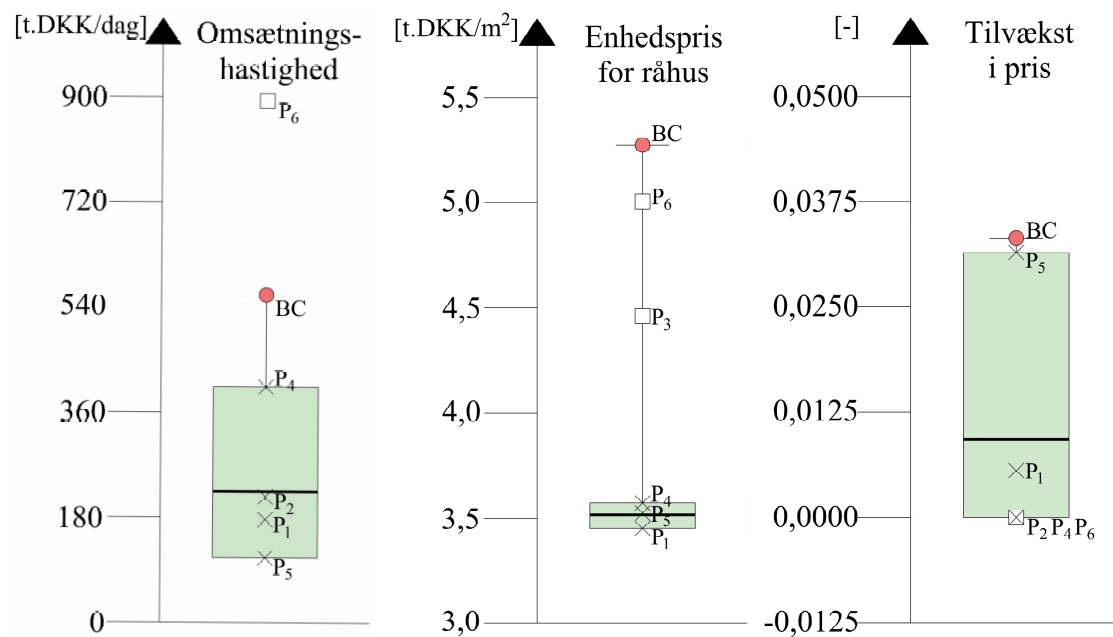
For at undersøge lidt nærmere, hvad der gør træprojekterne dyrere, eller inden for hvilke parametre de er/kan være dyrere, tages udgangspunkt i BC, da alle KPIs inden for Pris er givet for denne. Prisen for opførelsen ses at have været en klar fordel (figur 6.8), hvilket kan hænge sammen med det lavere antal arbejdere (tabel 6.1) og den højere byggeintensitet (figur 6.14). En bedre og mere nøjagtig planlægning af byggeriet kan også være en mulig forklaring herpå, hvilket bekræftes i interviewbesvarelsen fra BC. BC har jf. denne ikke krævet længere tid at projektere sammenlignet med normalt, men det har været et intenst projekteringsforløb, der har krævet flere aktører/ekspertiser og flere arbejdstimer. Dette resulterede i en dyrere pris for projektering (som det også kan ses på figur 6.7 på forrige side), dog anser de, at flere af de ekstra aktiviteter, dette projekt krævede (såsom retningslinjer og lovmæssige godkendelser, tests, evaluering og nye løsninger ifm. brandsikring) ikke alle vil kræves ved lign. projekter i fremtiden, men at de ekstra timer anvendt på projekteringen viste sig at være væsentlige ift. at minimere udfordringer under fremstilling og udførelse/byggeri. Dette, trods problemer/komplikationer undervejs, som beskrives nærmere senere. Sammenlignes den vurderede kompleksitet med betonprojekternes (tabel 6.1 på side 70), er BC vurderet at være dobbelt så kompleks at projektere.

Det samme kan begrundes med omsætningshastigheden (figur 6.9 på modstående side), hvor BC også præsterer bedre end betonprojekterne. Denne KPI afhænger selvfølgelig også af prisen på projektet - idet den er højere, vil omsætningshastigheden også stige.

Prisen for råhus har ligeledes været en parameter, hvori BC har været 50% dyrere end gennemsnittet for betonprojekterne (figur 6.10 på næste side). Prisen for råhuset inkluderer materialer, levering og montering (se spørgeskema, appendiks C på side 125). Prisen for opførelsen er allerede konkluderet at være lav (figur 6.8 på foregående side), og der er anvendt mindre træ pr. m² end beton, hvormed den høje pris for råhuset kun kan skyldes pris på materialer og/eller løsninger i konstruktionen, der kan have været dyrere end ved beton.

Årsagen til den højere tilvækst i pris for BC (figur 6.11 på modstående side) kan være mange, da rigtig mange ting kan have indflydelse på dette. Det kan muligvis forklares ved besvarelsen i interviewet (elektronisk bilag, se appendiks E), hvori der blev spurgt ind til, om der havde været nogle væsentlige udfordringer i forbindelse med udførelsen, relateret til anvendelsen af træ. Hertil fremgår det af besvarelsen, at der har været udfordringer, da bl.a. CLT-elementerne havde en større permabilitet end forventet, hvorved tørring af elementer tog længere tid, hvilket forsinkede den efterfølgende indvendige beklædning med gips. Ligeledes på grund af den større permabilitet, blev "water-management" planen revideret undervejs, da man ellers frygtede, at elementernes dimensioner og mekaniske egenskaber ville ændre sig. To øvrige forhold omhandlende fejlvurdering af materialeegenskaber, hvilket ligeledes krævede tilpasninger undervejs i udførelsen.

Ud fra de gennemgåede resultater, kan prisen altså siges at være dyrere ved anvendelsen af træ frem for beton, og det er ikke umiddelbart en fordel ved materialet. Pris kan dog ses at være noget, der kan blive billigere med tiden, når erfaringen med materialet øges, hvilket også pointeres af respondenterne i deres interviewbesvarelser. Endvidere ville en større efterspørgsel på materialet give anledning til større og mere effektiv produktion af massivtræelementer, hvilket ligeledes kan påvirke materialeprisen positivt. Dette kan medvirke til billigere projektering og måske lavere pris for råhus, hvis der med tiden findes billigere løsninger.



Figur 6.9: Omsætningshastighed

Figur 6.10: Enhedspris for råhus

Figur 6.11: Tilvækst i pris

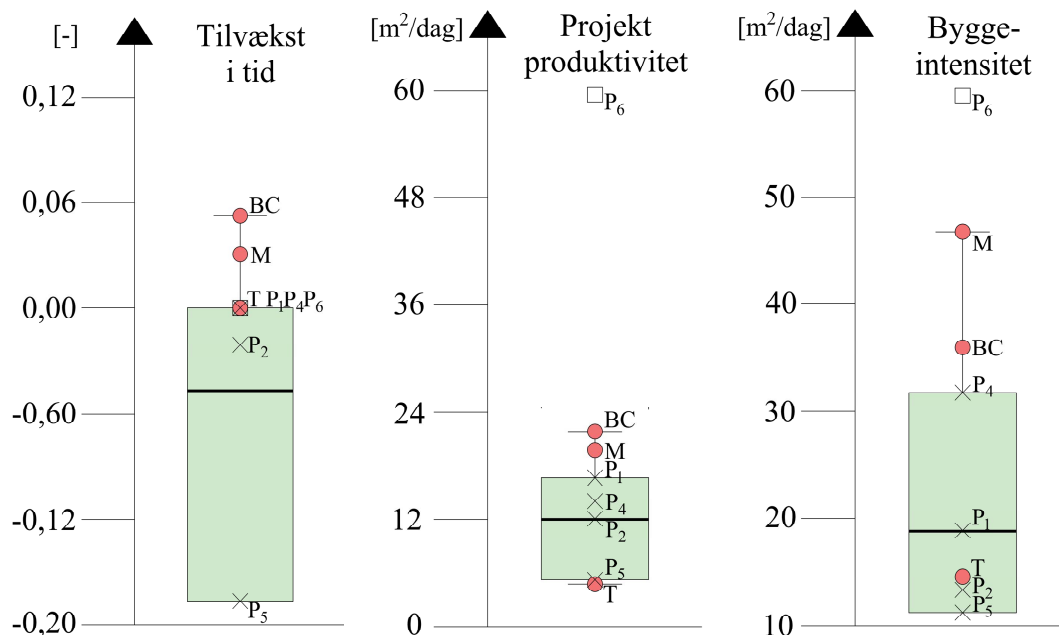
Tid

Det fremgår af figur 6.12, at to af de tre træprojekter gik over tid. Årsagen kan såvel som ved pris være svær at forklare, da dette kan være forårsaget af komplikationer undervejs i byggeriet, som tidligere beskrevet for BC (vejrligheder og fejlestimering af materialets permabilitet). Manglende erfaring kan også have medført, at der fra start blev estimeret for lidt tid til projektet. M angiver kort i deres interviewbesvarelse (appendiks E), at de havde komplikationer med brand- og lydkrav, hvilket måske også kan have haft indflydelse på en forsinkelse.

Hvad angår produktivitet igennem hele projektperioden og byggeintensitet (figur 6.13 og 6.14), præsterer BC og M igen bedre end betonprojekterne (højere værdi er bedre), hvilket kan indikere, det kræves kortere byggetid, når der bygges i træ. Begge projekter nævner i deres interviewbesvarelse, at byggetiden har været kortere, hvilket bl.a. er forårsaget af øget mulighed for præfabrikering og større industrialisering. BC angiver, at de erfarede, det øgede niveau af præcision var et resultat af en dybegående 3D-modellering og præfabrikering under kontrolleret miljø (fabrik) var med til at reducere komplikationer under udførelser og ændringer i projektet.

T har som det eneste træprojekt overholdt den planlagte deadline (figur 6.12), men generelt præsterer projektet dårligere end betonprojekterne ift. Tid. Ud fra en timelapse over byggeriet (BOB BBL [2018]) fås indtrykket, at selve trædelen af byggeriet er foregået over kort tid, hvormed fundering og studeetagen måske kan være det, der har taget længere tid. De beskriver selv, at byggeriet gik "very smooth". Dette hænger formodentlig sammen med den høje grad af præfabrikering samt nøje planlægning af montering for at hindre vejrligheder i at forsinke/beskadige byggeriet.

T nævner i interviewbesvarelsen, at de skulle være særligt forsigtige under byggeriet i forbindelse med at brandsikre modulerne og sikre, at alle lufthulder mellem modulerne var fyldt med isolering. Måske dette kan have bidraget til en lavere byggeintensitet/produktivitet.



Figur 6.12: Tilvækst i tid

Figur 6.13: Projektprodukt.

Figur 6.14: Byggeintensitet

BC og M kan altså indikere, at Tid er en fordel ved materialet. Kortere byggetider kan betyde, at der kan bygges mere på kortere tid, hvilket kan øge indtægten hos f.eks. entreprenøren, der kan komme hurtigere videre til andre projekter. Dermed kan efterspørgslen inden for byggeri i højere grad imødekommes. Bygherres indtægter for udlejning eller ved salg af byggeriet modtages tidligere, hvormed han/hun vil modtage flere indtægter fra byggeriet.

Kortere byggetid vil også medføre lavere udgifter til leje af kran, udstyr osv. (figur 6.8). I byer vil byggeriet være til gene i kortere perioder, hvilket kan medvirke til færre kødannelser forårsaget af byggeriet og omdirigering af veje osv.

Leveringstider på betonelementer er som omtalt i afsnit 1.1 på side 1 stigende, hvormed anvendelsen af træ i stedet for beton måske kan fremskynde byggeprocessen, hvormed der også kan spares penge på flere parametre (inkl. flere af ovennævnte).

Kvalitet og Tilfredshed

Disse er vanskelige at uddrage indikatorer på konkurrencemæssige fordele ved træ på baggrund af, da KPI'erne er vurderet ud fra subjektive holdninger og erfaring fra respondenterne. Der er dermed flere ting, der kan spille ind i deres oplevelse og dermed resultatet. For det første kan det forventes, at træprojekterne vil ligge i den høje ende af skalaen, da disse er projekter, der har været med til at betyde noget for deltagende parter - de har alle været "størst" i noget, da de stod færdige. Projekterne har da resulteret i noget, ingen andre har gjort før, hvilket kan forestilles at påvirke oplevelsen og gejsten omkring projektet positivt.

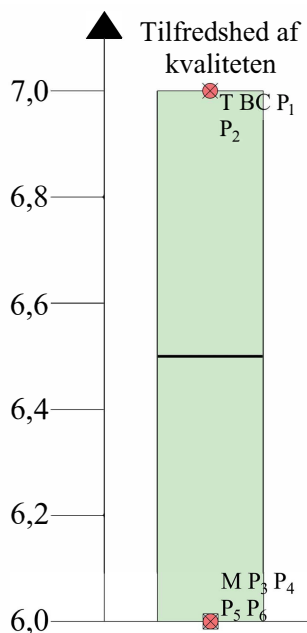
Som tidligere nævnt, er der også forskel på, hvor beskedne folk er, eller hvor nemt de bliver imponerede over et stykke arbejde. Resultatet afviger da ikke fra forventet (figur 6.16 og 6.17). Af interviewbesvarelsen fra T fremgår det, at der ikke har været flere fejl og

mangler end "normalt" , hvilket kan have bidraget til den høje tilfredshed med kvaliteten. BC angiver, at de oplevede stor tilfredshed omkring kvaliteten af byggeriet - de har endda oplevet færre fejl og mangler end ved typiske tidligere betonprojekter.

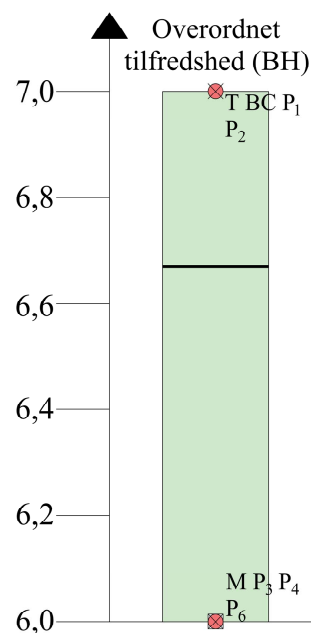
En årsag til at M "kun" har fået 6 i alle tre KPIs (figur 6.15 til 6.17) kan måske skyldes, at der ikke har været tilfredshed omkring kvaliteten, som måske har forårsaget tilvækst i tid (figur 6.12). En mulig (ukendt) tilvækst i pris kan også påvirke oplevelsen. De begrundes ikke yderligere dette i interviewbesvarelsen, men angiver i stedet at kvaliteten (antallet af fejl og mangler) har været fin (som normalt).

Ingen af besvarelsene fra interviews angiver altså, at der i træprojekterne har været flere fejl og mangler end "normalt" op til aflevering, men adskillige gange i alle interviews belyses mængden af præfabrikering i projekterne, hvilket vurderes som kan have højnet kvaliteten, da en stor del af produktionen er foregået under kontrollerede forhold. Ligeledes indikerer besvarelsene en stor detaljeringsgrad for træprojekterne mht. planlægning af det udførte arbejde, hvor f.eks. T var planlagt næsten time-for-time for at være proaktiv over for det meget regnfulde vejr i Bergen.

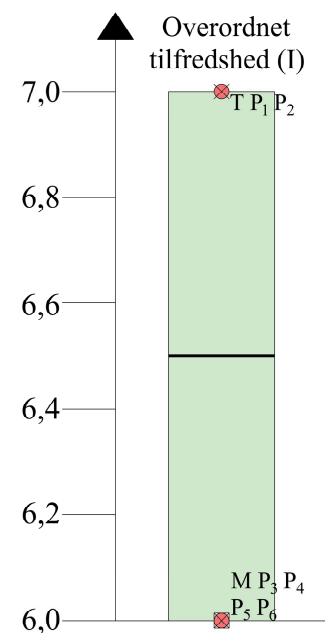
Præstationen af betonprojekterne i disse kategorier kunne også forventes at score højest i kvalitet, da erfaringen med beton er større, og det dermed burde medvirke til flere løsninger, der er gode erfaringer med fra tidligere. Det kan også medvirke til, at der bliver gået hurtigere hen over nogle ting, hvilket måske kunne være en forklaring på, at de fire betonprojekter er placeret halv/halv.



Figur 6.15: Tilfredshed af kvaliteten



Figur 6.16: Overordnet tilfredshed (Bygherre)



Figur 6.17: Overordnet tilfredshed (Interessent)

Overordnet set er det ikke umiddelbart muligt at konkludere, hvorvidt Kvalitet og Tilfredshed er fordele ved at bygge i træ - dog kunne kommentarer om færre fejl og mangler i BC op til aflevering betyde, at der kan opnås højere kvalitet ved præfabrikering. Tilfredsheden ved at vide, der bygges mere miljøvenligt ved at anvende træ, kan dog tænkes at være med til at øge den overordnede tilfredshed af byggeriet. I interviewbesvarelsesne opleves generelt stor tilfredshed blandt respondenterne.

Sikkerhed, Miljøvenlighed og Energiklasse

Ulykkesraten er generelt mindre for træprojekterne (figur 6.18), hvilket kan være en tilfældighed, men det kan også have at gøre med den kortere byggetid, de færre folk på byggepladsen (dermed færre ting i gang på én gang) og mængden af præfabrikation. T består af moduler, hvormed det meste arbejde er foretaget uden for byggepladsen, hvilket bidrager til, at færre ting kan gå galt på selve pladsen. Både T og BC har besvaret i interviewet (elektronisk bilag, appendiks E), at den store mængde af præfabrikering og øget planlægning af det udførende arbejde formodentlig har nedbragt mængden af ulykker, og at de vurderer øget sikkerhed som en af fordelene ved at bygge i træ. Jf. Arbejdstilsynet [2018] forekommer der hvert år i Danmark 1.100 alvorlige ulykker på byggepladser (hvoraf 10 er dødsulykker), hvilket gør øget fokus på sikkerhed og sundhed på byggepladser aktuelt. M har angivet i deres besvarelse, at håndværkerne har udtrykt, de har oplevet signifikant bedre forhold at arbejde i - hovedsageligt grundet mindre støv, mindre støj og bedre lysforhold.

CO₂-forurening er en klar vinder i træprojekterne. Idet der ved behandling af træ forurenes mindre end ved produktionen af beton, reduceres mængden for hver m³ beton, der erstattes med træ. Ud over dette, lagrer træ CO₂ i sig, hvilket medvirker til den negative forurening. M's høje negative værdi (figur 6.19) skyldes dermed den større mængde træ, der er anvendt i dette byggeri pr. m². Det er selvfølgelig ikke ensbetydende med, at dets mere træ, der anvendes i et byggeri, dets mere miljøvenligt er det. Men for hver m² af betonen, der erstattes, er det kun til den positive side, så længe træet er bæredygtigt (forklaret i afsnit 2.2.6 på side 28).

Interviewbesvarelser omhandlende hele aspektet omkring affaldsgenerering og genbrug/-anvendelse (cirkulær økonomi) kunne indikere, at den større præfabrikering giver anledning til mindre affaldsgenerering på byggepladsen. T oplevede mindre affald på byggepladsen end "normalvis", hvilket også gør sig gældende for M, der tilføjer, at der også var højere grad af affaldssortering på byggepladsen. BC opnåede højt niveau af affaldssortering mhp. genbrug/-anvendelse (85%), men kommenterer yderligere, at betonbyggeri har opnået lignende rater, hvorved der ikke kan uddrages en egentlig fordel for træ.

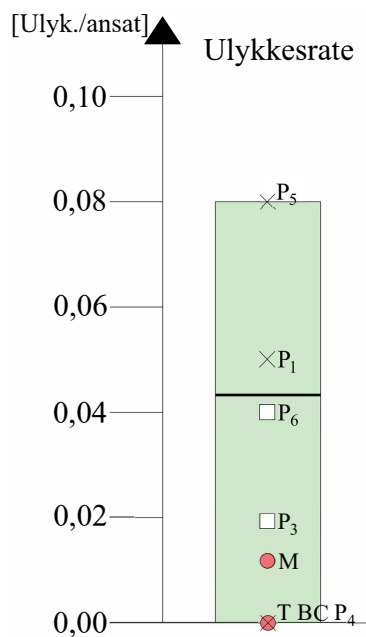
I besvarelsen fra T angiver de yderligere, at de fleste elementer i T er "ét-materiale"elementer, hvormed f.eks. metalbeklædningen nemt kan flyttes til andre projekter. Det samme er gældende for selve boligmodulerne, der nemt kan flyttes til andre projekter/byggerier i fremtiden eller udskiftes inden for den bærende ramme. Her findes altså potentielle cirkulære fordele ved modulbyggeri, som muliggøres ved byggeri i træ, grundet dets lave masse.

Slutteligt pointerer alle, at miljøvenlighed er en af de helt store fordele ved dette materiale, og flere af dem vil bl.a. af denne grund anbefale andre i fremtiden at bygge i træ.

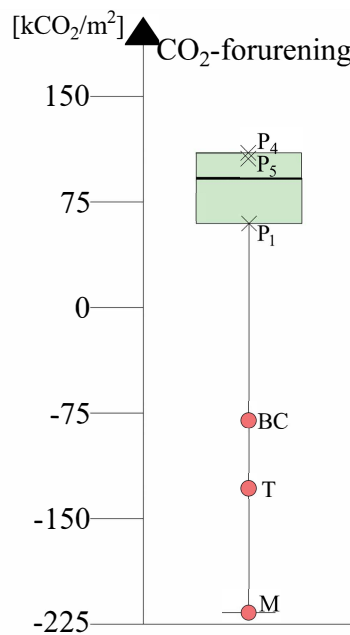
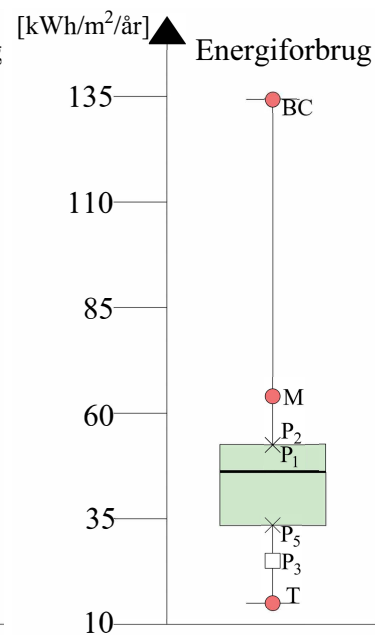
Hvad angår energiforbrug (figur 6.20), præsterer både BC og M dårligere end betonprojekterne, hvilket kan skyldes anderledes krav til energiforbruget i disse lande. Danmark har

nogle stramme energikrav, og da der i nogle andre lande ikke stilles lige så høje krav til dette, er det ikke en nødvendighed for dem at præstere bedre, end de gør.

Som beskrevet i afsnit 2.2.2, afhænger indeklima og energiforbrug af forhold som den mængde isolering, der anvendes i klimaskærmen, hvormed dette ikke har at gøre med materialet. Det ville derfor sagtens være muligt at få træbyggeri til også at opfylde kravene stillet i Danmark. Dette ville dog muligvis medvirke til at øge prisen.



Figur 6.18: Ulykkesrate

Figur 6.19: CO₂-forurening

Figur 6.20: Energiforbrug

Da træ umiddelbart er et nemmere materiale at arbejde med end beton, samt respondenterne har angivet så positive besvarelser i interviewet angående sikkerhed og sundhed, tør det godt antydes, at sikkerhed og sundhed kan være en fordel ved anvendelsen af materialet. Dette er dog ikke en konklusion, der kan drages på baggrund af denne undersøgelse alene, men ud fra øvrig kendskab til materialet. Miljøvenlighed er en klar fordel ved træ, og Energiklasse kan siges at være hverken eller, da denne ikke afhænger af træet alene.

6.4 Parameterundersøgelse

Forinden der uddrages konklusioner på baggrund af resultaterne præsenteret igennem dette kapitel, ønskes det at undersøge, hvor "robuste" (vedholdende) resultaterne af undersøgelsen er bl.a. med henblik på at teste pålideligheden af resultatet. Dette undersøges i forskellige tilfælde for at tage højde for, hvilken betydning en anderledes fremgangsmåde til bedømmelse af projektprestationer vil have på resultaterne ift. den anvendte fremgangsmåde i denne undersøgelse.

Der er foretaget tre følgende parameterundersøgelser:

1. Hvorledes vil de overordnede projektprestationer se ud, såfremt kun de traditionelle CSF'er fra jerntrekanten (tid-pris-kvalitet) indgår i undersøgelsen?
Jerntrekanten har længe været styrende i byggeprojekter ift. at stille krav og efterfølgende bedømme, hvorledes disse krav er efterlevet i projektet, hvorfor dette er fundet interessant at undersøge.
2. Hvorledes vil resultatet se ud/ændre sig ved én efter én at udelade CSF'erne fra undersøgelsen, startende med den mindst prioriterede CSF'er (ud fra de danske entreprenørers prioritering)? Dette giver et indblik i, hvordan resultatet ville se ud, hvis nogen mener, kun de højest prioriterede CSF'er var væsentlige, og at de mindst-prioriterede CSF'er slet ikke var relevante at inddrage i en bedømmelse af præstationen af et byggeprojekt.
3. Hvor stor en indflydelse har den enkelte CSF'er på resultatet af den kvantitative analyse? Dette undersøges ved skiftevis at fjerne den enkelte CSF'er fra undersøgelsen.

Alle tre parameterundersøgelser og resultaterne af disse fremgår af appendiks D, hvoraf den samlede konklusion af undersøgelserne vil fremgå af nedenstående afsnit.

6.4.1 Pålidelighed af undersøgelse

Den første parameterundersøgelse viste, at betonprojekterne ved bedømmelse ud fra jerntrekanten (tid-pris-kvalitet) generelt præsterer bedre end træprojekterne i de fire sammenligninger - den vægtede sammenligning mellem BC og betonprojekterne værende den eneste undtagelse med en forkel på 0,01 imellem præstationerne. Var disse tre parametre udelukkende valgt som bedømmelseskriterier til evaluering af byggeprojekterne, ville træ fremstå som værende mindre konkurrencedygtig, ift. denne rapports oprindelige resultat.

Anden parameterundersøgelse viste efter gradvis fjernelse af de mindst vigtige CSF'er, at træprojekternes oprindelige resultat afhænger mere af de mindst vigtige CSF'er set ud fra de danske entreprenørers synspunkt. Dette stemmer overens med, at betonprojekterne præsterer bedre end træprojekterne i de fleste sammenligninger i den første parameterundersøgelse, da CSF'erne Pris, Tid og Kvalitet er prioriteret højt.

Den tredje parameterundersøgelse viste bl.a., at det oprindelige resultat for den vægtede PSM er mere afhængigt af, at alle CSF'erne er medtaget end den uvægtede PSM. Pris viste sig i dette tilfælde at være den mest ugunstige for træprojekternes præstation, da en udeladelse af denne resulterede i det mest positive resultat for træprojekterne.

CSF'en Sikkerhed er den mest ugunstige for betonprojekterne. Som beskrevet i afsnit 6.1.1 på side 68 har der været flere misforståelser omkring angivelse af antal ansatte, hvor det har været ønsket at kende det totale antal. Dette vil resultere i, når ulykkesraten beregnes, at der er betydelig forskel i præstationen af de forskellige projekter, da én ulykke ud af 10 ansatte har betydeligt større (negativ) betydning for præstationen sammenlignet med to ulykker ud af 70 ansatte. I de beregnede ulykkesrater i hhv. tabel 6.2 på side 72 og 6.3 på side 73 fremgår det dog, at dette ikke har haft betydning for resultatet, da alle beregnede ulykkesrater højere end 0 er beregnet ud fra et totalt antal ansatte i byggeperioden. Den tredje parameterundersøgelse viser, hvorledes det er forskellige CSF'er, der medvirker til en bedre præstation af hhv. træ- og betonprojekterne, hvorfor det konkluderes, at eksklusion af

bestemte CSF'er kan påvirke resultatet væsentligt. Der kan da opnås forskellige resultater af undersøgelsen afhængigt af, hvilke parametre aktuelle parter foretrækker over andre. Det samme er gældende for, hvorledes der er vægtet mellem CSF'erne eller ej, da de oprindelige resultater for hhv. vægtet- og uvægtet PSM (tabel 6.4 på side 74) ikke er lige afhængige af de enkelte CSF'ers medtagelse i undersøgelsen, da de ikke påvirkes i samme grad ved at fjerne den enkelte CSF'er.

Overordnet set kan disse parameterundersøgelser medhjælpe til at danne indtrykket af undersøgelsens følsomhed overfor valg af fremgangsmåde, betydende parametre osv. I tilfælde af en gentagelse af undersøgelsen, ville det da overordnet set være relativt få ting i undersøgelsen, der skulle afvige for at opnå et anderledes resultat (ved ændring af de "betydningsfulde" parametre).

De tre parameterundersøgelser viste desuden, at sammenligning 1 mellem BC og betonprojekterne samt sammenligning 4 mellem træprojekterne og betonprojekterne er de mest "robuste" resultater, da disse resultater var meget vedholdende ift. deres oprindelige resultat (tabel 6.4 på side 74). Resultatet af disse sammenligninger er altså mere pålidelige end de resterende to.

Yderligere forklaringer på de dragede konklusioner kan som sagt findes i appendiks D på side 133.

6.5 Indikatorer på konkurrencemæssige fordele ved træ

I tabel 6.5 på næste side opsummeres kort de identificerede resultater af materialernes præstation inden for de enkelte CSF'er. Parameterundersøgelsen (afsnit 6.4 på side 85) anses ikke at have indflydelse på projekternes præstation inden for den enkelte CSF, men derimod er denne undersøgelse udført med henblik på at illustrere pålideligheden af det overordnede resultat, *at træprojekterne overordnet set præsterer bedre end betonprojekterne*, hvilket er styret af anvendt beregningsmetode til bedømmelsen.

Tabel 6.5: Indikatorer på konkurrencemæssige fordele ved træ.

Pris
Pris kan ud fra undersøgelsen ses at være højere ved anvendelsen af træ frem for beton, og det indikerer derfor ikke en konkurrencemæssig fordel ved træ. I interviewbesvarelsene antydes, at prisen ville blive mindre ved gentagelse af projekterne, men hvorledes det kunne udvikle sig til en fordel ved materialet i fremtiden er ukendt.
Tid
To af de tre træprojekter viser kortere byggetider end betonprojekterne, og jf. interviewbesvarelsene kan det tyde på, at dette kan være en generel fordel forbundet med materialet. Kortere byggetider kan indikere, at tid er en konkurrencemæssig fordel ved træ.
Kvalitet og Tilfredshed
Det er ud fra denne undersøgelse ikke vurderet muligt at finde frem til, hvorvidt Kvalitet og Tilfredshed er fordele ved at bygge i træ, da denne præstationsmåling er vurderet subjektivt. Interviewbesvarelsene antyder, at øget industrialisering af byggeindustrien (forårsaget af øget træbyggeri) kan skabe bedre rammer for at bygge i god kvalitet, hvor mulighederne herfor, kan være en fordel ved træ.
Sikkerhed
Undersøgelsen viser færre arbejdsulykker på byggepladsen i træprojekterne end betonprojekterne, hvilket kan være en tilfældighed, men det kan også skyldes den store grad af præfabrikering, kortere byggetid og færre folk på byggepladsen i træprojekterne. Træprojekternes lave ulykkesrate (suppleret med besvarelser i interviews) kan altså indikere, at der kan opnås større sikkerhed ved at anvende træ.
Miljøvenlighed
Miljøvenlighed var før denne undersøgelse en åbenlys konkurrencemæssig fordel ved træ sammenlignet med beton. Resultaterne i undersøgelsen støtter blot op omkring dette.
Energiklasse
Energiforbrug er ikke identificeret at være en konkurrencemæssig fordel ved hverken træ eller beton, da dette ikke anses at være materialeafhængigt.

Dette speciale startede med en initierende problemstilling, baseret på en undren blandt forfatterne - *hvorfor bygges der ikke mere i træ i Danmark?* Denne undren opstod bl.a. på baggrund af den potentielle store CO₂-besparelse, der er ved at anvende træ fremfor traditionelle danske byggematerialer som beton og stål. Ved at anvende træ frem for beton og stål i byggeriet, vil byggeindustriens bidrag til den globale opvarmning minimeres markant, samtidig med at anvendelsen af træ ikke medvirker til ressourceudtømmning. I Danmark er vi nået til et punkt, hvor der bruges mere energi til fremstilling af bygninger end på driften af dem i hele deres levetid, hvorfor der er større energibesparelses-potentiale i at minimere energiforbruget af fremstillingen af anvendte byggematerialer.

Til besvarelse af den initierende problemstilling blev det gennem teori og eksisterende viden undersøgt, om der med udgangspunkt i krav i Bygningsreglementet 2018 er nogle begrænsninger ved at anvende træ i etagebyggeri i Danmark. Igennem hele den indledende analyse blev det ikke identificeret, nøjagtigt *hvorfor der ikke bygges mere i træ i Danmark*. Der blev hovedsageligt fokuseret på at identificere eventuelle begrænsninger for at anvende materialet i etagebyggeri, og da ingen begrænsninger blev identificeret, førte det til en anden vinkel af den initierende problemstilling, undersøgt ved specialets forskningsspørgsmål: *Hvilke konkurrencemæssige fordele er der ved at opføre etagebyggeri i træ frem for beton i Danmark?*

Til undersøgelse af dette, blev der taget udgangspunkt i tre udenlandske fleretagers træprojekter for at sammenligne, hvorledes disse præsterede ift. lignende traditionelt dansk fleretagers betonbyggeri. Sammenligningen tog udgangspunkt i en kvantitativ analyse udformet på baggrund af et omfattende litteraturstudie, hvor flere Key Performance Indicators (KPIs) og Critical Success Factors (CSF'er) blev identificeret. Hertil blev et spørgeskema udarbejdet, der skulle indsamle information til analysen. Den kvantitative analyse gjorde det muligt at vurdere projekternes præstationer på flere niveauer, hhv. en overordnet præstation af alle projekterne og inden for de forskellige CSF'er og KPIs. De udenlandske træprojekter blev yderligere analyseret kvalitativt, mhp. at supplere den kvantitative analyse for at skabe en dybere og mere detaljeret forståelse for træprojekternes præstation.

Det fremgår af resultaterne af undersøgelsen (kapitel 6 på side 67), at træprojekterne overordnet set præsterer bedre end de betonprojekter, der sammenlignes med, målt ud fra syv udvalgte parametre (CSF'er). De syv CSF'er værende Pris, Tid, Kvalitet, Tilfredshed, Sikkerhed, Miljøvenlighed og Energiklasse. At træprojekterne overordnet set præsterer bedre end betonprojekterne kan indikere, at træ er et konkurrencedygtigt alternativ til beton i fleretagers byggeri i Danmark. Da denne konklusion kommer på baggrund af en vægtning mellem de syv CSF'er, baseret på danske entreprenørers prioritering af de syv områder, blev det nærmere undersøgt, hvilke specifikke områder træ kan indikere at være konkurrencedygtigt indenfor. De tre træprojekter præsterer generelt set bedst inden

for CSF'erne Tid, Kvalitet, Tilfredshed, Sikkerhed og Miljøvenlighed. Betonprojekterne præsterer generelt bedre inden for Pris og Energiklasse. Både Kvalitet, Tilfredshed og Energiklasse blev ikke vurderet at kunne indikere, hvorvidt disse områder er fordele ved det ene eller det andet byggemateriale, så hovedsageligt Tid, Sikkerhed og Miljøvenlighed anses igennem denne undersøgelse at være konkurrencemæssige fordele ved at anvende træ i etagebyggeri frem for beton.

Indenfor Pris er betonprojekterne dominerende mht. at præstere bedst, hvor træprojekterne kun viser økonomiske fordele ved opførelse/byggeri, hvilket formodes at skyldes, at træprojekterne generelt viser sig at præstere bedre indenfor Tid. Under CSF'en Tid viser to ud af tre træprojekter bedre projektproduktivitet og byggeintensitet end betonprojekterne, hvilket vurderes som værende en stor fordel, da der er stor efterspørgsel på byggeri i dag. Træprojekterne har en lavere ulykkesrate end betonprojekterne, hvilket begrundes med stor grad af præfabrikering og dermed kortere byggetid og færre folk på byggepladserne, hvorved sandsynligheden for ulykker er vurderet at være mindre. To ud af tre træprojekter har et større energiforbrug end betonprojekterne, hvilket formodes at skyldes forskellige krav hertil i de forskellige lande. I den indledende analyse er der ikke identificeret nogle ekstra omkostninger eller besvær forbundet med at opnå samme energiforbrug ved at anvende træ frem for beton. I den sidste CSF, Miljøvenlighed, præsterer træprojekterne, som forventet langt bedre end betonprojekterne, bl.a. på grund af den store CO₂-mængde træ akkumulerer.

Hvorledes den anvendte beregningsmetode til bedømmelse af de overordnede projektprestationer og de enkelte CSF'er har påvirket resultatet af undersøgelsen, blev undersøgt ved tre parameterundersøgelser (appendiks D). De tre undersøgelser viste, at dets flere CSF'er, der blev fjernet fra undersøgelsen, dets mere vil resultatet afvige fra det oprindelige. Ved at fjerne CSF'erne gradvist efter laveste prioritering, viste det sig, at træprojekternes oprindelige resultat er mere afhængigt af de lavest prioriterede CSF'er. Betonprojekterne opnåede dermed bedre PSM end træprojekterne ved kun at medtage de traditionelle CSF'er fra jerntrekanten (Pris, Tid og Kvalitet) i undersøgelsen, da disse var prioriteret relativt højt i undersøgelsen. Resultaterne af sammenligningen mellem Brock Commons og betonprojekterne samt sammenligningen mellem alle tre træprojekter og betonprojekterne viste sig at være de mest "robuste/pålidelige, da disse ændrede sig mindst i parameterundersøgelserne.

Den initierende problemstilling, *Hvorfor bygges der ikke mere i træ i Danmark?*, er gennem specialet behandlet over to omgange. Først ved undersøgelse af begrænsninger for at anvende materialet i etagebyggeri, dernæst en undersøgelse af, hvilke fordele der kan opnås ved at anvende materialet fremfor beton. Der er ud fra ovennævnte konklusion ikke fundet en fuldstændig forklaring/begrundelse for den initierende problemstilling, da der i hovedundersøgelsen blev identificeret flere mulige fordele ved materialet til at opveje for de dårligere forudsætninger for anvendelsen af materialet identificeret gennem den indledende analyse. Hvorledes disse fordele vurderes at kunne opveje for dette (at årsagen måske ligger i, at der ikke er nok fordele, eller det ikke er de *rigtige* fordele) er ikke kendt, men kunne formuleres i en ny hypotese til videre undersøgelse. Årsagen kunne måske også findes i den fordomsbetonede samfundsholdning, der virker til at være til træ som byggemateriale i Danmark (afsnit 2.1.3 på side 9).

Specialet har gennem udelukkelse af mulige årsager til at træ ikke anvendes mere i Danmark, bidraget til vidensfeltet herom, men ikke besvaret den initierende problemstilling

fuldstændigt. Forfatterne har derfor valgt at foreslå videre arbejde inden for vidensfeltet (afsnit 7.2) mhp. at bringe yderligere belæg eller skabe bedre forudsætninger for, at træ med fordel kan indgå i dansk byggesammenhæng. Videre arbejde er foreslået med afsæt i en kritisk vurdering af de valgte fremgangsmåder og resultater gennem dette speciale (afsnit 7.1).

7.1 Kritisk vurdering

Med udgangspunkt i det valgte videnskabsteoretiske ståsted i specialet (kritisk rationalisme), forsøges det her, at forholde sig kritisk til, om træ er et konkurrencedygtigt alternativ til beton. Det forsøges ligeledes at vurdere kritisk, om den nye viden, der fremkommer gennem denne rapport, udvider vidensfeltet tilstrækkeligt til at ændre samfundsholdningen til materialet i byggesammenhænge, med henblik på at foreslå videre arbejde/forskning indenfor emnet.

Resultaterne af den indledende analyse (kapitel 2) viste, at der ikke var nogle begrænsninger mht. at anvende træ i fleretagersbyggeri, men derved ikke sagt, at materialet ikke er mere udfordrende at anvende end beton. Her er specielt brand- og lydkrav vurderet at skabe dårligere forudsætninger ved at anvende træ frem for beton i etagebyggeri. Brandkrav er vurderet at skabe dårligere forudsætninger for anvendelsen af træ, da materialet er brandbart, og dermed medvirker til en større røgudvikling. Endvidere indeholder den nuværende Eksempelsamling, som mange anvender ved branddimensionering, ikke eksempler på anvendelse af træ i mere end fire etager. Lydkrav skaber dårligere forudsætninger for anvendelsen af træ grundet træns lave masse, der skaber en større udfordring for at opnå tilfredsstillende lydforhold.

Nok er brand- og lydkrav ikke egentlige begrænsninger for at anvende træ i etagebyggeri, men de dårligere forudsætninger kan være en forklaring på, hvorfor træ ikke anvendes mere i Danmark. Dette er dog uvist, da betydningen ikke er undersøgt nærmere.

Det overordnede resultat i hovedundersøgelsen (kapitel 6) viste, at træ præsterer bedre end beton i en overordnet evaluering af forskellige præstationsområder i et byggeprojekt. I sammenligningerne, som ligger til grund for resultaterne, er betonprojekterne udtrykt som en gennemsnitsværdi, baseret på en lille stikprøve af en stor totalpopulation (al dansk etage-boligbyggeri i beton). Herved kan der opstå tvivl om, hvorvidt disse gennemsnitsværdier er repræsentative ift. totalpopulationen. Endvidere er gennemsnitsværdierne, grundet den lille stikprøve, meget følsomme overfor inkludering af meget vel- og ringe præsterende betonprojekter (ekstremer), hvorved inkludering af sådanne ekstremer ville have stor indflydelse på det overordnede resultat - at træ er et konkurrencedygtigt alternativ til beton. Den overordnede konklusionen er herved den samme som tidligere, at undersøgelsen kun kan **indikere** at træ er et konkurrencedygtigt materiale ift. beton, da præstationen af betonprojekterne kan påvirkes både positivt og negativt ved inddragelse af flere betonprojekter.

Kigges der på de enkelte KPIs i undersøgelsen, som ligger til grund for projekternes evalueringer indenfor udvalgte præstationsområder, såsom Tid, Pris etc., så har betonprojekterne generelt præsteret bedst inden for Pris. Dette giver iht. den valgte beregningsmetode i undersøgelsen, betonprojekterne råderum til at kunne have valgt dyrere/bedre løsninger,

der ville have højnet præstationen af projekterne inden for de øvrige prisafhængige CSF'er såsom Kvalitet og Energiforbrug, for derved at kunne opnå en evt. højere PSM. Dette vil ikke gøre sig gældende i alle fire sammenligninger i undersøgelsen, da f.eks. en lavere præstation af betonprojekterne inden for Pris vil være til gunst for træprojekterne, idet intervallet, KPI'erne vil blive normaliseret i forhold til, vil være mindre. Herved vil træprojekterne få en højere PSM. Ydermere er CSF'en Pris, sammen med Sikkerhed, vægtet tredje højest ud af de syv CSF'er, hvorved f.eks. den bedste præstation indenfor både Energiforbrug og Miljøvenlighed giver et lavere bidrag til den vægtede PSM, end en bedst præstation indenfor Pris ville. Det kan herved kun konkluderes, at det overordnede vægtede resultat er et resultat af de enkelte CSF'ers vægtning/tillagte signifikans. Det er derfor væsentligt for denne undersøgelses validitet, at CSF'ernes tillagte signifikans afspejler virkeligheden. Vægtningen er en anerkendelse af de deltagende danske entreprenørs tilkendegivelser i resultatet af denne undersøgelse, hvorved de relativt få deltagere har stor indflydelse på det overordnede resultat, da halvdelen af de overordnede projektpræstationer, der sammenlignes, er baseret på denne vægtning. Derfor kan det være mindre pålideligt for resultaterne, at ukendte respondenter bevilliges så stor en indflydelsesmulighed på resultaterne af denne undersøgelse, bl.a. da respondenternes erfaring indenfor entreprenørbranchen er ukendt. Der tages dog hensyn til dette i undersøgelsen, hvor projektpræstationer også er beregnet ud fra en ligelig vægtning. Ydermere er der taget hensyn til vægtningernes indflydelse på resultaterne ved inddragelse af tre parameterundersøgelser, hvis resultater er diskuteret tidligere i dette kapitel.

Rapporten beskæftiger sig med en fordomsbetonet samfundsholdning til træ som byggemateriale, hvor både empiri og teori er anvendt til at be- og/eller afkræfte om der er belæg for denne umiddelbare skepsis. Det diskuteres her, om denne rapport har været tilstrækkeligt oplysende, samt om udvidelsen af vidensfeltet har været fyldestgørende ift. at verificere og/eller falsificere disse fordomme. Hensigten med dette er at vurdere, om specialets bidrag kan ændre den fordomsbetonede samfundsholdning i en sådan grad, at træ for eftertiden vil betragtes som et ligestillet alternativ til traditionelle danske byggematerialer.

Grundlaget for den umiddelbare skepsis overfor træ er at spore i dette speciale, da der som tidligere beskrevet er dårligere forudsætninger ved anvendelse af træ, hvor igen brand- og lydkrav kan fremhæves, samt hensynstagen til fugt/vejrligheder i selve byggeperioden. Derved ikke sagt at disse er egentlige begrænsninger for at anvende materialet.

Denne rapport beskæftiger sig med mange fordomme om træ, hvorved en stor population vil kunne finde oplysninger omkring fordomme, disse måtte have. Herved er rapportens indhold (inkl. resultater af hovedundersøgelsen) meget oplysende, hvilket bør gøre det nemmere for læseren at vurdere, om træ kan være et konkurrencedygtigt alternativ til beton ift. læserens virke. Det vurderes dog, at en ændring af samfundsholdningen til materialet vil tage tid, men i takt med at der opføres flere højhusbyggerier i træ formodes det, at forfatterne initierende undren omkring *hvorfor der ikke bygges mere i træ i Danmark*, vil sprede sig til en større population. Hertil er det af forfatterne forhåbning, at disse vil søge en mere nøgtern information omkring materialet og ikke lade sig begrænse ved deres forudindtagne (tildels ubegrundede) skepsis over for materialet og dets anvendelse. Hvorledes resultaterne af denne rapport kan komme til at bidrage hertil berøres i det følgende afsnit, samt hvad der kan foretages af videre arbejde/forskning inden for vidensfeltet.

7.2 Videre arbejde

Dette afsnit foreslår med afsæt i de fremkomne resultater videre arbejde til udvidelse af vidensfeltet, dette speciale berører. Her vil fokus være på at afklare, hvad denne rapport ikke har besvaret, og hvilke dele af rapporten, der er usikre/uafklarede. Foreslået videre arbejde vil også være baseret på forfatterne egne erfaringer med projektet med henblik på at lette og målrette efterfølgende arbejde inden for vidensfeltet. Forfatterne egne erfaringer er uddybet i kapitel 8.

Resultaterne af denne rapport indikerer, at træ er et konkurrencedygtigt alternativ til beton, baseret på en bred undersøgelse, der inkluderer syv forskellige projektpræstationsområder, som yderligere er udgjort af forskellige præstationer. Dette, samt resultatet af den indledende analyse, giver et solidt grundlag for påstanden om, at træ er et konkurrencedygtigt materiale, da resultatet er udgjort af mange variabler. Der er dog ét men; at resultaterne af hovedundersøgelsen er baseret på en lille stikprøve af en stor population, hvilket påvirker validiteten af resultaterne. Hermed opfordres til, at der udføres en supplerende eller lignende undersøgelse med en større stikprøve for at skabe et mere validt og pålideligt belæg for denne rapports påstande. Hertil kan forfatterne opfordre til, at der kunne fokuseres på færre projektpræstationer, da det er af forfatterne opfattelse, at det omfattende spørgeskema anvendt til dataindsamling til hovedundersøgelsen har givet en lav svarrate. De øvrige projektpræstationer kan eventuelt inddrages fra undersøgelsen i dette speciale, såfremt disse ønskes medtaget. Det vurderes, at dokumentation i form af statistiske analyser vil kunne give et stort bidrag til dette vidensfelt.

En anden interessant supplerer til denne undersøgelse kunne være et mere dybdegående casestudie af et fleretagers træprojekt mhp. at undersøge nærmere om forudsætningerne i andre lande er anderledes end i Danmark. Hertil kunne relevant lovgivning indenfor området inddrages for at undersøge, hvorvidt disse projekter og de anvendte løsninger heri ville kunne opføres i Danmark. Herved kunne mulige begrænsninger for materialets anvendelse i Danmark identificeres. Forfatterne vil anbefale, at der kan tages udgangspunkt i Brock Commons, da der i forvejen er foretaget adskillige casestudier på dette projekt, hvorved der foreligger megen tilgængelig information omkring projektet (se link i casebeskrivelsen kapitel 5).

For at realisere opførelsen af fleretagers træbyggeri i Danmark, kunne politisk indgriben overvejes. I London tillader myndighederne f.eks., at solcelleanlæg kan undlades, når træ anvendes som konstruktionsmateriale, da CO₂-besparelsen ved brug af træ fremfor traditionelle byggematerialer kan retfærdiggøre bygningens merforbrug af energi i driftsperioden. Anden økonomisk kompensation for den øgede risiko kunne også bevilliges. Såfremt et fleretagersbyggeri i træ i Danmark blev iværksat, ville erfaring herfra kunne minimere de usikkerheder, aktørerne i branchen måtte have om materialet. Den økonomiske kompensation kunne være gældende for en given periode, da der ikke er nogen grund til bevilling, såfremt træ viser sig at være et ligestillet materiale med beton.

Den indledende analyse i denne rapport påpeger, at brand- og lydkrav kan være udfordrende, såfremt træ anvendes som konstruktionsmateriale. Forskning indenfor disse områder, der kan føre til bedre løsninger herfor, vil derfor kunne have stor betydning for træs anvendelse i Danmark. Det anbefales, at Eksempelsamlingen suppleres med eksempler på fleretagersbyggeri i træ i mere end fire etager.

En vinkling, der ikke er medtaget direkte i denne undersøgelse, er den egentlige bruger, og hvilke forhold der skal gøre sig gældende, før disse vil overveje at anvende træ fremfor traditionelle byggematerialer. En egentlig brugerundersøgelse af dette, samt hvor stor efterspørgslen er på træbyggeri, vil gøre det nemmere for virksomheder at vurdere markedsværdien, samt markedsføre materialet ift. brugernes behov.

Slutteligt påpeges vidensdeling som værende essentiel, såfremt træ skal anvendes i fleretagersbyggeri i Danmark, bl.a. på grund af den tidligere beskrevne fordomsbetonede samfundsholdning til træ som byggemateriale. Dette gælder resultaterne af denne rapport, såvel som efterfølgende forskning indenfor området.

Det kan diskuteres, hvorvidt præstationen af byggeprojekter kan generaliseres og udtrykkes ved gennemsnitsværdier, som der er gjort for betonprojekterne i dette speciale. Dette grundet projekters unikke natur, hvilket påvirker validiteten og pålideligheden af den komparative analyse.

Måder, hvorpå den eksterne validitet kunne forbedres, havde været ved inddragelse af flere betonprojekter, hvor det havde givet mening at undersøge/dokumentere variansen mellem projekternes præstationer, for gennem statistiske analyser at kunne udtrykke validiteten af de anvendte gennemsnitlige værdier. Dette ville som benævnt kræve flere besvarelser, diskuteret senere i dette kapitel.

En måde, hvorpå pålideligheden kunne forbedres, ville være ved i større grad at stille specifikke krav til de projekter, der indgår i analysen for derved at have mere ens grundlag for projekterne. Hertil kan f.eks. nævnes krav til udbud, da udbudskrav vurderes som værende væsentlige ift. hvilke CSF'er, der er fokus på i de individuelle projekter, hvorved projektpræstationerne vil afspejle disse krav.

Slutteligt kunne de studerende selv have udvalgt hvilke projekter, der skulle indgå i den kvantitative analyse, da de projekter der indgår i denne undersøgelse er udvalgt af en/flere personer i de deltagende virksomheder selv, hvorved der kan være risiko for, at de kun har medtaget "de bedste" projekter. Dette ville give et forkert sammenligningsgrundlag for præstationen af betonprojekterne i den komparative analyse, da betonprojekterne her vil præstere bedre, end den egentlige (reelle) gennemsnitlige præstation. Det vurderes dog ikke at påvirke resultatet i dette speciale, da træprojekterne præsterer bedre end betonprojekterne inde for majoriteten af sammenligningerne, hvilket blot validerer konklusionen om, at træ er et konkurrencedygtigt alternativ til beton.

Et større antal betonprojekter til den kvantitative analyse ville, som beskrevet i ovenstående, have givet mulighed for at opnå en mere valid gennemsnitsværdi for præstationen af danske betonprojekter. Forfatterne er af to af de deltagende virksomheder gjort opmærksomme på, at spørgeskemaet, der ligger til grund for den kvantitative analyse, var omfattende at besvare. Dette giver anledning til, at overveje, hvorvidt det ville have været bedre for undersøgelsen at inddrage færre KPIs, for derved at få flere svar, og om dette reelt set ville resultere i flere svar. Det blev vurderet nødvendigt i denne undersøgelse med inddragelse af relativt mange KPIs, da lignende undersøgelser ikke har været udført tidligere. Derfor blev et større antal KPIs inddraget, da tidligere studier ikke kunne supplere undersøgelsen - f.eks. information omkring tidligere præstationer indenfor pris. Konklusionen af denne rapport afspejles også ved den lave svarrate, da den er meget overordnet, og skal i høj grad kun ses som en indikator på, at træ er et konkurrencedygtigt materiale. Der er herved lagt grundlag for efterfølgende studier, der kan be- eller afkræfte denne påstand.

Der har været en del overvejelser ved selve udarbejdelsen af det anvendte spørgeskema til indhentning af information til den kvantitative analyse, foruden mængde og udvælgelse af KPIs. Én af de større overvejelser har omhandlet mængden af information til modtageren i de enkelte spørgsmål. Her er det tilstræbet, at få specificeret spørgsmålene i en sådan grad, at de ikke har kunne misforstås. Teksten forud for spørgsmålene er forsøgt holdt kortfattet og konkret, da de studerende vurderede, at der ellers var risiko for, at spørgsmålsbeskrivelserne ikke ville blive læst. Der har været enkelte misforståelser mht. at besvare spørgeskemaet, samt uklarheder i besvarelsenerne, men disse har ikke været sammenfaldende, hvorfor det er vanskeligt at vurdere, om spørgsmålene har været specificeret tilstrækkeligt. Det vurderes dog, at kriteriet om at projekterne skulle være totalentrepriser, gjorde det nemmere at afklare eventuelle misforståelse/klarheder, da der kun er én part, der skal kontaktes herom.

Ved udsendelse af spørgeskemaer blev deltagende parter kontaktet over e-mail, hvor forfatterne har forsøgt at "markedsføre" specialet/undersøgelsen, således svarrraten blev så stor som mulig. Den lave svarrate, dette resulterede i, kan indikere, at enten har forfatterne været for ringe til at anvende dette medie eller at andet medie skulle have været anvendt til dette formål. Det er tænkeligt, at forfatterne herved ikke har formået at "sælge" projektet tilstrækkelig ift. at gøre det attraktivt for de kontaktede parter at deltage i undersøgelsen. Hertil kunne der i større grad beskrives, hvad man får ud af at deltage i undersøgelsen, og/eller hvor vigtig denne undersøgelse er ift. de samfundsproblemer, denne undersøgelse kan afhjælpe. Det har været nødvendigt for forfatterne, at udseende "rykker-mails" til de deltagende parter i forbindelse med indsamling af både spørgeskema og standardiseret interview, da ingen af parterne oprindeligt svarede inden den givne deadline. Dette resulterede i, at alle deltagere besvarede spørgeskemaet, hvorfor denne fremgangsmåde kan anbefales, såfremt mailkonspondenser anvendes som kommunikationsmiddel.

De anvendte metoder i hovedundersøgelsen til besvarelse af forskningsspørgsmålet har af forfatternes vurdering været gode, da undersøgelsen evaluerer og sammenligner adskillige præstationsområder, hvorved træs konkurrencedygtighed ift. beton kan vurderes ud fra adskillige variabler. Det har endvidere været muligt at specificere indenfor hvilke områder, træ kan være en fordel. En ulempe ved de mange præstationsmålinger er, at det har været omfattende for respondenterne at besvare spørgeskemaet, hvilket formodentlig har givet den lave svarrate i denne undersøgelse.

Forestilles undersøgelsesdesign og -metoder anderledes end det valgte i dette speciale (afsnit 3.4 på side 40), havde lav svarrate måske ikke været en problematik. Forestilles undersøgelsen f.eks. foretaget udelukkende ved et kvalitativt studie gennem interviews af specialister inden for både træ- og betonbranchen, havde det måske frembragt andre fordele/ulemper end denne undersøgelse - ikke sagt at dette resultat ville være anderledes og/eller mere validt end denne undersøgelse.

Forfatternes videnskabsteoretiske ståsted (kritisk rationalisme) kan afspejles i de valgte metoder og arbejdsproces, bl.a. ved at forfatterne undervejs har arbejdet aktivt med at forholde sig kritiske til resultaterne og draget konklusion. Forfatterne har ikke forsøgt at skjule undersøgelsens sårbarhed/svagheder, men i stedet fremhæve og bruge dem aktivt til bl.a. at foreslå videre arbejde inden for vidensfeltet.

Slutteligt knyttes der her en kommentar på, hvordan vægtningen anvendt i den kvantitative analyse er en dynamisk parameter. Vægtingen, der kommer af entreprenørenes prioritering, er et nutidsbillede, hvilket formodentlig vil ændre sig i fremtiden, hvorved resultaterne i denne rapport, baseret på denne vægtning, også vil ændre sig. Vægtningen formodes dog ikke at ville ændre sig væsentligt, da de traditionelle CSF'er (Pris, Tid og Kvalitet) også var vægtet højt i denne undersøgelse, og det vurderes da, at dette vil have en minimal indflydelse på denne rapport's resultat. Det vurderes dog, at nogle af de problemer, verdenssamfundet står/kan stå overfor (såsom globalopvarmning og ressourceknaphed) vil medvirke til, at Miljøvenlighed i fremtiden vil være en større/vigtigere faktor ved levering af byggeprojekter.

Litteraturliste

- Aalborg Universitetsbibliotek, 2018.** Aalborg Universitetsbibliotek. *Databaser og udbydere*. 2018.
- Andersen, 2013.** Ib Andersen. *Den skinbarlige virkelighed*. ISBN: 978-87-593-1650-4, 5. udgave. Samfundslitteratur, 2013.
- Andersen, 2014.** Thomas Juul Andersen. *Betonhåndbogen, 1 Beton - verdens vigtigste byggemateriale*. Afsnit 1.3. Arkitektur. Dansk Betonforening, 2014.
- Anderson, 2012.** Richard Anderson. *International Construction Intelligence*. Faithful+Gould, 2012.
- Arbejdstilsynet, 2018.** Arbejdstilsynet. *Risiko for ulykker*. 2018.
- Arkitektur N, 2018.** Arkitektur N. *Moholt 50/50 Tårnene på Moholt*. Arkitektur N, 2018.
- Associerede Ingeniører ApS & Skov- og Naturstyrelsen, 2001.** Associerede Ingeniører ApS & Skov- og Naturstyrelsen. *Massivtræ i byggeriet*. ISBN: 87-90856-11-2. Associerede Ingeniører ApS and Træbranchens Oplysningsråd, 2001.
- Australian Academy of Science, 2015.** Australian Academy of Science. *Population and environment: a global challenge*. 2015.
- Beck. Simon Auken Beck.** *Hvor meget træ kan vi bruge?* Træ.dk.
- Beck, 2015.** Simon Auken Beck. *Træhus på 14 etager åbnet i Bergen*. Træ.dk, 2015.
- Beiser, 2016.** Vince Beiser. *The World's Disappearing Sand*. The New York Times, 2016.
- Berlingske Business, 2017.** Berlingske Business. *Tårnhøje byggepriser truer investeringer*. Berlingske, 2017.
- BOB BBL, 2018.** BOB BBL. *Treet - Verdens højeste træhus*. BOB.no, 2018.
- Bretner, 2009.** Marie-Louise Bretner. *Bæredygtig skovdrift - Fundamentet for klimaløsninger med træ*. 2009.
- Byggecentrum, 2016.** Byggecentrum. *Eksempelsamling om brandsikring af byggeri 2012*. ISBN 978-879-1769733, 2. reviderede udgave, 1. oplag. Trafik- og Byggestyrelsen, 2016.
- Cha og Kim, 2011.** Hee Cha og Chan Kim. *Quantitative Approach for Project Performance Measurement on Building Construction in South Korea*. KSCE Journal of Civil Engineering, 2011.
- Chan et al., 2004.** Albert P. C. Chan, David Scott og Ada P. L. Chan. *Factors affecting the success of a construction project*. Journal of Construction Engineering and Management, 2004.

- Chan og Chan, 2004.** Albert P.C. Chan og Ada P. L. Chan. *Key performance indicators for measuring construction success*. Benchmarking: An International Journal, 2004.
- Choi et al., 2016.** Jiyong Choi, Sungmin Yun og Daniel P de Oliveira. *Developing a cost normalization framework for phase-based performance assessment of construction projects*. Canadian Journal of Civil Engineering, 2016.
- Climate-Data.org, 2018.** Climate-Data.org. *Klima data for byer verden over*, 2018.
- Cox et al., 2003.** Robert F. Cox, Raja R. A. Issa og Dar Ahrens. *Management's perception of key performance indicators for construction*. Journal of Construction Engineering and Management, 2003.
- Dale, 2016.** Ole Harald Dale. *Ved Damsgårdssundet i Bergen har BOB Eiendomsutvikling ført opp verdens høyeste boligblokk i tre*. Bygg.no, 2016.
- Danmarks Meteorologiske Institut, 2018.** Danmarks Meteorologiske Institut. *DMI: Vejr, Klima og Hav*, 2018.
- Danmarks Nationalbank, 2018.** Danmarks Nationalbank. *DNVALA: Valutakurser efter valuta, kurstype og opgørelsesmetode (årsobservationer)*. Nationalbankens Statistikbank, 2018.
- Danmarks statistik, 2018.** Danmarks statistik. *Nettoprisindeks*. 2018.
- Dansk Standard, 2007a.** Dansk Standard. *Eurocode 5: Trækonstruktioner - Del 1-1: Generelt - Almindelige regler samt regler for bygningskonstruktioner*. 2. udgave. 2007.
- Dansk Standard, 2013.** Dansk Standard. *DS 490 Holdbarhed af træ og træbaserede produkter - Brugsklasser: definitioner, anvendelse på massivt træ og træbaserede produkter*. 1. udgave. 2013.
- Dansk Standard, 2007b.** Dansk Standard. *DS 490 Lydklassifikation af boliger*. 2. udgave. 2007.
- Dansk Træforening, 2017.** Dansk Træforening. *Højeste trælastimport i 7 år*. dktimber.dk, 2017.
- Dragsted et al., 2017.** Anders Dragsted, Frank Markert, Finn Larsen og Peder Fynholm. *Fleretagers træhuse - Brandforhold*. InnoBYG, 2017.
- Ellen MacArthur Foundation, 2018a.** Ellen MacArthur Foundation. *Ellen MacArthur Foundation's hjemmeside*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>, 2018.
- Ellen MacArthur Foundation, 2018b.** Ellen MacArthur Foundation. *Circular Economy Overview*, 2018.
- Energistyrelsen, 2018.** Energistyrelsen. *EU's klima- & energipolitik*, 2018.
- Eriksen, 2017.** Thor Eriksen. *Sådan formulerer du forskningsspørgsmål til dit speciale*. Scribbr, 2017.
- European Environment Agency, 2017.** European Environment Agency. *Forest utilisation rate per country (annual fellings as a percentage of annual increment)*. 2017.

- Falkenberg, 2016.** Bjørn Fredrik Falkenberg. *Treet – verdens høyeste trehus i Bergen sentrum*. Brannmannen.no, 2016.
- Finans, 2017.** Finans. *Brancheanalyse: Entreprenørbranchen 2017*. Finans.dk, 2017.
- Forest Stewardship Council, 2018.** Forest Stewardship Council. *FSC Denmark's hjemmeside*. <https://dk.fsc.org/dk-dk>, 2018.
- Forestry Innovation Investment, 2017.** Forestry Innovation Investment. *Brock Commons tallwood house - fact sheet*. Naturally:wood, 2017.
- Forestry Innovation Investment, 2016.** Forestry Innovation Investment. *Brock Commons Storyboards: Design, Compliance and Performance - fact sheet*. Naturally:wood, 2016.
- Forestry Innovation Investment, 2018.** Forestry Innovation Investment. *Brock Commons - Performance Overview*. Naturally:wood, 2018.
- Fuglsang et al., 2013.** Lars Fuglsang, Poul Bitsch Olsen og Klaus Rasborg. *Videnskabsteori i samfundsvidenskaberne*. ISBN: 978-87-593-1551-4, 3. udgave. Samfundslitteratur, 2013.
- Funch og Clorius, 2002.** Lis Winther Funch og Christian Clorius. *Indoor climate of single-family house constructed by use of glued solid wood elements - In-situ measurements and calculations*. Danish Technological Institute, 2002.
- Fynholm et al., 2017.** Peder Fynholm, Anders Kjellow og Niels Morsing. *Fleretagers træhuse - State of the art*. InnoBYG, 2017.
- Gaunaa, 2018.** Finn Gaunaa. *Danmark 1864*. Roskildehistorie.dk, 2018.
- Glasø og Landrø, 2012.** Geir Glasø og Harald Landrø. *FOKUS på tre - Tre og brann*. ISSN 1501-7427, Nr. 37. Norsk Treteknisk Institutt, Trefokus og TreSenteret, 2012.
- Gransberg og Villarreal Buitrago, 2002.** Douglas D. Gransberg og Monica E. Villarreal Buitrago. *Construction project performance metrics*. AACE International Transactions, 2002.
- Green, 2013.** Michael Green. *Why we should build wooden skyscrapers*. Ted.com, 2013.
- Gustafsson et al., 2017.** Anders Gustafsson, Roberto Crocetti, Alar Just, Pierre Landel, Jörgen Olsson, Anna Pousette, Magnus Silfverhielm og Birgit Östman. *KL-trähandbok - Fakta och projektering av KL-träkonstruktioner*. ISBN: 978-91-981922-5-4, 1. udgave. Svenskt Trä, 2017.
- Gyproc A/S, 2010.** Gyproc A/S. *Gyproc Håndbog 9*. ISBN: 978-87-981348-0-0, 1. oplag. Oberthur Technologies Denmark A/S, 2010.
- Hanna, 2016.** Awad S. Hanna. *Benchmark Performance Metrics for Integrated Project Delivery*. Journal of Construction Engineering and Management, 2016.
- Hanna et al., 2014.** Awad S. Hanna, Wafik Lotfallah, Diane G Aoun og Mounir El Asmar. *Mathematical Formulation of the Project Quarterback Rating: New Framework to Assess Construction Project Performance*. Journal of Construction Engineering and Management, 2014.

- Harris og Ogbonna, 2002.** L. C. Harris og E. Ogbonna. *The Unintended Consequences of Culture Interventions: A Study of Unexpected Outcomes*. British Journal of Management, Vol. 13, 31-49, 2002.
- Harte, 2017.** Annette M. Harte. *Mass timber - the emergence of a modern construction material*. Journal of structural integrity and maintenance, 2017.
- Henriksen, 2014.** Arve Henriksen. *Bergen får verdens høyeste trehus*. Aftenposten.no, 2014.
- Heravi og Ilbeigi, 2012.** Gholamreza Heravi og Mohammad Ilbeigi. *Development of a comprehensive model for construction project success evaluation by contractors*. Engineering, Construction and Architectural Management, 2012.
- Hoeller et al., 2017.** Christoph Hoeller, Jeffrey Mahn, David Quirt, Stefan Schoenwald og Berndt Zeitler. *Apparent sound insulation in cross-laminated timber buildings*. National Research Council Canada, 2017.
- Holm, 2016.** Andreas Beck Holm. *Videnskab i virkeligheden*. ISBN: 978-87-593-1506-4, 1. udgave. Samfundslitteratur, 2016.
- Hwang et al., 2013.** Bon-Gang Hwang, Hui Fang Tan og Sowmya Sathish. *Capital project performance measurement and benchmarking in Singapore*. Engineering, Construction and Architectural Management, 2013.
- IVL Svenska Miljöinstitutet, 2016.** IVL Svenska Miljöinstitutet. *Pressmeddelande: Klimatsnålt med höghus i trä*. Iv1.se, 2016.
- Jahangirian et al., 2017.** Mohsen Jahangirian, Simon J. Taylor, Terry Young og Stewart Robinson. *Key performance indicators for successful simulation projects*. Journal of the Operational Research Society, 2017.
- Jastram, 2017.** Torben Jastram. *Ny analyse: Vækst på projektmarkedet fortsætter*. Dagens Byggeri, 2017.
- Jensen et al., 2017.** Line Jensen, Dea Lindegaard og Casper Kjerumgaard. *Overfladebehandling af udvendigt træværk*. 2017.
- Jensen, 2017.** Line Sun Mi Jensen. *Studerende flytter ind i verdens højeste træhus*. Træ.dk, 2017.
- Jensen, 2018.** Line Sun Mi Jensen. *Verdens højeste træhus skal markere jubilæum*. Træ.dk, 2018.
- Johansen et al., 2014.** Bjarne Lund Johansen, Jørgen Munch-Andersen og Thomas Thomassen. *Træ 70: Træmaterialer*. ISBN: 978-87-90856-33-5, 1. udgave. Træinformation, 2014.
- Kjær og Wingård, 2012.** Mikkel Kjær og Rune P. Wingård. *Fra vækst til balance: De samfundsmæssige konsekvenser af den nuværende økonomiske udvikling*. Klimadebat.dk, 2012.
- Koch, 2016.** Mikael Koch. *Hvorfor bygger London mere og mere i træ – og hvem er drivkraften bag?* Traeinfo.dk, 2016.

- Konchar og Sanvido, 1998.** Mark Konchar og Victo Sanvido. *Comparison of US project delivery systems*. Journal of Construction Engineering and Management, 1998.
- Kylili et al., 2016.** Angeliki Kylili, Paris A. Fokaides og Petra Amparo Lopez Jimenez. *Key Performance Indicators(KPIs) approach in buildings renovation for the sustainability of the built environment: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016.
- Langergaard et al., 2006.** Luise Li Langergaard, Søren Barlebo Rasmussen og Asger Sørensen. *Viden, videnskab og virkelighed*. ISBN: 9788759309490, 1. udgave. Samfundslitteratur, 2006.
- Lepage, 2012.** Robert T.M. Lepage. *Moisture Response of Wall Assemblies of CrossLaminated Timber Construction in Cold Canadian Climates*. 2012.
- Lieblein, 2016.** Åsmund Deraas Lieblein. *Brannsikkerhet i høye trehus*. NTNU, 2016.
- Ling, 2004.** Florence Yean Yng Ling. *Key determinants of performance of design-bid-build projects in Singapore*. Building Research & Information, 2004.
- Mathiesen, 2014.** Dorte Mathiesen. *Genanvendelse af beton - Introduktion*. Teknologisk Institut, 2014.
- Mayo, Joseph, 2015.** Mayo, Joseph. *Solid Wood - Case Studies in Mass Timber Architecture, Technology and Design*. ISBN: 978-0-415-72529-3 (hbk), 1st edition. Routledge, 2015.
- MHansen, 2017.** MHansen. *Samfundsvidenskab*. Gyldendal: Den Store Danske, 2017.
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2010.** Miljø- og Fødevareministeriet. *Tips om trykimprægneret træ og naturligt træ*. 2010.
- Moe & Brødsgaard A/S, 2011.** Moe & Brødsgaard A/S. *Massivtræets potentiale*. Træ.dk, 2011.
- Moe & Brødsgaard AS, 2012.** Moe & Brødsgaard AS. *Materialekrav for massivtræ*. Træ.dk, 2012.
- Morlet et al., 2015.** Andrew Morlet, Jocelyn Blériot, Stephanie Hubold, Rob Opsomer, Dr. Mats Linder og Ian Banks. *Potential for Denmark as a circular economy*. Ellen MacArthur Foundation, 2015.
- Morsø Jernstøberi A/S, 2018.** Morsø Jernstøberi A/S. *Morsø og miljøet*. 2018.
- Munch-Petersen og Nielsen, 2017.** Gitte Normann Munch-Petersen og Claus V Nielsen. *Beton og bæredygtighed*. Betonworkshop 27. oktober 2017 (Teknologisk Institut og Rambøll), 2017.
- Møller, 2017.** Peter Friis Møller. *Jordens skove i Naturen i Danmark*. Gyldendal, 2017.
- Nassar og AbouRizk, 2014.** Nadim Nassar og Simaan AbouRizk. *Practical Application for Integrated Performance Measurement of Construction Projects*. Journal of Management in Engineering, 2014.

- Ngacho og Das, 2014.** Chrisopher Ngacho og Debadyuti Das. *A performance evaluation framework of development projects: An empirical study of Constituency Development Fund (CDF) construction projects in Kenya*. International Journal of Project Management, 2014.
- Nord-Larsen et al., 2017.** Thomas Nord-Larsen, Vivian Kvist Johannsen, Marie Frost Arndal, Torben Riis-Nielsen, Iben Margrete Thomsen, Kjell Suadicani og Bruno Bilde Jørgensen. *Skove og plantager 2016*. ISBN: 978-87-7903-773-1. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, 2017.
- OECD.Stat, 2017.** OECD.Stat. *Purchasing Power Parities for GDP and related indicators*. OECS.Stat, 2017.
- Omar og Fayek, 2016.** Moataz Nabil Omar og Aminah Robinson Fayek. *Modeling and evaluating construction project competencies and their relationship to project performance*. Automation in Construction, 2016.
- Park et al., 2013.** Sang Park, Seung Han og Myung Chae. *Quantitative Performance Measurement for Construction R&D Projects*. KSCE Journal of Civil Engineering, 2013.
- Peel et al., 2007.** Murray C. Peel, Brian L. Finlayson og Thomas McMahon. *Updated world map of the Köpper-Geiger climate classification*. Copernicus Publications, 2007.
- PEFC, 2018.** PEFC. *PEFC Danmark's hjemmeside*. <https://www.pefc.dk/>, 2018.
- PEFC Council, 2017.** PEFC Council. *PEFC Global Statistics: SFM & CoC Certification*. pefc.org, 2017.
- Peter, 2016.** Hans Peter. *Jamen, træhuse hører jo ikke til i Danmark*. 2016.
- pixabay, 2018.** pixabay. *Gratis billeder af Trebenede*. <https://pixabay.com/>, 2018.
- Popper, 1974.** Karl Raimund Popper. *Conjectures and refutations: the growth of scientific knowledge*. ISBN: 0710065078, 5. udgave. London: Routledge and Kegan Paul, 1974.
- Presley og Meade, 2010.** Adrien Presley og Laura Meade. *Benchmarking for sustainability: an application to the sustainable construction industry*. Benchmarking: An International Journal, 2010.
- Radujković et al., 2010.** Mladen Radujković, Mladen Vukomanović og Ivana Burcar Dunović. *Application of key performance indicators in South-Eastern European construction*. Journal of Civil Engineering and Management, 2010.
- Rankin et al., 2008.** Jeff Rankin, Aminah Robinson Fayek, Gerry Meade, Carl Haas og Andr Manseau. *Initial metrics and pilot program results for measuring the performance of the Canadian construction industry*. Canadian Journal of Civil Engineering, 2008.
- Redaktionen, 2017a.** Redaktionen. *Case-studie*. Gyldendal: Den Store Danske, 2017.
- Redaktionen, 2017b.** Redaktionen. *Komparativ metode*. Gyldendal: Den Store Danske, 2017.

- Redaktionen, 2017c.** Redaktionen. *Problemorienteret*. Gyldendal: Den Store Danske, 2017.
- Region Midtjylland, 2018.** Region Midtjylland. *Fra affald til ressource*. <https://www.rm.dk/siteassets/regional-udvikling/baredygtig-omstilling/cirkular-okonomi--billeder/coe.png>, 2018.
- Ridker og Cecelski, 1979.** R.G. Ridker og E.W. Cecelski. *Resources, environment, and population: the nature of future limits*. Popul Bull., 1979.
- SBi, 2017.** SBi. *Bygningers opførelse er mere miljøbelastende end bygningers drift*. SBi, 2017.
- Selstrøm, 2017.** Anders Selstrøm. *En studentby for fremtiden*. Norske arkitekters landsforbund, 2017.
- Selstrøm, 2016.** Anders Selstrøm. *Verdens højeste trehus*. Arkitektur.no, 2016.
- Shah, 2001.** Anup Shah. *Stress on the environment, society and resources?* Global Issues, 2001.
- Shrestha og Fernana, 2017.** Pramen P. Shrestha og James D. Fernana. *Performance of Design-Build and Design-Bid-Build Projects for Public Universities*. Journal of Construction Engineering and Management, 2017.
- Skov- og Naturstyrelsen, 2018.** Skov- og Naturstyrelsen. *Pleje af vildtplantninger*, 2018.
- Smith et al., 2018.** Ryan E. Smith, Gentry Griffin, Talbot Rice og Benjamin Hagehofer-Daniell. *Mass timber: evaluating construction performance*. Architectural Engineering and Design Management, 2018.
- Statistics Denmark, 2018.** Statistics Denmark. *Construction cost index for residential buildings (2015=100) by unit, kind, sub index, main index and time*. Statistics Denmark, 2018.
- Statistisk sentralbyrå, 2018.** Statistisk sentralbyrå. *Construction cost index for residential buildings*. Statistisk sentralbyrå, 2018.
- Steffen, 2005.** Alex Steffen. *The route to a sustainable future*. Ted.com, 2005.
- Stone, 2017.** Steven Stone. *Closing the loop: how a circular economy helps us #BeatPollution*. UN Environment, 2017.
- Stora Enso, 2017.** Stora Enso. *Soundproofing for CLT*, 2017.
- Stora Enso, 2013.** Stora Enso. *Thermal inertia of Stora Enso CLT in comparison to other building materials such as masonry or concrete*, 2013.
- Storvang, 2005.** Pia Storvang. *Træhuse som boliger i Danmark*. 2005.
- Teknologisk Institut, 2008a.** Teknologisk Institut. *Fugtighed og træ*. Træ.dk, 2008.
- Teknologisk Institut, 2008b.** Teknologisk Institut. *Holdbarhed: Standarder for træ*. Træ.dk, 2008.

- Teknologisk Institut, 2008c.** Teknologisk Institut. *Holdbarhed: Levetider for træ*. Træ.dk, 2008.
- The European Forest Institute, 2018.** The European Forest Institute. *About planted forests*. 2018.
- The World Bank, 2018.** The World Bank. *The World Bank's hjemmeside*. The World Bank, 2018.
- Thurén, 2008.** Torsten Thurén. *Videnskabsteori for begyndere*. ISBN: 978-87-638-0837-8, 2. udgave. ROSINANTE, 2008.
- TMI et al., 2018.** TMI, Dansk Træforening, Brancheforeningen Danske Byggecentre, Træ Information, 3F og Danske Træindustrier. *Stor potentiel CO2-gevinst ved træbyggeri – data mangler i en bred dansk kontekst*. 2018.
- Trading Economics, 2018.** Trading Economics. *Denmark GDP From Construction*. Trading Economics, 2018.
- Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018.** Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen. *Bygningsreglementet 2018*. <http://bygningsreglementet.dk/>, 2018.
- Trifkovic, 2015.** Marina Trifkovic. *buildingSMART konferanse 2015: Treet - Verdens høyeste trehus*. Buildingsmart.no, 2015.
- Troelsen, 2017.** Kristian Troelsen. *Verdens høyeste træhus opføres i Norge*. DagensByggeri.dk, 2017.
- Træ.dk, 2016.** Træ.dk. *Verdens største massivtræsbyggeri*. 2016.
- Træ.dk, 2016.** Træ.dk. *Træ er genialt*. 2016.
- Træinformation, 2018.** Træinformation. *Moholt Timber Towers*. Arkitektur i TRÆ, 2018.
- Træinformation, 2018.** Træinformation. *Træ og klima*. Traeinfo.dk, 2018.
- Turner&Townsend, 2017.** Turner&Townsend. *International construction market survey*. Turner&Townsend, 2017.
- Verdens Skove, 2018.** Verdens Skove. *Bæredygtig skovbrug*. 2018.
- Vikan, 2018.** John Inge Vikan. *Moholt 50/50*. Byggeindustrien (bygg.no), 2018.
- Wiggins, 2013.** Tom Wiggins. *International Construction Intelligence*. Faithful+Gould, 2013.
- Wiggins, 2014.** Tom Wiggins. *International Construction Intelligence*. Faithful+Gould, 2014.
- Wiggins, 2016.** Tom Wiggins. *International Construction Intelligence: Prospects for Global Construction*. Faithful+Gould, 2016.
- World Health Organization, 2010.** World Health Organization. *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. ISBN 978-92-890-0213-4. 2010.

- World Weather and Climate Information, 2018.** World Weather and Climate Information. *World Weather & Climate Information*, 2018.
- Xiao og Proverbs, 2002.** Hong Xiao og David Proverbs. *The performance of contractors in Japan, the UK and the USA: An evaluation of construction quality*. International Journal of Quality & Reliability Management, 2002.
- Yeung et al., 2008.** John F. Y. Yeung, Albert P. C. Chan og Daniel W. M. Chan. *Establishing quantitative indicators for measuring the partnering performance of construction projects in Hong Kong*. Construction Management and Economics, 2008.
- Yeung et al., 2009.** John F. Y. Yeung, Albert P. C. Chan og Daniel W. M. Chan. *A computerized model for measuring and benchmarking the partnering performance of construction projects*. Automation in Construction, 2009.
- Yeung et al., 2013.** John F. Y. Yeung, Albert P. C. Chan, Daniel W. M. Chan, Y. H. Chiang og Huan Yang. *Developing a Benchmarking Model for Construction Projects in Hong Kong*. Journal of Construction Engineering and Management, 2013.
- Yin, 1994.** Robert K. Yin. *Case Study Research - Design and Methods*. Second Edition. SAGE Publications, 1994.
- Yun et al., 2016.** Sungmin Yun, Jiyong Choi, Daniel P. de Oliveira og Stephen P. Mulva. *Development of performance metrics for phase-based capital project benchmarking*. International Journal of Project Management, 2016.
- Zelinka et al., 2018.** Samuel L. Zelinka, Laura E. Hasburgh, Keith J. Bourne, David R. Tucholski og Jason P. Ouellette. *Compartment fire testing of a two-story mass timber building*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2018.
- Øvrum, 2012.** Audun Øvrum. *FOKUS på tre - Konstruksjonsvirke*. ISSN 1501-7427, Nr. 43. Norsk Treteknisk Institutt og Trefokus, 2012.



Appendiks

A	Litteraturstudie	111
B	Key Performance Indicators	123
C	Spørgeskemaer og standardiseret interview	125
D	Parameterundersøgelse	133
D.1	PSM beregnet ud fra jerntrekanten	
D.2	PSM ved forskelligt antal betydende parametre	
D.3	De enkelte parametres indflydelse på PSM	
D.4	Konklusion	
E	Elektronisk Bilag	149

A

Litteraturstudie

I dette appendiks gennemgås det udførte litteraturstudiet til bestemmelse af anvendte Key Performance Indicators. Hvad der er søgt på hvor, antal artikler søgningerne resulterede i og andre detaljer fremgår af nedenstående tabeller.

1. Identifikation af termer og opsættelse af blokke

De opstillede blokke anvendt i litteratursøgningen findes i tabel A.1.

Tabel A.1: Blokke til litteratursøgning.

Blok 1	Blok 2	Blok 3	Blok 4
Construction Building	Project*	Benchmark* Compar*	Key Performance Indicator* KPI* Performance Metric* Performance Performance Measurement* Construction Success Critical Success Factor* CSF* Evaluation

2. Udvalgelse af databaser

De anvendte databaser (tabel A.2) er udvalgt ud fra AAU universitetsbibliotek's hjemmeside. Filtreret efter "Emne": *Ledelse og Byggeri og Anlæg*

Ud over relevans ift. litteraturstudiet/vidensfeltet, er de fem databaser udvalgt på baggrund af MSc. Ph.D. Kristian Ditlev Bohnstedts (Aalborg Universitet), som under en forelæsning afholdt i efteråret 2016 omkring videnskabelige metoder til kurset *Byggeprocessens Styringsområder - Management of the Construction Process*, bl.a. anbefalede disse databaser.

Tabel A.2: Kort beskrivelse af de valgte databaser til litteraturstudiet. [Aalborg Universitetsbibliotek, 2018]

Database	Kort beskrivelse
Emerald	Stærk inden for alle områder inden for ledelsesforskning: f.eks. økonomi, management og miljøledelse. Indeholder Emerging Markets Case Studies, som er en online samling af peer-reviewed casestudier med fokus på beslutningsprocesser og ledelsesudvikling.
ProQuest	En database med bred dækning inden for bl.a. naturvidenskab.
Scopus	Den største abstrakt- og citat-database af peer-reviewed litteratur. Indeholder over 60 mio. poster inkl. en stor andel videnskabelige artikler. Leverer et omfattende overblik over verdens forskningsproduktion inden for bl.a. videnskab, teknologi og samfundsvidenskab. God ift. at spore, analysere og visualisere research.
SpringerLink	Giver adgang til millioner af videnskabelige dokumenter. Dækker alle akademiske discipliner med emner inden for bl.a. forretningsledelse, økonomi, ingeniørarbejde, miljøvidenskab og materialer.
Web of Science	Tværfaglig bibliografisk database indeholdende bl.a. ca. 10.000 peer-reviewed videnskabelige tidsskrifter.

3. Afgrænsninger under søgning

Da hver database er meget forskellig, hvad angår søgekriterier o.lign., har søgekriterierne på databaserne været forskellige. Overordnede afgrænsninger ens for alle databaser ses i tabel A.3.

Tabel A.3: Generelle afgrænsninger foretaget i alle søgninger.

Dokumenttype	Videnskabelige artikler / Scholarly Journals / Research Papers
Udgivelsesår	1998-2018
Sprog	Dansk, Engelsk

4. Søgninger

Søgningerne i databaserne er forskellige, da rapportens tidsmæssige omfang begrænser tiden til at screene artikler, hvorfor søgningerne er tilpasset databaserne, således at søgningerne resulterede i et anskueligt antal artikler.

De 37 forskellige brugbare artikler fundet ved litteraturstudiet, findes kort præsenteret og beskrevet i efterfølgende afsnit.

Tabel A.4: Resultat af diverse søgninger i de fem databaser.

*Artikler blev listet efter relevans, hvorfor kun de første ca. 200 ud af 19.962 artikler blev screenet.

**37 forskellige artikler.

Søgning	Antal artikler	Artikler af interesse	Udvalgte til gennemlæsning	Brugbare artikler
Emerald				
"construction project*" AND KPI* OR "key performance indicator"	230	12	12	2
construction AND project AND performance AND success	68	13	7	3
ProQuest				
(construction* OR bulding*) AND (project*) AND (KPI* OR benchmark* OR "performance metrics" OR "key performance indicator*")	697	45	24	6
Scopus				
("construction project*" AND compar* OR benchmark* AND kpi* OR "performance me*")	51	28	21	16
SpringerLink				
"construction project*" OR "building project*" AND success AND compar* AND "performance metric*" OR "performance measure*" AND evaluation*	19.962*	13	7	5
Web of Science				
(construction* OR bulding*) AND (project*) AND (KPI* OR benchmark* OR "performance metrics" OR "key performance indicator*")	742	40	10	8
Total	21.750*	151	141	40 (37**)

5. Brugbare artikler

I dette afsnit beskrives de fundne (anvendte) artikler kort med henblik på at illustrere, hvorfor disse blev fundet relevante til undersøgelsen.

Tabel A.5: Kort beskrivelse af anvendte artikler fundet ved litteraturstudiet. "()" angiver, hvor tal i de andre databaser er fundet på Scopus.

	Database	Peer-reviewed	Cited by	Forfatter(er)s antal publiceringer	Forfatter(er)s totale 'Cited by'
(1)	Pramen P. Shrestha og James D. Fernana. <i>Performance of Design-Build and Design-Bid-Build Projects for Public Universities</i> . Journal of Construction Engineering and Management, 2017.				
	ProQuest	✓	0	19 og 1	(219 og 0)
Relevans:	Artiklen undersøger ved præstationsmålinger, om tidligt eller sent udbud er at foretrække i det offentlige. Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs.				
(2)	Douglas D. Gransberg og Monica E. Villarreal Buitrago. <i>Construction project performance metrics</i> . AACE International Transactions, 2002.				
	ProQuest	-	7	84 og 1	(481 og 7)
Relevans:	Artiklen diskuterer anvendelsen af de to mest traditionelle typer af præstationsmålinger for byggeprojekter, hhv. tid og pris. Artiklen forsøger statistisk at evaluere anvendelsen af 10 KPIs til beskrivelse af projekt præstation. Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs og inspirerende til diskussion og tolkning af resultater.				
(3)	E. Westervel. <i>The Project Excellence Model: linking success criteria and critical success factors</i> . International Journal of Project Management, 2003.				
	ProQuest	✓	84	175	(216)
Relevans:	Artiklen tilpasser en <i>Project Excellence Model</i> ud fra bl.a. <i>EFQM Excellence Model</i> , som et koncept til at opfylde behovet for at relatere kritiske succesfaktorer til projektkriterier. I artiklen præsenteres resultater fra et casestudie, der viser, hvordan modellen blev brugt til at forbedre projektets præstationer. Fundet inspirerende til bestemmelse af CSF'er.				
(4)	Nadim Nassar og Simaan Abourizk. <i>Practical Application for Integrated Performance Measurement of Construction Projects</i> . Journal of Management in Engineering, 2014.				
	Scopus	✓	15	3 og 294	18 og 2247
Relevans:	Artiklen foreslår en ramme til at udvikle et overordnet præstationsindeks for byggeprojekter af forskellig type og størrelse. Rammen giver en systematisk og struktureret proces til evaluering af projektsresultater fra entreprenørens perspektiv, der sætter et klart sæt af mål og målsætninger i form af forskellige under-indekser. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er og KPIs og metode til behandling heraf.				
(5)	Chrisopher Ngacho og Debadyuti Das. <i>A performance evaluation framework of development projects: An empirical study of Constituency Development Fund (CDF) construction projects in Kenya</i> . International Journal of Project Management, 2014.				
	Scopus	✓	27	4 og 13	29 og 73
Relevans:	Hovedformålet med artiklen er at udvikle en multidimensionel ramme til evaluering af projektpræstationer for "udviklings projekter". Artiklen anvender spørgeskemaer og efterfølgende matematisk metode til at analysere resultaterne. Inspiration til bestemmelse af CSF'er.				

Tabel A.6: Kort beskrivelse af anvendte artikler fundet ved litteraturstudiet. "()" angiver, hvor tal i de andre databaser er fundet på Scopus.

	Database	Peer-reviewed	Cited by	Forfatter(er)s antal publiceringer	Forfatter(er)s totale 'Cited by'
(6)	Hee Cha og Chan Kim. <i>Quantitative Approach for Project Performance Measurement on Building Construction in South Korea</i> . KSCE Journal of Civil Engineering, 2011.				
	Scopus	-	16	16 og 2	82 og 23
	SpringerLink	-	11	-	
Relevans:	Målet i artiklen er at definere et kvantitativt præstationsmålesystem og etablere evalueringskriterier ved at identificere 18 KPIs med udgangspunkt i boligbyggeri. Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs og analysemetode.				
(7)	Darren McWhirt, Junyong Ahn, Jennifer S. Shane og Kelly C. Strong. <i>Military construction projects: comparison of project delivery methods</i> . Journal of Facilities Management, 2011.				
	Scopus	✓	3	1, 2, 40 og 32	3, 13, 207 og 244
Relevans:	Artiklen sammenligner militære byggeprojekter med hhv. tidligt og sent udbud ved forskellige KPIs. Fundet inspiration til udvælgelse af KPIs.				
(8)	Shamas-ur-Rehman Toor og Stephen O. Ogunlana. <i>Beyond the 'iron triangle': Stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects</i> . International Journal of Project Management, 2010.				
	Scopus	✓	139	25 og 98	566 og 1524
Relevans:	Artiklen undersøger opfattelsen af KPIs i store byggeprojekter i Thailand ved hjælp af spørgeskemaer, der blev sendt ud til forskellige projektledere for at høre deres holdning om vigtigheden af 9 forskellige KPIs. De finder, at kvantitative præstationsmål med fordel skal mikses med kvalitative præstationsmål. Fundet inspiration til bestemmelse af CSF'er og metode til validering af resultater.				
(9)	John F. Y. Yeung, Albert P. C. Chan og Daniel W. M. Chan. <i>A computerized model for measuring and benchmarking the partnering performance of construction projects</i> . Automation in Construction, 2009.				
	Scopus	✓	20	29, 302 og 86	637, 3043 og 1757
Relevans:	Artiklen tager udgangspunkt i 25 præstationsmål udvalgt ved litteraturstudie, som eksperter bliver bedt om at rangere med henblik på at udvælge de syv "bedste" KPIs til at måle, overvåge, forbedre og benchmarke partnering-præstationer af byggeprojekter i Hong Kong. Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs.				
(10)	John F. Y. Yeung, Albert P. C. Chan og Daniel W. M. Chan. <i>Developing a Performance Index for Relationship-Based Construction Projects in Australia: Delphi Study</i> . Journal of Management in Engineering, 2009.				
	Scopus	✓	41	29, 302 og 86	637, 3043 og 1757
Relevans:	Artiklen udfører et empirisk studie ved Delphi-Surveys til at formulere en model til undersøgelse af succes af relationsbaserede byggeprojekter. Tager udgangspunkt i de samme 25 præstationsmål som (9). Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs og inspiration til valg af metode til sammenligning af internationale projekter.				

Tabel A.7: Kort beskrivelse af anvendte artikler fundet ved litteraturstudiet. "()" angiver, hvor tal i de andre databaser er fundet på Scopus.

	Database	Peer-reviewed	Cited by	Forfatter(er)s antal publiceringer	Forfatter(er)s totale 'Cited by'
(11)	John F. Y. Yeung, Abert P. C. Chan og Daniel W. M. Chan. <i>Establishing quantitative indicators for measuring the partnering performance of construction projects in Hong Kong</i> . Construction Management and Economics, 2008.				
	Scopus	✓	38	29, 302 og 86	637, 3043 og 1757
Relevans:	Denne artikel anvender et <i>Partnering Performance Index</i> til at måle præstationen af partnering-projekter i Hong Kong. Artiklen opstiller både kvantitative indikatorer og kvalitative rangeringer for hver KPI. Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs og inspirerende til valg af analysemetode.				
(12)	John F. Y. Yeung, Abert P. C. Chan, Daniel W. M. Chan og Leong Kwan Li. <i>Development of a partnering performance index (PPI) for construction projects in Hong Kong: a Delphi study</i> . Construction Management and Economics, 2007.				
	Scopus	✓	88	29, 302, 86 og 26	637, 3043, 1757 og 481
Relevans:	Artiklen anvender Delphi Survey teknik til at udvikle en model til objektivt at kunne vurdere performance af partnering-projekter i Hong Kong. Tager udgangspunkt i de samme 25 præstationsmål som (9). Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs og inspiration til valg af metode til sammenligning af internationale projekter.				
(13)	Edmond W. M. Lam, Albert P. C. Chan og Daniel W. M. Chan. <i>Benchmarking the performance of design-build projects: Development of project success index</i> . Benchmarking: An International Journal, 2007.				
	Scopus	✓	23	18, 302 og 86	332, 3043 og 1757
Relevans:	Artiklen forsøger at udvikle et succes indeks for projekter til at benchmarke præstationer af projekter ud fra et antal KPIs. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er, KPIs og analysemetode.				
(14)	Hong Xiao og David Proverbs. <i>The performance of contractors in Japan, the UK and the USA: An evaluation of construction quality</i> . International Journal of Quality & Reliability Management, 2002.				
	Scopus	✓	34	5 og 139	111 og 1033
Relevans:	Artiklen forsøger ved hjælp af spørgeskemaer fra entreprenører i Japan, England og USA at sammenligne og evaluere entreprenørens præstation ift. kvalitet af arbejdet ud fra entreprenørernes egne erfaring (evaluering af et hypotetisk projekt). Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs.				
(15)	Angeliki Kylili, Paris A. Fokaides og Petra Amparo Lopez Jimenez. <i>Key Performance Indicators (KPIs) approach in buildings renovation for the sustainability of the built environment: A review</i> . Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016.				
	Scopus	✓	15	22, 62 og 56	276, 557 og 133
Relevans:	Artiklen anvender KPIs til at definere bæredygtigheden i forskellige konstruktioner og renoveringer. Fundet inspirerende til bestemmelse af KPIs.				

Tabel A.8: Kort beskrivelse af anvendte artikler fundet ved litteraturstudiet. "()" angiver, hvor tal i de andre databaser er fundet på Scopus.

	Database	Peer-reviewed	Cited by	Forfatter(er)s antal publiceringer	Forfatter(er)s totale 'Cited by'
(16)	Moataz Nabil Omar og Aminah Robinson Fayek. <i>Modeling and evaluating construction project competencies and their relationship to project performance</i> . Automation in Construction, 2016.				
	Scopus	✓	4	6 og 107	14 og 859
Relevans:	Anvender en ramme og metode til at definere og bedømme forholdet mellem projekt kompetencer og præstation ud fra forskellige KPIs. Anvender en matematisk metode til at behandle resultaterne baseret på målgruppens egen vægtning af vigtigheden af den enkelte KPI. Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs og analysemetode til behandling af resultater.				
(17)	Jiyong Choi, Sungmin Yun og Daniel P de Oliveira. <i>Developing a cost normalization framework for phase-based performance assessment of construction projects</i> . Canadian Journal of Civil Engineering, 2016.				
	Scopus	-	1	6, 15 og 3	17, 92 og 14
Relevans:	Opstiller en ramme til at sammenligne projekter, der er opført i forskellig tid på forskellig lokation med forskellig kurs, så der dannes samme "grundlag" for alle projekter. Fundet anvendelig til omregning af priser på de forskellige udenlandske og danske projekter (forklaret i afsnit 3.4.2 på side 44).				
(18)	Awad S. Hanna. <i>Benchmark Performance Metrics for Integrated Project Delivery</i> . Journal of Construction Engineering and Management, 2016.				
	Scopus	✓	1	116	963
Relevans:	Artiklen evaluerer præstationen af forskellige projekter med henblik på at evaluere forskellige projektafleverings-systemer. Hertil anvendes forskellige præstationsmålinger, der samlet set evalueres med en overordnet "rating", <i>Project Quarterback Rating</i> . Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er og KPIs samt analysemetode til behandling af resultaterne (afsnit 4.2.2 på side 60).				
(19)	Awad S. Hanna, Wafik Lotfallah, Diane G Aoun og Mounir Elasmr. <i>Mathematical Formulation of the Project Quarterback Rating: New Framework to Assess Construction Project Performance</i> . Journal of Construction Engineering and Management, 2014.				
	Scopus	✓	2	116, 24, 2 og 53	963, 117, 18 og 208
Relevans:	Artiklen giver en matematisk formulering på en overordnet præstation af et projekt, <i>Project Quarterback Rating</i> . Samme rating som nævnt i (18), i denne artikel tilføjes dog den matematiske formulering. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er og KPIs og den overordnede bedømmelse af projekterne.				
(20)	Mark Konchar og Victo Sanvido. <i>Comparison of US project delivery systems</i> . Journal of Construction Engineering and Management, 1998.				
	Web of Science	-	177	1 og 33	-
Relevans:	Sammenligning af byggeprojekter med forskellig udbudsform i USA vha. præstationsmålinger, der både anvendes og diskuteres i artiklen. Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs og inspirerende ift. resultatbehandling.				

Tabel A.9: Kort beskrivelse af anvendte artikler fundet ved litteraturstudiet. "()" angiver, hvor tal i de andre databaser er fundet på Scopus.

	Database	Peer-reviewed	Cited by	Forfatter(er)s antal publiceringer	Forfatter(er)s totale 'Cited by'
(21)	Albert P. C. Chan, David Scott og Ada P. L. Chan. <i>Factors affecting the success of a construction project</i> . Journal of Construction Engineering and Management, 2004.				
	Web of Science	✓	177	58, 10 og 2	(3043, 4164 og 536)
Relevans:	Formålet med denne artikel er at udvikle en konceptuel ramme for kritiske succesfaktorer. Fem hovedgrupper af uafhængige variabler identificeres som afgørende for projektsucces. Artiklen konkluderer, at nærmere undersøgelse af KPIs er nødvendig for at identificere årsagsforholdet mellem CSF'er og KPIs. Fundet inspirerende til bestemmelse af CSF'er.				
(22)	Robert F. Cox, Raja R. A. Issa og Dar Ahrens. <i>Management's perception of key performance indicators for construction</i> . Journal of Construction Engineering and Management, 2003.				
	Web of Science	✓	115	18, 68 og 10	(212, 1061 og 135)
Relevans:	Fokus i denne artikel er at indsamle ledelsens opfattelse af de vigtigste præstationsindikatorer, der anvendes i byggebranchen. Artiklen undersøger og analyserer fem forskellige hypoteser for anvendelsen af KPIs til bedømmelse af projekter i byggebranchen, og et resultat er bl.a. en rangering af mest vigtige KPIs ifølge ledelsen. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er og KPIs.				
(23)	Florence Yean Yng Ling. <i>Key determinants of performance of design-bid-build projects in Singapore</i> . Building Research & Information, 2004.				
	Web of Science	-	19	69	(1682)
Relevans:	Artiklen sammenligner projekter udført med en specifik udbudsform. Efter dataindsamling og analyse, identificeres nøglevariabler, som projektmedlemmer skal være opmærksomme på for at forbedre projektsucces. Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs.				
(24)	Mladen Radujković, Mladen Vukomanović og Ivana Burcar Dunović. <i>Application of key performance indicators in South-Eastern European construction</i> . Journal of Civil Engineering and Management, 2010.				
	Web of Science	✓	18	23, 25 og 4	(67, 57 og 33)
Relevans:	Formålet med artiklen er at definere et sæt almindeligt anvendte KPIs i byggebranchen, at anerkende niveauet for opfattelsen af præstationsstyring blandt byggeledere, og at observere opfattelsen blandt forskellige synspunkter. I artiklen rangeres 37 forskellige KPIs efter synspunkter fra investorer, entreprenører og rådgivere. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er og KPIs.				
(25)	John F. Y. Yeung, Albert P. C. Chan, Daniel W. M. Chan, Y. H. Chiang og Huan Yang. <i>Developing a Benchmarking Model for Construction Projects in Hong Kong</i> . Journal of Construction Engineering and Management, 2013.				
	Web of Science	✓	16	21, 254, 67, 33 og 3	(637, 3043, 1757, 897 og 67)
Relevans:	Denne artikel forsøger at inkorporere både <i>leading</i> og <i>lagging</i> KPIs og anvende pålidelighedsintervalmetode til at formulere en benchmarking-model til at vurdere projektsucces i Hong Kong. Resultatet afslører top 10 KPIs til evaluering af succes af byggeprojekter i Hong Kong. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er og metode til behandling af resultater.				

Tabel A.10: Kort beskrivelse af anvendte artikler fundet ved litteraturstudiet. "()" angiver, hvor tal i de andre databaser er fundet på Scopus.

	Database	Peer-reviewed	Cited by	Forfatter(er)s antal publiceringer	Forfatter(er)s totale 'Cited by'
(26)	Sungmin Yun, Jiyong Choi, Daniel P. de Oliveira og Stephen P. Mulva. <i>Development of performance metrics for phase-based capital project benchmarking</i> . International Journal of Project Management, 2016.				
	Web of Science	✓	7	5, 9, 6 og 11	(92, 17, 14 og 82)
Relevans:	Denne artikel præsenterer præstationsmålinger skræddersyet til fasebaseret benchmarking, der kan bruges som både <i>leading</i> og <i>lagging</i> indikatorer. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er og KPIs.				
(27)	Sang Park, Seung Han og Myung Chae. <i>Quantitative Performance Measurement for Construction R&D Projects</i> . KSCE Journal of Civil Engineering, 2013.				
	SpringerLink	-	1	(1, 86 og 21)	(1, 755 og 199)
Relevans:	Artiklen identificerer 40 præstationsmålings-indekser, der reflekterer karakteristika ved byggeprocessen i udviklingsprojekter. Indekserne er identificeret på baggrund af et litteraturstudie og ekspertviden. Fundet inspirerende til bestemmelse af KPIs og analysemetode.				
(28)	Ana Jiménez-Rivero og Justo García-Navarro. <i>Indicators to Measure the Management Performance of End-of-Life Gypsum: From Deconstruction to Production of Recycled Gypsum</i> . Waste and Biomass Valorization, 2016.				
	SpringerLink	-	6	11 og 26	(26 og 215)
Relevans:	Denne artikel fokuserer på <i>end-of-life-gypsum</i> (udtjent gips), et materiale passende til closed-loop genbrug/-anvendelse. Der måles på udtjent gips gennem præstationsindekser med det formål at fremme cirkulær økonomi. Fundet inspirerende ift. at det kan være cirkulært at anvende gips i byggeriet (godt ift. anvendelsen ved passiv brandsikring af træbyggeri).				
(29)	Mohsen Jahangirian, Simon J. Taylor, Terry Young og Stewart Robinson. <i>Key performance indicators for successful simulation projects</i> . Journal of the Operational Research Society, 2017.				
	SpringerLink	-	2	-	(319, 655, 1239
	Web of Science	-	1	10, 121, 66 og 91	og 1486)
Relevans:	Artiklen opstiller en top-down ramme til bestemmelse af KPIs, baseret på <i>Critical Success Factors</i> (CSFs) for den overordnede præstation af et projekt. Rammen testes ved ni simuleringsprojekter i sundhedsplejen, hvilket støtter op om troværdigheden af metoden. Fundet anvendelig som metode til bestemmelse af anvendte KPIs i denne undersøgelse (se afsnit 3.4.2).				
(30)	Pedro Ribeiro, Anabela Paiva, João Varajão og Carolin Dominguez. <i>Success Evaluation Factors in Construction Project Management - Some Evidence from Medium and Large Portuguese Companies</i> . KSCE Journal of Civil Engineering, 2013.				
	SpringerLink	-	9	(17, 23 146 og 25)	(44, 190, 247 og 44)
Relevans:	Denne artikel diskuterer succes-evalueringsfaktorer for byggeprojekter, som er bestemt ud fra litteraturstudie. Entreprenører i Portugal blev bedt om at rangere de vigtigste faktorer ift. evaluering af succes af et projekt. Forholdet mellem størrelse af virksomhed og de faktorer, der tages i betragtning, er også til diskussion i artiklen. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er og KPIs og inspirerende til bestemmelse af analysemetode.				

Tabel A.11: Kort beskrivelse af anvendte artikler fundet ved litteraturstudiet. "()" angiver, hvor tal i de andre databaser er fundet på Scopus.

	Database	Peer-reviewed	Cited by	Forfatter(er)s antal publiceringer	Forfatter(er)s totale 'Cited by'
(31)	Albert P.C. Chan og Ada P. L. Chan. <i>Key performance indicators for measuring construction success</i> . Benchmarking: An International Journal, 2004.				
	Emerald ProQuest	✓	- 85	- 196 og 3	(3043 og 536)
Relevans:	Artiklen udvikler en ramme for måling af succes af byggeprojekter. Der anvendes et sæt KPIs, både objektive (kvantitative) og subjektive (kvalitative), som er bestemt gennem et litteraturstudie. Gyldigheden af de foreslåede KPIs testes på tre casestudier, hvorefter begrænsninger af KPI'erne diskuteres. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er og KPIs samt analysemetode.				
(32)	Jeff Rankin, Aminah Robinson Fayek, Gerry Meade, Carl Haas og Andr Manseau. <i>Initial metrics and pilot program results for measuring the performance of the Canadian construction industry</i> . Canadian Journal of Civil Engineering, 2008.				
	ProQuest	✓	6	56, 71, 7, 315 og 7	(230, 859, 38, 2206 og 143)
Relevans:	Undersøgelse af <i>Canadian Construction Innovation Council's</i> (CCIS) udvalgte præstationsmålinger til at identificere områder, der skulle forbedres, da Canada var ramt af negativ udvikling i produktiviteten i byggebranchen. I undersøgelsen udføres et pilotstudie, der bl.a. indikerer, at de anvendte målinger er rimeligt godt forstået i deres definition. Resultatet af undersøgelsen er et standard sæt af målinger og indsamlings- og rapporteringsmetoder til udførelsen af den canadiske byggebranche, der er nyttige som grundlag for et bredt benchmarking-program. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er, KPIs og inspirerende til resultatbehandling.				
(33)	Tatsiana Haponava og Saad Al-Jibouri. <i>Identifying key performance indicators for use in control of pre-project stage process in construction</i> . International Journal of Productivity and Performance Management, 2009.				
	Emerald	✓	(15)	(4 og 40)	(44 og 397)
Relevans:	Denne artikel præsenterer og diskuterer resultaterne af en pilotundersøgelse og interviews med formålet at identificere procesbaserede KPIs til anvendelse ved kontrol i pre-project stage. Fundet inspirerende til bestemmelse af KPIs.				
(34)	Adrien Presley og Laura Meade. <i>Benchmarking for sustainability: an application to the sustainable construction industry</i> . Benchmarking: An International Journal, 2010.				
	Emerald	✓	(26)	(35 og 24)	(943 og 1382)
Relevans:	Artiklen forsøger at præsentere en metode og ramme til at indarbejde bæredygtighedsforanstaltninger i byggevirksohmheders og entreprenørers benchmarking-indsats. Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs.				
(35)	Bon-Gang Hwang, Hui Fang Tan og Sowmya Sathish. <i>Capital project performance measurement and benchmarking in Singapore</i> . Engineering, Construction and Architectural Management, 2013.				
	ProQuest	✓	2	89, 542 og 6	(634, 6 og 6)
Relevans:	Formålet med denne artikel er at identificere implementeringsstatus for præstationsmålinger og benchmarking i byggebranchen i Singapore og give nogle forslag til at øge omfanget af implementeringen på disse to områder. Fundet anvendelig til bestemmelse af CSF'er og KPIs.				

Tabel A.12: Kort beskrivelse af anvendte artikler fundet ved litteraturstudiet. "()" angiver, hvor tal i de andre databaser er fundet på Scopus.

	Database	Peer-reviewed	Cited by	Forfatter(er)s antal publiceringer	Forfatter(er)s totale 'Cited by'
(36)	Debby Willar. <i>Developing attributes for evaluating construction project-based performance</i> . The TQM Journal, 2017.				
	Emerald	✓	(0)	(6)	(22)
Relevans:	Denne artikel forsøger at udvikle attributter til evaluering af indonesiske entreprenørers projektbaserede præstationer med fokus på byggeprocessen - hvordan de leverer deres resultater og implementerer almindelige driftsprocedurer. Fundet inspirerende til bestemmelse af CSF'er og KPIs.				
(37)	Gholamreza Heravi og Mohammad Ilbeigi. <i>Development of a comprehensive model for construction project success evaluation by contractors</i> . Engineering, Construction and Architectural Management, 2012.				
	Emerald	✓	(7)	(30 og 13)	(116 og 16)
Relevans:	Denne artikel udvikler en omfattende kvantitativ model til evaluering af projektsucces set fra entreprenørvirksomhedens synspunkt. Fundet anvendelig til bestemmelse af KPIs og analysemetode.				

B

Key Performance Indicators

Nedenfor ses anvendte KPIs, angivet i den rækkefølge de fremkommer i tabel 4.2 på side 54.

Tabel B.1: Anvendte KPIs til bedømmelse af projekt præstationer.

CSF	KPI	
Pris	Tilvækst i pris	$= \frac{\text{Endelig pris for opførelse af projekt} - \text{kontrakt pris}}{\text{kontrakt pris}}$
	Overordnet for projekt	$= \frac{\text{Endelige pris for projekt}}{\text{Bruttoareal}}$
	Opførelse af projekt	$= \frac{\text{Endelige pris for opførelse}}{\text{Bruttoareal}}$
	Pris for projektering	$= \frac{\text{Endelige pris for design}}{\text{Bruttoareal}}$
	Estimeret vedligehold	$= \frac{\text{Beløb afsat til vedligehold pr. år}}{\text{Bruttoareal}}$
	Estimeret nedrivning	$= \frac{\text{Est. pris for nedrivning}}{\text{Bruttoareal}}$
	Pris for råhus	$= \frac{\text{Pris for råhus}}{\text{Bruttoareal}}$
	Omsætningshastighed	$= \frac{\text{Endelig pris for opførelse af projekt}}{\text{Totale byggetid}}$
Tid	Tilvækst i tid	$= \frac{\text{Endelige varighed af opførelse} - \text{Planlagte varighed af opførelse}}{\text{Planlagte varighed af opførelse}}$
	Projekt produktivitet	$= \frac{\text{Bruttoareal}}{\text{Endelige varighed af projekt}}$
	Byggeintensitet	$= \frac{\text{Bruttoareal}}{\text{Totale byggetid}}$
Kvalitet	Tilfredshed af kvalitet	: Likert scale, 1(meget utilfreds)-7(meget tilfreds)
Tilfredshed	Bygherre	: Likert scale, 1(meget utilfreds)-7(meget tilfreds)
	Interessent*	: Likert scale, 1(meget utilfreds)-7(meget tilfreds)
Sikkerhed	Ulykkesrate	$= \frac{\text{Totalt antal rapporterede uheld**}}{\text{Total antal arbejdere}}$
Miljøvenlighed	Forurening	$= \frac{\text{CO}_2\text{-mængde til råhusmaterialer***}}{\text{Bruttoareal}}$
Energiklasse	Energiforbrug	$= \frac{\text{Teoretisk energiforbrug i driftstilstand}}{\text{Bruttoareal}}$
*Interessent er den bygherre, entreprenør, arkitekt eller lign., som kontaktes i forbindelse med undersøgelsen. **Totalt antal rapporterede uheld, der har resulteret i minimum én dags fravær. ***Dette beregnes ud fra antal kubikmeter anvendt beton eller træ multipliceret med mængden af CO₂, der går på produktion af en kubikmeter af materialet.		

C

Spørgeskemaer og standardiseret interview

I dette appendiks findes de to udarbejdede spørgeskemaer og det standardiserede interview i rækkefølgen

1. Spørgeskema til udenlandske træprojekter.
2. Spørgeskema til danske entreprenører.
3. Standardiseret interview (spørgeskema) til udenlandske træprojekter

Spørgeskemaer og det standardiserede interview er vedlagt fra efterfølgende side.

Questionnaire

Below is listed the information we would like to receive about your project. The information will be used to an overall evaluation of the performance of the project, and ultimately compare the performance with the performance of traditional Danish concrete multistore buildings.

Please read the descriptions and desired units carefully, before filling in the information. If you have any doubt about the information we seek, please contact us. Our contact information is found at the bottom of page 2. In case you miss some information to fill in a certain question, we would very much appreciate if you could refer to someone who might have the information we seek.

In advance, thank you for taking your time to fill in this questionnaire.

♦ Project characteristics

What year and month was the building finished in: [Click here to enter text.](#)

Contract form (e.g. turnkey, main, or trade): [Click here to enter text.](#)

Gross floor area of the building: [Click here to enter text.](#) [m²]

Life expectancy of the building (E.g. in Denmark we often design our buildings to withstand the loads [wind, snow, etc.] that occur every fifty years, hence the answer would be 50 years):

[Click here to enter text.](#) [years]

Level of design complexity (according to your perception): [Choose an item.](#)

Level of construction complexity (according to your perception): [Choose an item.](#)

Total estimated number of workers assigned to the construction of the building (excluding managers):

[Click here to enter text.](#)

Type of foundation (pile, raft/mat, strip, pad), and material: [Click here to enter text.](#)

Volume of wood used in the carcass (beams, columns, slabs, and exterior walls):

[Click here to enter text.](#) [m³]

If concrete is used in the carcass, where is it used (e.g. in foundation, elevator shafts, or as cover on slabs): [Click here to enter text.](#)

Volume of concrete used in carcass: [Click here to enter text.](#) [m³]

♦ Project costs

Please specify the currency you will answer the questions in: [Click here to enter text.](#)

Final (actual) project cost (excl. cost of property, and any demolition of previous buildings on the property): [Click here to enter text.](#)

Final (actual) design cost (architect, engineer): [Click here to enter text.](#)

Final (actual) construction cost (total costs related to the construction of the building, incl. costs associated with the foundation): [Click here to enter text.](#)

Costs of carcass (materials, supplies, mounting): [Click here to enter text.](#)

Original contracted construction cost (including costs associated with the foundation): [Click here to enter text.](#)

Original contracted design cost (architect, engineer): [Click here to enter text.](#)

Estimated annual maintenance cost of the building: [Click here to enter text.](#) [per year]

Estimated cost of demolition/disassembling of building: [Click here to enter text.](#)

♦ Schedule

If some of the questions here are too time consuming to answer, you are welcome to attach a schedule of the project from where we can derive the information ourselves.

Final (actual) duration of the project (from the very start (planning) to hand-over): [Click here to enter text.](#) [days]
or start date: [Click here to enter a date.](#) and end date: [Click here to enter a date.](#)

Final (actual) duration of design: [Click here to enter text.](#) [days]
or start date: [Click here to enter a date.](#) and end date: [Click here to enter a date.](#)

Final (actual) duration of construction: [Click here to enter text.](#) [days]
or start date: [Click here to enter a date.](#) and end date: [Click here to enter a date.](#)

Original planned duration of design: [Click here to enter text.](#) [days]
or start date: [Click here to enter a date.](#) and end date: [Click here to enter a date.](#)

Original planned duration of construction: [Click here to enter text.](#) [days]
or start date: [Click here to enter a date.](#) and end date: [Click here to enter a date.](#)

♦ Quality

How satisfied was the client with the quality of the building? [Click here for options](#)

If the client has answered or commented on the question above in another way or scale, please specify: [Click here to enter text.](#)

♦ Satisfaction

Overall project satisfaction of the client: [Click here for options](#)

If the client has answered or commented on the question above in another way or scale, please specify: [Click here to enter text.](#)

Your overall satisfaction of the project? [Click here for options](#)

Any comments on why? [Click here to enter text.](#)

♦ Safety

Total registered accidents during construction, resulting in minimum one day of absent: [Click here to enter text.](#)

♦ Energy frame

If any, what energy certification does the building have: [Click here to enter text.](#)

Estimated energy use per square meter: [Click here to enter text.](#) [kW/m²]

♦ Environmental performance

If any, what environmental certification does the building have: [Click here to enter text.](#)

Thank you for your collaboration.

Contact information:

♦ Stine Lønbro Bertelsen
slbe13@student.aau.dk
+45 2857 8079

♦ Simon Jan Larsen
sjla13@student.aau.dk
+45 2830 6999



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Spørgeskema

Nedenfor er listet den information vi ønsker at modtage fra jer om jeres projekt(er). Såfremt I ønsker at bidrage med information fra flere projekter, gør venligst dette i separate dokumenter (et dokument pr. projekt).

Alle projekter skal være udført som **totalentrepriser**, således vi har mulighed for at kontakte jer i tilfælde af tvivl omkring den indtastede information. Ydermere skal byggerierne kunne klassificeres som **fleretagers betonbyggeri** og må ikke være erhvervsbyggerier (kontorbygninger er dog tilladt).

Al information skal indgå i en samlet statistik, hvor projekterne vil blive benævnt i lighed med ”projekt A”, ”projekt B” osv. – dermed er projekterne- og jeres virksomheds præstation anonym i undersøgelsen.

Læs venligst beskrivelserne og de angivende enheder grundigt, forinden I udfylder spørgsmålene. Såfremt der skulle opstå tvivl omkring spørgsmålene, kontakt os da venligst. Vores kontaktinformationer er i bunden af den sidste side i spørgeskemaet.

Såfremt I mangler information til at kunne udfylde spørgeskemaet, vil vi værdsætte, hvis I vil referere os til en virksomhed eller person, som har denne information.

På forhånd, tak fordi I tog jer tid til at udfylde spørgeskemaet.

♦ Projekt karakteristika

Hvilket år og måned blev byggeriet færdiggjort: [Klik her for at besvare](#)

Bygningens beliggenhed/adresse: [Klik her for at besvare](#)

Bygningens funktion/anvendelse (F.eks. boliger, kontorer, blanding etc.): [Klik her for at besvare](#)

Konstruktionstype (F.eks. søjle/bjælke, skive, in-situ, præfabrikeret etc.): [Klik her for at besvare](#)

Bygningens bruttoareal: [Klik her for at besvare](#) [m²]

Antal etager: [Klik her for at besvare](#)

Bygningens forventede levetid (Det antal år som bygningen er dimensioneret til at holde): [Klik her for at besvare](#) [år]

Angiv (ud fra din opfattelse) kompleksiteten af projekteringen (arkitektonisk og ingeniørmæssigt): [Klik her for valgmuligheder](#)

Angiv (ud fra din opfattelse) kompleksiteten af udførelsen: [Klik her for valgmuligheder](#)

Estimeret total antal arbejdere på projektet (eksklusiv projekt-/entrepriseledere): [Klik her for at besvare](#)

Funderingsmetode (pæle, stribe, direkte etc.) og materiale anvendt til fundering: [Klik her for at besvare](#)

Volumen af træ brugt til råhuset (bjælker, søjler, dæk, bærende vægge):
[Klik her for at besvare](#) [m³]

Volumen af beton brugt til råhuset (bjælker, søjler, dæk, bærende vægge): [Klik her for at besvare](#) [m³]

Leverandører anvendt til beton, og hvorfra er dette leveret: [Klik her for at besvare](#)

♦ Projekt omkostninger

Alle omkostninger/priser skal angives i DKK ekskl. moms.

Endelige (faktiske) pris for projektet (ekskl. erhvervelse af byggegrunden og nedrivning af eksisterende bygninger på grunden): [Klik her for at besvare](#)

Endelige (faktiske) pris til projektering (arkitekt, ingeniør): [Klik her for at besvare](#)

Endelige (faktiske) pris for bygningen (totale pris for opførelsen af bygningen inkl. omkostninger forbundet med fundering) :[Klik her for at besvare](#)

Råhus prisen (materialer, levering og montering): [Klik her for at besvare](#)

Oprindelige kontraherede pris for bygningen (inkl. omkostninger forbundet med fundering):[Klik her for at besvare](#)

Oprindelige kontraherede pris for projektering (arkitekt, ingeniør): [Klik her for at besvare](#)

Estimeret årlige omkostninger til vedligehold af bygningen: [Klik her for at besvare](#) [pr. år]

Estimeret omkostninger til nedrivning/demontering af bygningen: [Klik her for at besvare](#)

♦ Tid

Såfremt nedenstående spørgsmål, angående tid, er for tidskrævende at besvare, er I velkomne til at vedlægge et tidsskema fra projektet, hvorfra vi selv kan udlede informationerne. Det skal blot være muligt, at kunne skelne mellem faktiske- og planlagte varigheder.

Endelige (faktiske) varighed af projektet (start planlægning til aflevering):[Klik her for at besvare](#) [dage]
eller start dato: [Klik her for at tilføje en dato](#) og slut dato: [Klik her for at tilføje en dato](#)

Endelige (faktiske) varighed af projekteringen: [Klik her for at besvare](#) [dage]
eller start dato: [Klik her for at tilføje en dato](#) og slut dato: [Klik her for at tilføje en dato](#)

Endelige (faktiske) varighed af opførelsen: [Klik her for at besvare](#) [dage]
eller start dato: [Klik her for at tilføje en dato](#) or slut dato: [Klik her for at tilføje en dato](#)

Oprindelige planlagte varighed af projekteringen: [Klik her for at besvare](#) [dage]
eller start dato: [Klik her for at tilføje en dato](#) og slut dato: [Klik her for at tilføje en dato](#)

Oprindelige planlagte varighed af opførelsen: [Klik her for at besvare](#) [dage]
eller start dato: [Klik her for at tilføje en dato](#) og slut dato: [Klik her for at tilføje en dato](#)

♦ Kvalitet

Hvor tilfreds var bygherre med kvaliteten af byggeriet? [Klik her for valgmuligheder](#)

Såfremt bygherre har besvaret eller kommenteret ovenstående spørgsmål på en anden måde eller skala, specificer venligst: [Klik her for at besvare](#)

♦ Tilfredshed

Hvor tilfreds var bygherre overordnet med projektet: [Klik her for valgmuligheder](#)

Såfremt bygherre har besvaret eller kommenteret ovenstående spørgsmål på en anden måde eller skala, specificer venligst: [Klik her for at besvare](#)

Din overordnede tilfredshed med projektet: [Klik her for valgmuligheder](#)

Nogle kommentar på hvorfor? [Klik her for at besvare](#)

♦ Sikkerhed

Antal registrerede uheld i løbet af opførelsen, som har resulteret i minimum en dags fravær: [Klik her for at besvare](#)

♦ Energiramme

Hvis nogen, hvilke(n) energicertificering(er)/klasse har bygningen: [Klik her for at besvare](#)

Estimeret energiforbrug per kvadratmeter: [Klik her for at besvare](#) [kWh/m²/år]

♦ Miljøvenlighed

Hvis nogen, hvilke(n) miljøcertificering(er) har bygningen: [Klik her for at besvare](#)

♦ Vægtning

Undersøgelsen indeholder en samlet score for projekterne, som vil blive beregnet på baggrund af ovenstående informationer. Du bedes prioritere kriterierne nedenfor med hensyn til, hvilke kriterier du mener er vigtigst ift. at kunne kalde et projekt succesfuldt. Du bedes prioritere fra 1 til 7, hvor 1 er højeste prioritet (mest vigtig), og 7 er laveste prioritet (mindst vigtig). Kriterierne skal angives med forskellig prioritet, og der må derfor ikke angives samme nummer ud fra kriterierne. Læs venligst beskrivelserne nedenfor kriterierne forinden du prioritere, da disse angiver hvad kriterierne indebærer.

Pris [Klik her for angive prioritering](#)

Priskriteriet omfatter: kvadratmeterpris, forskel på planlagte og faktiske priser,

Tid [Klik her for angive prioritering](#)

Tidskriteriet dækker over: intensiteten af projektet (m²/tid), forskel på planlagte- og faktiske varigheder,

Kvalitet [Klik her for angive prioritering](#)

Kvalitetskriteriet omfatter: bygherres tilfredshed med kvaliteten.

Tilfredshed [Klik her for angive prioritering](#)

Tilfredsheds-kriteriet omfatter: bygherres tilfredshed med projektet.

Sikkerhed [Klik her for angive prioritering](#)

Sikkerhedskriteriet omfatter: antal ulykker ift. antal arbejdere involveret i byggeriet.

Energiforbrug [Klik her for angive prioritering](#)

Energiforbrugskriteriet omfatter: antal kWh pr. m² pr. år.

Miljøvenlighed [Klik her for angive prioritering](#)

Miljøvenlighedskriteriet omfatter: (CO₂/m²)

Tak for jeres samarbejde.

Kontaktinformation:

♦ Stine Lønbro Bertelsen
slbe13@student.aau.dk
+45 2857 8079

♦ Simon Jan Larsen
sjla13@student.aau.dk
+45 2830 6999



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Interview questions

The purpose of this interview is to put some words and experience on some of the parameters we previously asked for. All the questions below are asked to investigate wood as a building material, where we want to investigate any differences or special conditions related to your project, compared to a concrete building. We would like if you could elaborate any differences based on your personal experience with concrete constructions (mentioned as “normal” in the questions).

Design

- 1) Has there been any challenges with the design of the building? (did it take longer time to design and come up with solutions, difference in price etc.) [Click here to enter text.](#)
- 2) Has resale and recycling of the materials after end-of-life of the building been given any thoughts during design? [Click here to enter text.](#)
 - If yes, which materials/parts? [Click here to enter text.](#)
- 3) Have any recycled or reused materials been used in the project? [Click here to enter text.](#)

Fire safety

- 1) Has there been any complications related to getting the fire permit for the building? [Click here to enter text.](#)
- 2) Has the building's fire safety caused any complications during construction? [Click here to enter text.](#)

Construction

- 1) We can read that construction is faster when building in wood - seen from a construction-point of view, what is this caused by based on your personal experience? [Click here to enter text.](#)
- 2) Has there been any essential complications during construction, related to the material (wood)? [Click here to enter text.](#)
- 3) Has the amount of waste during construction been different compared to “normal”? [Click here to enter text.](#)
 - Yes/No, why is that? [Click here to enter text.](#)
- 4) Regarding health and safety on the construction site, has there been any advantages and/or disadvantages when constructing in wood instead of concrete? (e.g. noise, dust etc.) [Click here to enter text.](#)
- 5) Would you say that there has been more defects than “normal” before hand-over? [Click here to enter text.](#)
 - If yes, do the defects have any common characteristics? [Click here to enter text.](#)

Personal experience

- 1) Would you evaluate wood as a competitive replacement to concrete in multi-storey buildings in the future? [Click here to enter text.](#)
 - Which advantages/disadvantages of the material do you base your answer on? [Click here to enter text.](#)
 - Would you recommend developers to choose wood instead of concrete in the future? [Click here to enter text.](#)

D

Parameterundersøgelse

Da træprojekterne, med undtagelse af den direkte sammeligning med Moholt 50|50 og gennemsnittet af betonprojekterne, har opnået en bedre PSM, både vægtet og uvægtet, end gennemsnittet af betonprojekterne (kapitel 6), undersøges det i dette appendiks, hvor stor en betydning den valgte metode til vægtning af CSF'erne har på resultatet af den kvantitative analyse. Dette gøres ved i alt tre parameterundersøgelser. Den første undersøger hvorledes resultatet af denne undersøgelse ville være, såfremt kun de traditionelle CSFs (pris, tid og kvalitet) fra jerntrekanten indgik i undersøgelsen. Den næste undersøgelse har til formål at undersøge, hvilken indflydelse det ville have, hvis der var valgt kun at fokusere på de højest prioriterede CSF'er, ved at gradvist fjerne de lavest vægtede CSF'er fra undersøgelsen, for at se hvorledes dette påvirker resultat. Den sidste undersøgelse har til formål at undersøge, hvor stor en indflydelse de enkelte CSF'er har på resultatet af den kvantitative analyse. Dette gøres ved at fjerne CSF'erne enkeltvis fra undersøgelsen. Der laves delkonklusioner for hver af parameterundersøgelserne undervejs, og der laves en samlet konklusion til sidst i dette kapitel.

Det oprindelige resultat af den kvantitative analyse er vist nedenfor i tabel D.1, og det er ændringerne ift. disse resultater, der vil blive undersøgt og diskuteret igennem parameterundersøgelserne.

Tabel D.1: Oprindelige resultat af den kvantitative analyse i kapitel 6.

Sammenligning nr.	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi-klasse	Miljø-venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,18	0,14	0,20	0,19	0,18	0,07	0,04	1	
Ingen vægtning	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14		1
1 Brock Commons	0,33	0,67	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,76	0,71
Betonprojekter	0,67	0,33	0,92	0,94	0,00	1,00	0,00	0,60	0,55
2 Moholt 50 50	0,00	0,67	0,83	0,83	1,00	0,00	1,00	0,64	0,62
Betonprojekter	1,00	0,33	0,92	0,93	0,00	1,00	0,00	0,66	0,60
3 Treet	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,68	0,71
Betonprojekter	1,00	1,00	0,92	0,93	0,00	0,00	0,00	0,68	0,55
4 Brock Commons	0,60	0,56	1,00	1,00	1,00	0,00	0,56	0,77	0,67
Moholt 50 50	0,73	0,70	0,83	0,83	0,73	0,59	1,00	0,77	0,77
Treet	0,00	0,18	1,00	1,00	1,00	1,00	0,71	0,69	0,70
Betonprojekter	1,00	0,52	0,92	0,93	0,00	0,74	0,00	0,66	0,59

D.1 PSM beregnet ud fra jerntrekanten

I denne parameterundersøgelse, undersøges det, om, og i hvilken grad det oprindelige resultat fra den kvantitative analyse vil ændre sig, såfremt kun CSF'erne pris, tid og kvalitet indgik i undersøgelse. Disse CSF'er udgør den traditionelle jerntrekant, hvis store udbredelse mht. at beskrive byggeprojekter, gør det interessant, at undersøge hvorledes resultatet her afviger fra det oprindelige. Det forventes dog at resultatet vil ændre sig væsentligt, da fire ud af de syv CSF'er, der indgik i beregningen af det oprindelige resultat, fjernes.

Tabel D.2: PSM beregnet ud fra CSF'erne pris, tid og kvalitet (jerntrekanten).

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,34	0,27	0,39	-	-	-	-	1	
Ingen vægtning	0,33	0,33	0,33	-	-	-	-		1
Brock Commons	0,33	0,67	1,00	-	-	-	-	0,68	0,67
Betonprojekter	0,67	0,33	0,92	-	-	-	-	0,67	0,64
Moholt 50 50	0,00	0,67	0,83	-	-	-	-	0,50	0,50
Betonprojekter	1,00	0,33	0,92	-	-	-	-	0,79	0,75
Treet	0,00	0,00	1,00	-	-	-	-	0,39	0,33
Betonprojekter	1,00	1,00	0,92	-	-	-	-	0,97	0,97
Brock Commons	0,60	0,56	1,00	-	-	-	-	0,74	0,72
Moholt 50 50	0,73	0,70	0,83	-	-	-	-	0,76	0,75
Treet	0,00	0,18	1,00	-	-	-	-	0,43	0,39
Betonprojekter	1,00	0,52	0,92	-	-	-	-	0,84	0,81

Tabel D.3: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.2), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægt- et PSM	Oprindelig størst uvægt- et PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons	X	X	X	X	-1,3%	-5,6%	-18,8%	-81,3%
Betonprojekter					+3,3%	+16,4%		
Moholt 50 50				X	-3,1%	-9,7%	+200,0%	-800,0%
Betonprojekter	X	X	X		+3,0%	+16,7%		
Treet			X	X	-1,5%	-5,6%	-	-81,3%
Betonprojekter	X	X	X		+4,4%	+16,3%		
Brock Commons			X		-3,9%	+7,5%		
Moholt 50 50			X	X	-1,3%	-5,2%		
Treet					0,0%	0,0%		
Betonprojekter	X	X			+27,3%	+37,3%		

D.1.1 Delkonklusion

Ud af i alt 8 gange, hvor højest vægtede- og uvægtede PSM kan ændre sig i denne parameterundersøgelse, ændrer den sig 5 gange, alle til gunst for betonprojekterne. De procentmæssige stigninger i tabel D.2 viser, at denne sammenligning er til ugunst for både den vægtede- og uvægtede PSM for træprojekterne og til gunst for betonprojekterne i alle sammenligninger. En sammenligning baseret på de traditionelle CSFs hhv. pris, tid og kvalitet, giver altså et markant anderledes resultat end det oprindelige resultat i den kvantitative analyse.

D.2 PSM ved forskelligt antal betydende parametre

I denne parameterundersøgelse, undersøges det, hvordan resultatet ændrer sig, ved gradvist at fjerne de mindst prioriterede CSFs fra den kvantitative analyse. Dette undersøges, for at teste hvordan en alternativ beregningsmetode vil påvirke resultatet, hvor hver af nedenstående repræsenter en alternativ beregningsmetode, hvor resultatet f.eks. ved 6 ud af de 7 højest prioriterede CSFs repræsenter en beregningsmetode, hvor den mindst vigtige CSF er forkastet fra undersøgelsen osv.. Det forventes overordnet, at ændringerne bliver større, dets flere CSFs der fjernes fra undersøgelsen, medmindre projekterne opnår 1,0 (maks.) i de højest prioriterede CSFs, hvorved der ingen ændring vil ske for det enkelte projekt.

Resultat m. 6/7 højest prioriterede CSF'er

Tabel D.4: PSM beregnet ud fra de seks højest prioriterede CSFs.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,19	0,15	0,21	0,19	0,19	0,08	-	1	
Ingen vægtning	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	-		1
Brock Commons	0,33	0,67	1,00	1,00	1,00	0,00	-	0,75	0,67
Betonprojekter	0,67	0,33	0,92	0,94	0,00	1,00	-	0,62	0,64
Moholt 50 50	0,00	0,67	0,83	0,83	1,00	0,00	-	0,62	0,56
Betonprojekter	1,00	0,33	0,92	0,93	0,00	1,00	-	0,68	0,70
Treet	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,67	0,67
Betonprojekter	1,00	1,00	0,92	0,93	0,00	0,00	-	0,71	0,64
Brock Commons	0,60	0,56	1,00	1,00	1,00	0,00	-	0,78	0,69
Moholt 50 50	0,73	0,70	0,83	0,83	0,73	0,59	-	0,76	0,73
Treet	0,00	0,18	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,69	0,70
Betonprojekter	1,00	0,52	0,92	0,93	0,00	0,74	-	0,69	0,68

Tabel D.5: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.4), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægt- et PSM	Oprindelig størst uvægt- et PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons	X	X	X	X	-1,3%	-5,6%	-18,8%	-81,3%
Betonprojekter					+3,3%	+16,4%		
Moholt 50 50				X	-3,1%	-9,7%	+200,0%	-800,0%
Betonprojekter	X	X	X		+3,0%	+16,7%		
Treet		X	X	X	-1,5%	-5,6%		
Betonprojekter	X		X		+4,4%	+16,3%	-	-81,3%
Brock Commons	X		X		+1,3%	+3,0%		
Moholt 50 50		X	X	X	-1,3%	-5,2%		
Treet					0,0%	0,0%		
Betonprojekter					+4,5%	+15,3%		

Resultat m. 5/7 højest prioriterede CSF'er

Tabel D.6: PSM beregnet ud fra de fem højest prioriterede CSFs.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,20	0,16	0,23	0,21	0,20	-	-	1	
Ingen vægtning	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	-	-		1
Brock Commons	0,33	0,67	1,00	1,00	1,00	-	-	0,81	0,80
Betonprojekter	0,67	0,33	0,92	0,94	0,00	-	-	0,59	0,57
Moholt 50 50	0,00	0,67	0,83	0,83	1,00	-	-	0,67	0,67
Betonprojekter	1,00	0,33	0,92	0,93	0,00	-	-	0,66	0,64
Treet	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	-	-	0,64	0,60
Betonprojekter	1,00	1,00	0,92	0,93	0,00	-	-	0,76	0,77
Brock Commons	0,60	0,56	1,00	1,00	1,00	-	-	0,85	0,83
Moholt 50 50	0,73	0,70	0,83	0,83	0,73	-	-	0,77	0,76
Treet	0,00	0,18	1,00	1,00	1,00	-	-	0,67	0,64
Betonprojekter	1,00	0,52	0,92	0,93	0,00	-	-	0,69	0,67

Tabel D.7: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.6), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægt- et PSM	Oprindelig størst uvægt- et PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons	X	X	X	X	+6,6%	+12,7%	+37,5%	+43,7%
Betonprojekter					-1,7%	+3,6%		
Moholt 50 50	X	X		X	+4,7%	+8,1%	-150,0%	+50,0%
Betonprojekter			X		0,0%	+6,7%		
Treet			X	X	-5,9%	-15,5%		
Betonprojekter	X	X	X		+11,8%	+40,0%	-	-206,3%
Brock Commons	X	X	X		+10,4%	+23,9%		
Moholt 50 50			X	X	0,0%	-1,3%		
Treet					-2,9%	-8,6%		
Betonprojekter					+4,5%	+13,6%		

Resultat m. 4/7 højest prioriterede CSF'er

Tabel D.8: PSM beregnet ud fra de fire højest prioriterede CSFs.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,24	-	0,27	0,25	0,24	-	-	1	
Ingen vægtning	0,25	-	0,25	0,25	0,25	-	-		1
Brock Commons	0,33	-	1,00	1,00	1,00	-	-	0,84	0,83
Betonprojekter	0,67	-	0,92	0,94	0,00	-	-	0,64	0,63
Moholt 50 50	0,00	-	0,83	0,83	1,00	-	-	0,67	0,67
Betonprojekter	1,00	-	0,92	0,93	0,00	-	-	0,72	0,71
Treet	0,00	-	1,00	1,00	1,00	-	-	0,76	0,75
Betonprojekter	1,00	-	0,92	0,93	0,00	-	-	0,72	0,71
Brock Commons	0,60	-	1,00	1,00	1,00	-	-	0,90	0,90
Moholt 50 50	0,73	-	0,83	0,83	0,73	-	-	0,78	0,78
Treet	0,00	-	1,00	1,00	1,00	-	-	0,76	0,75
Betonprojekter	1,00	-	0,92	0,93	0,00	-	-	0,72	0,71

Tabel D.9: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.8), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægtet PSM	Oprindelig størst uvægtet PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons Betonprojekter	X	X	X	X	+10,5% +6,7%	+16,9% +14,5%	+25,0%	+25,0%
Moholt 50 50 Betonprojekter	X	X	X	X	+4,7% +9,1%	+8,1% +18,3%	+150,0%	-300,0%
Treet Betonprojekter	X	X	X	X	+11,8% +5,9%	+5,6% +29,1%	-	-75,0%
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	X	X	X X	X	+16,9% +1,3% +10,1% +9,1%	+34,3% +1,3% +7,1% +20,3%		

Resultat m. 3/7 højest prioriterede CSF'er

Tabel D.10: PSM beregnet ud fra de tre højest prioriterede CSFs. Her med pris medtaget fremfor sikkerhed, da de oprindeligt var prioriteret ens.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi-klasse	Miljø-venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,32	-	0,35	0,33	-	-	-	1	
Ingen vægtning	0,33	-	0,33	0,33	-	-	-		1
Brock Commons Betonprojekter	0,33 0,67	- -	1,00 0,92	1,00 0,94	- -	- -	- -	0,79 0,85	0,78 0,84
Moholt 50 50 Betonprojekter	0,00 1,00	- -	0,83 0,92	0,83 0,93	- -	- -	- -	0,57 0,95	0,56 0,95
Treet Betonprojekter	0,00 1,00	- -	1,00 0,92	1,00 0,93	- -	- -	- -	0,68 0,95	0,67 0,95
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	0,60 0,73 0,00 1,00	- - - -	1,00 0,83 1,00 0,92	1,00 0,83 1,00 0,93	- - - -	- - - -	- - - -	0,87 0,80 0,68 0,95	0,87 0,80 0,67 0,95

Tabel D.11: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.10), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægtet PSM	Oprindelig størst uvægtet PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons Betonprojekter	X	X	X	X	+3,9% +41,7%	+9,6% +52,7%	-137,5%	-137,5%
Moholt 50 50 Betonprojekter	X	X	X	X	-10,9% +43,9%	-9,7% +58,3%	+1.800,0%	-2.050,0%
Treet Betonprojekter	X	X	X	X	0,0% +39,7%	-5,6% +72,7%	-	-275,0%
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter			X X	X	+13,0% +3,9% -1,4% +43,9%	+29,9% +3,9% -4,3% +61,0%		

Tabel D.12: PSM beregnet ud fra de tre højest prioriterede CSFs. Her med sikkerhed fremfor pris, da de oprindeligt var prioriteret ens.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	-	-	0,35	0,33	0,32	-	-	1	
Ingen vægtning	-	-	0,33	0,33	0,33	-	-		1
Brock Commons	-	-	1,00	1,00	1,00	-	-	1,00	1,00
Betonprojekter	-	-	0,92	0,94	0,00	-	-	0,63	0,62
Moholt 50 50	-	-	0,83	0,83	1,00	-	-	0,89	0,89
Betonprojekter	-	-	0,92	0,93	0,00	-	-	0,63	0,62
Treet	-	-	1,00	1,00	1,00	-	-	1,00	1,00
Betonprojekter	-	-	0,92	0,93	0,00	-	-	0,63	0,62
Brock Commons	-	-	1,00	1,00	1,00	-	-	1,00	1,00
Moholt 50 50	-	-	0,83	0,83	0,73	-	-	0,80	0,80
Treet	-	-	1,00	1,00	1,00	-	-	1,00	1,00
Betonprojekter	-	-	0,92	0,93	0,00	-	-	0,63	0,62

Tabel D.13: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.12), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægt- et PSM	Oprindelig størst uvægt- et PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons	X	X	X	X	+31,6%	+40,8%	+131,3%	+137,5%
Betonprojekter					+5,0%	+12,7%		
Moholt 50 50	X	X		X	+30,1%	+43,5%	-1.400,0%	+1.250,0%
Betonprojekter			X		-4,5%	+3,3%		
Treet	X	X	X	X	+47,1%	+40,8%	-	+137,5%
Betonprojekter			X		-7,4%	+12,7%		
Brock Commons	X	X	X		+29,9%	+49,3%		
Moholt 50 50			X	X	+3,9%	+3,9%		
Treet	X	X			+44,9%	+42,9%		
Betonprojekter					-4,5%	+5,1%		

Resultat m. 2/7 højest prioriterede CSF'er

Tabel D.14: PSM beregnet ud fra de to højest prioriterede CSFs.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	-	-	0,52	0,48	-	-	-	1	
Ingen vægtning	-	-	0,50	0,50	-	-	-		1
Brock Commons	-	-	1,00	1,00	-	-	-	1,00	1,00
Betonprojekter	-	-	0,92	0,94	-	-	-	0,93	0,93
Moholt 50 50	-	-	0,83	0,83	-	-	-	0,83	0,83
Betonprojekter	-	-	0,92	0,93	-	-	-	0,92	0,92
Treet	-	-	1,00	1,00	-	-	-	1,00	1,00
Betonprojekter	-	-	0,92	0,93	-	-	-	0,92	0,92
Brock Commons	-	-	1,00	1,00	-	-	-	1,00	1,00
Moholt 50 50	-	-	0,83	0,83	-	-	-	0,83	0,83
Treet	-	-	1,00	1,00	-	-	-	1,00	1,00
Betonprojekter	-	-	0,92	0,93	-	-	-	0,92	0,92

Tabel D.15: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.14), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægtet PSM	Oprindelig størst uvægtet PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons Betonprojekter	X	X	X	X	+31,6% +55,0%	+40,8% +69,1%	-56,3%	-56,3%
Moholt 50 50 Betonprojekter	X	X	X	X	+29,7% +39,4%	+33,9% +53,3%	+350,0%	-550,0%
Treet Betonprojekter	X	X	X	X	+47,1% +35,3%	+40,8% +67,3%	-	-50,0%
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	X X	X X	X X	X	+29,9% +7,8% +44,9% +39,4%	+49,3% +7,8% +42,9% +55,9%		

Resultat m. 1/7 højest prioriterede CSF'er

Tabel D.16: PSM beregnet ud fra den højest prioriterede CSF.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi-klasse	Miljø-venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	-	-	1,00	-	-	-	-	1	
Ingen vægtning	-	-	1,00	-	-	-	-		1
Brock Commons Betonprojekter	-	-	1,00 0,92	-	-	-	-	1,00 0,92	1,00 0,92
Moholt 50 50 Betonprojekter	-	-	0,83 0,92	-	-	-	-	0,83 0,92	0,83 0,92
Treet Betonprojekter	-	-	1,00 0,92	-	-	-	-	1,00 0,92	1,00 0,92
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	- - - -	- - - -	1,00 0,83 1,00 0,92	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	1,00 0,83 1,00 0,92	1,00 0,83 1,00 0,92

Tabel D.17: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.16), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægtet PSM	Oprindelig størst uvægtet PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons Betonprojekter	X	X	X	X	+31,6% +53,3%	+40,8% +67,3%	-50,0%	-50,0%
Moholt 50 50 Betonprojekter	X	X	X	X	+29,7% +39,4%	+33,9% +53,3%	+350,0%	-550,0%
Treet Betonprojekter	X	X	X	X	+47,1% +35,3%	+40,8% +67,3%	-	-50,0%
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	X X	X X	X X	X	+29,9% +7,8% +44,9% +39,4%	+49,3% +7,8% +42,9% +55,9%		

D.2.1 Delkonklusion

Ud af i alt 56 gange, hvor højeste vægtede- og uvægtede PSM kan ændre sig i denne parameterundersøgelse, ændrer den sig 31 gange, altså i over halvdelen af de mulige tilfælde. Heraf ændrer højest PSM fra betonprojekterne til et træprojekt 6 ud af 31 gange, fra træprojekt til betonprojekt 14 ud af 31 gange og fra et træprojekt til et andet træprojekt 11 ud af 31 gange. Hertil skal det bemærkes at oprindeligt havde træprojekterne højest PSM i 6 ud af 8 sammenligninger, hvorfor sandsynligheden for at et træprojekt kan gå fra at have den laveste PSM til højest sammenlignet med betonprojekterne er væsentlige lavere end for betonprojekterne, da træprojekterne maksimalt kan gå fra at have lavest PSM til højest 14 ud af 56 gange, hvor dette kan ske for betonprojekterne 42 ud af 56 gange. Derudover har Treet og betonprojekter i den oprindelige sammenligning opnået samme vægtede PSM, dvs. at enhver ændring resultatet, højest sandsynligt vil give en ændring i, hvilken der opnår den højeste PSM, hvilket i denne parameterundersøgelse sker i alle 7 ud af 7 mulige tilfælde. Heraf til gunst for Treet i 4 tilfælde og til gunst for betonprojekterne i 3 tilfælde. Dette gør sig også gældende for den oprindelige sammenligning mellem træprojekterne og betonprojekterne, hvor Brock Commons og Moholt 50|50 opnåede samme vægtede PSM, som ligeledes igennem parameterundersøgelsen ændrer sig i alle 7 ud af 7 mulige tilfælde, kun 1 gang til gunst for betonprojekterne.

Det vurderes dog, at 31 ud af 56 mulige gange at PSM kan ændre sig, er højt. Derfor konkluderes det, at såfremt en alternativ metode til beregning af PSM på baggrund af færre (vigtigste) CSF'er blev anvendt, ville det påvirke resultatet i stor grad. Om dette gør sig gældende for alle sammenligninger redegøres nærmere for nedenfor.

Med et snævert flertal, sker de fleste ændringer mht. højeste PSM ved den vægtede PSM, i alt 17 ud af de 31 tilfælde, bl.a. pga. at Treet og betonprojekterne, og Brock Commons og Moholt 50|50 opnåede samme vægtede PSM i deres oprindelige sammenligning. Af de 17 tilfælde ændrede den højest vægtede PSM fra betonprojekterne til et træprojekt 6 ud af 17 gange, fra træprojekt til betonprojekt 5 ud af 17 gange og fra et træprojekt til et andet træprojekt 6 ud af 17 gange.

Den højeste PSM for den uvægtede PSM, ændrer sig i 14 ud af de 31 tilfælde. Heraf ændrer højest uvægtede PSM fra betonprojekterne til et træprojekt 0 ud af 14 gange, fra træprojekt til betonprojekt 9 ud af 14 gange og fra et træprojekt til et andet træprojekt 5 ud af 14 gange.

Det konkluderes herved, at den alternative metode til at beregne PSM påvirker både resultaterne for vægtede- og uvægtede PSM i nogenlunde samme grad. Det bemærkes dog, at træprojekterne opnår lavere uvægtet PSM ca. dobbelt så mange gange, som ved vægtet PSM i denne parameterundersøgelse.

Kigges der på de individuelle sammenligninger (Brock Commons m. betonprojekterne, Moholt 50|50 m. betonprojekterne, Treet m. betonprojekterne og træprojekterne m. betonprojekterne) er resultaterne i sammenligningen mellem Brock Commons og betonprojekterne de mest robuste, da disse ændrer sig færrest gange, i alt 2 ud af de 31 tilfælde (2 ud af 14 mulige), hvor begge ændringer forekommer ved en betragtning af kun de tre vigtigste CSF'er m. pris fremfor sikkerhed (tabel D.10), begge til gunst for betonprojekterne. Herefter kommer sammenligningen mellem Moholt 50|50 og betonprojekter, hvor højest PSM ændrer sig til modparten i 7 ud af de 31 tilfælde (7 ud af 14 mulige), fem af gangene til gunst for betonprojekterne. Herefter efterfulgt af sammenligningen mellem Treet og betonprojekterne,

hvor højest PSM ændrer sig til modparten i 9 ud af de 31 tilfælde (9 ud af 14 mulige), hvoraf de 7 kom af, at Treet og betonprojekterne opnåede samme vægtede PSM i den oprindelige sammenligning. Ved sammenligningen mellem Treet og betonprojekterne var 5 ud af 9 ændringer til gunst for betonprojekterne. Til sidst haves sammenligningen mellem de tre træprojekter og betonprojekterne, hvor højest PSM ændrede sig i 13 ud af de 31 tilfælde (13 ud af 14 mulige), hvoraf de 7 kom af, at Brock Commons og Moholt 50|50 opnåede samme vægtede PSM i den oprindelige sammenligning. Dette kun til gunst for betonprojekterne 2 gange, begge ved en betragtning af kun de tre vigtigste CSF'er m. pris fremfor sikkerhed (tabel D.10).

Det ses at det overordnede resultat mht. om træprojekterne er bedre end betonprojekterne, er meget vedholdende både i sammenligningen mellem Brock Commons og betonprojekterne samt træprojekterne og betonprojekterne, igennem parameterundersøgelsen. Herved konkluderes det, at disse sammenligninger er mere robuste end sammenligningerne mellem Moholt 50|50 og betonprojekter samt Treet og betonprojekterne. Der kan endvidere argumenteres for, at resultaterne af de to mest robuste sammenligninger også er de mest valide, da sandsynligheden for at en anden undersøgergruppe, med samme data, vil komme frem til samme resultat her er større.

For at undersøge hvilke sammenligninger, der giver de største ændringer ift. det oprindelige resultat, granskes de procentmæssige stigninger. Generelt stiger både beton- og træprojekternes PSM'er i de fleste af sammenligningerne. Både for den uvægtede og den vægtede PSM er den procentmæssige stigning størst for træprojekterne i de sidste tre sammenligninger (3/7 CSFs m. sikkerhed, 2/7 CSFs og 1/7 CSFs). Betonprojekterne stiger mest i sammenligningen 3/7 CSFs m. pris. Det konkluderes herved, at dets færre CSFs der vælges til beregning af PSM'erne, dets mere vil resultatet afvige fra det oprindelige resultat.

Træprojekternes PSM falder mest i sammenligningerne 6/7 CSFs og 5/7 CSFs, mens betonprojekterne falder mest i sammenligningen 3/7 CSFs m. sikkerhed. Ændringen er marginal i den vægtede PSM, da disse tæller meget lidt i den oprindelige sammenligning. Den uvægtede PSM falder dog en del, specielt for træprojekterne i de første sammenligninger, hvorved det kan konkluderes, at træprojekterne er mere afhængige af de mindst vigtige CSF'er end betonprojekterne mht. den uvægtede PSM.

D.3 De enkelte parametres indflydelse på PSM

I denne parameterundersøgelse, undersøges det, hvor stor en indflydelse de enkelte CSF'er har på det oprindelige resultat. Dette gøres ved at fjerne CSF'erne enkeltvis fra undersøgelsen, for at undersøge i hvor stor en grad dette vil påvirke det oprindelige resultat. Det forventes at nogle CSFs vil være til gunst for betonprojekterne og ugunst for træprojekterne og vice versa. Såfremt dette er tilfældet, bliver det nemmere at vurdere, hvilke CSFs træ er, og ikke er, konkurrencedygtig indenfor, alt efter hvor entydigt det er, at CSF'en er til gunst for træprojekterne.

PSM uden CSF'en Pris

Tabel D.18: PSM beregnet uden CSF'en pris.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	-	0,17	0,24	0,23	0,22	0,09	0,05	1	
Ingen vægtning	-	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17		1
Brock Commons	-	0,67	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,86	0,78
Betonprojekter	-	0,33	0,92	0,94	0,00	1,00	0,00	0,58	0,53
Moholt 50 50	-	0,67	0,83	0,83	1,00	0,00	1,00	0,78	0,72
Betonprojekter	-	0,33	0,92	0,93	0,00	1,00	0,00	0,58	0,53
Treet	-	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,83	0,83
Betonprojekter	-	1,00	0,92	0,93	0,00	0,00	0,00	0,61	0,47
Brock Commons	-	0,56	1,00	1,00	1,00	0,00	0,56	0,81	0,69
Moholt 50 50	-	0,70	0,83	0,83	0,73	0,59	1,00	0,77	0,78
Treet	-	0,18	1,00	1,00	1,00	1,00	0,71	0,84	0,81
Betonprojekter	-	0,52	0,92	0,93	0,00	0,74	0,00	0,59	0,52

Tabel D.19: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.18), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægt- et PSM	Oprindelig størst uvægt- et PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons	X	X	X	X	+13,2%	+9,9%	+75,0%	+56,3%
Betonprojekter					-3,3%	-3,6%		
Moholt 50 50	X	X		X	+21,9%	+16,1%	-1.100,0%	+850,0%
Betonprojekter			X		-12,1%	-11,7%		
Treet	X	X	X	X	+22,1%	+16,9%	-	+125,0%
Betonprojekter			X		-10,3%	-14,5%		
Brock Commons			X		+5,2%	+3,0%		
Moholt 50 50			X	X	0,0%	+1,3%		
Treet	X	X			+21,7%	+15,7%		
Betonprojekter					-10,6%	-11,9%		

PSM uden CSF'en Tid

Tabel D.20: PSM beregnet uden CSF'en tid.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,21	-	0,23	0,22	0,21	0,08	0,05	1	
Ingen vægtning	0,17	-	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17		1
Brock Commons	0,33	-	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,78	0,72
Betonprojekter	0,67	-	0,92	0,94	0,00	1,00	0,00	0,64	0,59
Moholt 50 50	0,00	-	0,83	0,83	1,00	0,00	1,00	0,63	0,61
Betonprojekter	1,00	-	0,92	0,93	0,00	1,00	0,00	0,71	0,64
Treet	0,00	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,79	0,83
Betonprojekter	1,00	-	0,92	0,93	0,00	0,00	0,00	0,62	0,47
Brock Commons	0,60	-	1,00	1,00	1,00	0,00	0,56	0,81	0,69
Moholt 50 50	0,73	-	0,83	0,83	0,73	0,59	1,00	0,78	0,78
Treet	0,00	-	1,00	1,00	1,00	1,00	0,71	0,78	0,79
Betonprojekter	1,00	-	0,92	0,93	0,00	0,74	0,00	0,69	0,60

Tabel D.21: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.20), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægtet PSM	Oprindelig størst uvægtet PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons Betonprojekter	X	X	X	X	+2,6% +6,7%	+1,4% +7,3%	-12,5%	-18,8%
Moholt 50 50 Betonprojekter	X	X	X	X	-1,6% +7,6%	-1,6% +6,7%	+300,0%	-250,0%
Treet Betonprojekter	X	X	X	X	+16,2% -8,8%	+16,9% -14,5%	-	+125,0%
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	X	X	X	X	+5,2% +1,3% +13,0% +4,5%	+3,0% +1,3% +12,9% 1,7%		

PSM uden CSF'en Kvalitet

Tabel D.22: PSM beregnet uden CSF'en kvalitet.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi-klasse	Miljø-venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,22	0,18	-	0,23	0,22	0,09	0,05	1	
Ingen vægtning	0,17	0,17	-	0,17	0,17	0,17	0,17		1
Brock Commons Betonprojekter	0,33 0,67	0,67 0,33	- -	1,00 0,94	1,00 0,00	0,00 1,00	1,00 0,00	0,70 0,52	0,67 0,49
Moholt 50 50 Betonprojekter	0,00 1,00	0,67 0,33	- -	0,83 0,93	1,00 0,00	0,00 1,00	1,00 0,00	0,59 0,59	0,58 0,54
Treet Betonprojekter	0,00 1,00	0,00 1,00	- -	1,00 0,93	1,00 0,00	1,00 0,00	1,00 0,00	0,60 0,62	0,67 0,49
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	0,60 0,73 0,00 1,00	0,56 0,70 0,18 0,52	- - - -	1,00 0,83 1,00 0,93	1,00 0,73 1,00 0,00	0,00 0,59 1,00 0,74	0,56 1,00 0,71 0,00	0,72 0,75 0,62 0,60	0,62 0,76 0,65 0,53

Tabel D.23: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.22), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægtet PSM	Oprindelig størst uvægtet PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons Betonprojekter	X	X	X	X	-7,9% -13,3%	-5,6% -10,9%	+12,5%	+12,5%
Moholt 50 50 Betonprojekter	X	X	X	X	-7,8% -10,6%	-6,5% -10,0%	-100,0%	+100,0%
Treet Betonprojekter	X	X	X	X	-11,8% -8,8%	-5,6% -10,9%	-	+12,5%
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	X	X	X	X	-6,5% -2,6% -10,1% -9,1%	-7,5% -1,3% -7,1% -10,2%		

PSM uden CSF'en Tilfredshed

Tabel D.24: PSM beregnet uden CSF'en tilfredshed.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,22	0,17	0,25	-	0,22	0,09	0,05	1	
Ingen vægtning	0,17	0,17	0,17	-	0,17	0,17	0,17		1
Brock Commons	0,33	0,67	1,00	-	1,00	0,00	1,00	0,71	0,67
Betonprojekter	0,67	0,33	0,92	-	0,00	1,00	0,00	0,52	0,49
Moholt 50 50	0,00	0,67	0,83	-	1,00	0,00	1,00	0,59	0,58
Betonprojekter	1,00	0,33	0,92	-	0,00	1,00	0,00	0,59	0,54
Treet	0,00	0,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	0,61	0,67
Betonprojekter	1,00	1,00	0,92	-	0,00	0,00	0,00	0,62	0,49
Brock Commons	0,60	0,56	1,00	-	1,00	0,00	0,56	0,72	0,62
Moholt 50 50	0,73	0,70	0,83	-	0,73	0,59	1,00	0,75	0,76
Treet	0,00	0,18	1,00	-	1,00	1,00	0,71	0,62	0,65
Betonprojekter	1,00	0,52	0,92	-	0,00	0,74	0,00	0,60	0,53

Tabel D.25: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.24), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægt- et PSM	Oprindelig størst uvægt- et PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons	X	X	X	X	-6,6%	-5,6%	+18,8%	+12,5%
Betonprojekter					-13,3%	-10,9%		
Moholt 50 50	X	X		X	-7,8%	-6,5%	-100,0%	+100,0%
Betonprojekter	X		X		-10,6%	-10,0%		
Treet		X	X	X	-10,3%	-5,6%		
Betonprojekter	X		X		-8,8%	-10,9%	-	+12,5%
Brock Commons			X		-6,5%	-7,5%		
Moholt 50 50	X	X	X	X	-2,6%	-1,3%		
Treet					-10,1%	-7,1%		
Betonprojekter					-9,1%	-10,2%		

PSM uden CSF'en Sikkerhed

Tabel D.26: PSM beregnet uden CSF'en sikkerhed.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,22	0,17	0,24	0,23	-	0,09	0,05	1	
Ingen vægtning	0,17	0,17	0,17	0,17	-	0,17	0,17		1
Brock Commons	0,33	0,67	1,00	1,00	-	0,00	1,00	0,71	0,67
Betonprojekter	0,67	0,33	0,92	0,94	-	1,00	0,00	0,73	0,64
Moholt 50 50	0,00	0,67	0,83	0,83	-	0,00	1,00	0,56	0,56
Betonprojekter	1,00	0,33	0,92	0,93	-	1,00	0,00	0,80	0,70
Treet	0,00	0,00	1,00	1,00	-	1,00	1,00	0,61	0,67
Betonprojekter	1,00	1,00	0,92	0,93	-	0,00	0,00	0,83	0,64
Brock Commons	0,60	0,56	1,00	1,00	-	0,00	0,56	0,73	0,62
Moholt 50 50	0,73	0,70	0,83	0,83	-	0,59	1,00	0,77	0,78
Treet	0,00	0,18	1,00	1,00	-	1,00	0,71	0,63	0,65
Betonprojekter	1,00	0,52	0,92	0,93	-	0,74	0,00	0,81	0,68

Tabel D.27: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.26), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægtet PSM	Oprindelig størst uvægtet PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons Betonprojekter	X	X	X	X	-6,6% +21,7%	-5,6% +16,4%	-112,5%	-81,3%
Moholt 50 50 Betonprojekter	X	X	X	X	-12,5% +21,2%	-9,7% +16,7%	+1.100,0%	-800,0%
Treet Betonprojekter	X	X	X	X	-10,3% +22,1%	-5,6% +16,4%	-	-62,5%
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	X	X	X	X	-5,2% 0,0% -8,7% +22,7%	-7,5% +1,3% -7,1% +15,3%		

PSM uden CSF'en Energiklasse

Tabel D.28: PSM beregnet uden CSF'en energiklasse.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi-klasse	Miljø-venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,19	0,15	0,22	0,20	0,19	-	0,05	1	
Ingen vægtning	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	-	0,17		1
Brock Commons Betonprojekter	0,33 0,67	0,67 0,33	1,00 0,92	1,00 0,94	1,00 0,00	- -	1,00 0,00	0,82 0,57	0,83 0,48
Moholt 50 50 Betonprojekter	0,00 1,00	0,67 0,33	0,83 0,92	0,83 0,93	1,00 0,00	- -	1,00 0,00	0,69 0,63	0,72 0,53
Treet Betonprojekter	0,00 1,00	0,00 1,00	1,00 0,92	1,00 0,93	1,00 0,00	- -	1,00 0,00	0,65 0,73	0,67 0,64
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	0,60 0,73 0,00 1,00	0,56 0,70 0,18 0,52	1,00 0,83 1,00 0,92	1,00 0,83 1,00 0,93	1,00 0,73 1,00 0,00	- - - -	0,56 1,00 0,71 0,00	0,83 0,78 0,67 0,66	0,79 0,80 0,65 0,56

Tabel D.29: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.28), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægtet PSM	Oprindelig størst uvægtet PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons Betonprojekter	X	X	X	X	+7,9% -5,0%	+16,9% -12,7%	+56,3%	+118,8%
Moholt 50 50 Betonprojekter	X	X	X	X	+7,8% -4,5%	+16,1% -11,7%	-400,0%	+850,0%
Treet Betonprojekter	X	X	X	X	-4,4% +7,4%	-5,6% +16,4%	-	-81,3%
Brock Commons Moholt 50 50 Treet Betonprojekter	X	X	X	X	+7,8% +1,3% -2,9% 0,0%	+17,9% +3,9% -7,1% -5,1%		

PSM uden CSF'en Miljøvenlighed

Tabel D.30: PSM beregnet uden CSF'en miljøvenlighed.

	Pris	Tid	Kvalitet	Tilfredshed	Sikkerhed	Energi- klasse	Miljø- venlighed	Vægtet PSM	Uvægtet PSM
Vægtning	0,19	0,15	0,21	0,19	0,19	0,08	-	1	
Ingen vægtning	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	-		1
Brock Commons	0,33	0,67	1,00	1,00	1,00	0,00	-	0,75	0,67
Betonprojekter	0,67	0,33	0,92	0,94	0,00	1,00	-	0,62	0,64
Moholt 50 50	0,00	0,67	0,83	0,83	1,00	0,00	-	0,62	0,56
Betonprojekter	1,00	0,33	0,92	0,93	0,00	1,00	-	0,68	0,70
Treet	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,67	0,67
Betonprojekter	1,00	1,00	0,92	0,93	0,00	0,00	-	0,71	0,64
Brock Commons	0,60	0,56	1,00	1,00	1,00	0,00	-	0,78	0,69
Moholt 50 50	0,73	0,70	0,83	0,83	0,73	0,59	-	0,76	0,73
Treet	0,00	0,18	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,69	0,70
Betonprojekter	1,00	0,52	0,92	0,93	0,00	0,74	-	0,69	0,68

Tabel D.31: Ændringer ved resultat af beregningerne i ovenstående tabel (tabel D.30), sammenlignet med det oprindelige resultat, som fremkommer af tabel D.1.

	Størst vægtet PSM	Størst uvægtet PSM	Oprindelig størst vægt- et PSM	Oprindelig størst uvægt- et PSM	Stigning i vægtet PSM	Stigning i uvægtet PSM	Forskel i forhold mellem vægtet PSM	Forskel i forhold mellem uvægtet PSM
Brock Commons	X	X	X	X	-1,3%	-5,6%	-18,8%	-81,3%
Betonprojekter					+3,3%	+16,4%		
Moholt 50 50				X	-3,1%	-9,7%	+200,0%	-800,0%
Betonprojekter	X	X	X		+3,0%	+16,7%		
Treet		X	X	X	-1,5%	-5,6%		
Betonprojekter	X		X		+4,4%	+16,3%	-	-81,3%
Brock Commons	X		X		+1,3%	+3,0%		
Moholt 50 50		X	X	X	-1,3%	-5,2%		
Treet					0,0%	0,0%		
Betonprojekter					+4,5%	+15,3%		

D.3.1 Delkonklusion

Ud af i alt 56 gange, hvor højeste vægtede- og uvægtede PSM kan ændre sig i denne parameterundersøgelse, ændrer den sig 24 gange. Heraf ændrer højest PSM fra betonprojekterne til et træprojekt 6 ud af 24 gange, fra træprojekt til betonprojekt 10 ud af 24 gange og fra et træprojekt til et andet træprojekt 8 ud af 24 gange. Der gøres igen opmærksom på, at oprindeligt havde træprojekterne højest PSM i 6 ud af 8 sammenligninger, hvorfor sandsynligheden for at et træprojekt kan gå fra at have den laveste PSM til højest sammenlignet med betonprojekterne er væsentlige lavere end for betonprojekterne, da træprojekterne maksimalt kan gå fra at have lavest PSM til højest 14 ud af 56 gange, hvor dette kan ske for betonprojekterne 42 ud af 56 gange. Derudover har Treet og betonprojekter i den oprindelige sammenligning opnået samme vægtede PSM, dvs. at enhver ændring resultatet, højest sandsynligt vil give en ændring i, hvilken der opnår den højeste PSM, hvilket i denne parameterundersøgelse sker igen i alle 7 ud af 7 mulige tilfælde. Heraf til gunst for Treet i 2 tilfælde og til gunst for betonprojekterne i 5 tilfælde. Dette gør sig også gældende for den oprindelige sammenligning mellem træprojekterne og betonprojekterne, hvor Brock

Commons og Moholt 50|50 opnåede samme vægtede PSM, som ligeledes igennem parameterundersøgelsen ændrer sig i alle 7 ud af 7 mulige tilfælde, kun 1 gang til gunst for betonprojekterne.

24 ud af 56 mulige gange ændre højeste PSM sig til et andet projekt end oprindeligt, hvilket vurderes som værende højt, hvilket indikerer, at det oprindelige resultat er afhængig af medtagelse af de fleste CSFs, hvis ikke alle. For at kunne konkludere, om dette er generelt, altså gældende for alle CSF'er eller for nogle bestemte, undersøges det nærmere, hvor de 24 ændringer forekommer. Først kigges der nærmere på, om det er den vægtede- eller uvægtede PSM, som der ændrer sig mest i parameterundersøgelsen.

Majoriteten af ændringerne forekommer ved den vægtede PSM, i alt 19 gange ud af de 24 tilfælde, bl.a. pga. at Treet og betonprojekterne, og Brock Commons og Moholt 50|50 opnåede samme vægtede PSM i deres oprindelige sammenligning. Den højeste vægtede PSM ændrede sig fra betonprojekt til et træprojekt 6 ud af 19 gange, fra træprojekt til betonprojekt 7 ud af 19 gange og fra et træprojekt til et andet træprojekt 6 ud af 19 gange. Den højeste PSM for den uvægtede PSM, ændrer sig i de resterende 5 ud af de 24 tilfælde. Heraf ændrer højeste uvægtede PSM fra betonprojekterne til et træprojekt 0 ud af 5 gange, fra træprojekt til betonprojekt 3 ud af 5 gange og fra træprojekt til et andet træprojekt 2 ud af 5 gange.

Herved kan det konkluderes, at det oprindelige resultat for vægtet PSM, er mere afhængig af, at alle CSF'erne er medtaget end den uvægtede PSM, da denne ændrer sig næsten fire gange så mange gange end den uvægtede. Nedenfor undersøges det, om alle sammenligninger er lige afhængige af, at alle CSF'er er med i undersøgelsen.

Kigges der på de individuelle sammenligninger (Brock Commons m. betonprojekterne, Moholt 50|50 m. betonprojekterne, Treet m. betonprojekterne og træprojekterne m. betonprojekterne). Kun 1 ud af de 24 gange (1 ud af 14 mulige) ændrer resultatet sig i sammenligningen mellem Brock Commons og betonprojekterne, til gunst for betonprojekterne ved den vægtede PSM beregnet uden CSF'en sikkerhed. Ved sammenligningen mellem Moholt 50|50 og betonprojekterne ændrer den højeste PSM sig til modparten i 7 ud af de 24 tilfælde (7 ud af 14 mulige), til gunst for træprojekterne 4 af gangene og for betonprojekterne de resterende 3 gange. Den højeste PSM ændrede sig ligeledes til modparten i 7 ud af de 24 tilfælde (7 ud af 14 mulige) i sammenligningen mellem Treet og betonprojekterne. Heraf til gunst for Treet i kun 2 af de 7 tilfælde og for betonprojekterne i de resterende 5 ud af 7 tilfælde. I den sidste sammenligning mellem træprojekterne og betonprojekterne ændrer den højeste PSM sig i 9 ud af de 24 tilfælde (9 ud af 14 mulige), hvor kun 1 af de 9 tilfælde er til gunst for betonprojekterne. Dette er ved den vægtede PSM ved fjernelse af CSF'en sikkerhed.

Det ses at det overordnede resultat mht. om træprojekterne er bedre end betonprojekterne, er meget vedholdent både i sammenligningen mellem Brock Commons og betonprojekterne samt træprojekterne og betonprojekterne, igennem parameterundersøgelsen. Herved konkluderes det, at disse sammenligninger er mere robuste end sammenligningerne mellem Moholt 50|50 og betonprojekter samt Treet og betonprojekterne. Der kan endvidere argumenteres for, at resultaterne af de to mest robuste sammenligninger også er de mest valide, da sandsynligheden for at en anden undersøgergruppe, med samme data, vil komme frem til samme resultat her er større.

Det undersøges her hvilke sammenligninger, der giver de største procentmæssige ændringer

i PSM ift. det oprindelige resultat, for at undersøge hvilke CSF'er der har størst indflydelse på det oprindelige resultat. Den vægtede PSM stiger mest for træprojekterne ved at fjerne CSF'en pris, mens den uvægtede PSM for træprojekterne stiger mest både ved at fjerne CSF'en pris og energiklasse. Både den vægtede og uvægtede PSM for betonprojekterne stiger mest, ved at fjerne CSF'en sikkerhed. Herved kan det konkluderes, at CSF'en pris er den mest ugunstige for træprojekterne, mens CSF'en sikkerhed er den mest ugunstige for betonprojekterne.

Træprojekternes vægtede PSM falder mest ved fjernelse af CSF'en kvalitet og den uvægtede falder mest ved fjernelse af CSF'en sikkerhed. Både den vægtede- og uvægtede PSM for betonprojekterne falder mest ved fjernelse af CSF'en pris. Herved kan det konkluderes, at træprojekterne opnår dets PSM i den oprindelige sammenligning på baggrund af andre CSF'er end betonprojekterne. Ydermere kan det konkluderes, at de oprindelige resultater, beregnet på baggrund af to forskellige metoder (forskellig vægtning af CSFs), ikke er lige afhængig af de enkelte CSFs medtagelse i undersøgelsen, da den vægtede- og uvægtede PSM ikke påvirkes i samme grad i denne parameterundersøgelse.

D.4 Konklusion

De to første parameterundersøgelser undersøgte hvorledes resultatet ændrede sig ved hhv. kun at have de traditionelle CSFs (pris, tid og kvalitet) med i undersøgelsen og fjerne de mindst prioriterede CSFs gradvist fra undersøgelsen. Disse parameterundersøgelser viste overordnet, at dets flere CSFs der blev fjernet, dets større blev afvigelserne fra det oprindelige resultat. Endvidere blev det konkluderet på baggrund af parameterundersøgelsen ved gradvis fjernelse af de mindst vigtige CSFs, at træprojekternes oprindelige resultat er mere afhængig af de mindst vigtige CSFs, hvilket er overensstemmende med, at betonprojekterne er bedre end træprojekterne i de fleste sammenligninger i den første parameterundersøgelse, da CSF'erne pris, tid og kvalitet er prioriteret højt. Ydermere blev det konkluderet, at sammenligningen mellem Brock Commons og betonprojekterne samt træprojekterne og betonprojekterne var de mest robuste, da resultaterne her var meget vedholdende ift. det oprindelige resultat. Dette gjorde sig også gældende for den sidste parameterundersøgelse, hvor det blev undersøgt hvor stor en indflydelse de enkelte CSFs har på det oprindelige resultat, ved at fjerne dem enkeltvis. Det blev i den sidste parameterundersøgelse konkluderet, at det oprindelige resultat for vægtet PSM, er mere afhængig af, at alle CSF'erne er medtaget end den uvægtede PSM. Hertil blev det konkluderet, at CSF'en pris var den mest ugunstige for træprojekterne, mens CSF'en sikkerhed er den mest ugunstige for betonprojekterne. Det er ligeledes forskellige CSF'er der er til gunst for hhv. træ- og betonprojekterne, hvorfor det blev konkluderet, at eksklusion af bestemte CSFs kan påvirke resultat væsentligt. Ydermere blev det konkluderet, at de oprindelige resultater (vægtet- og uvægtet PSM), ikke er lige afhængig af de enkelte CSFs medtagelse i undersøgelsen, da de ikke påvirkes i samme grad ved at fjerne CSF'erne enkeltvis i parameterundersøgelsen.

E

Elektronisk Bilag

Af dette kapitel fremgår listen over de elektroniske vedlagte filer til rapporten. Filnavnene vil værre listet til venstre, hvor der til højre for disse vil være en kort beskrivelse af filens indhold.

[Filnavn]	[Beskrivelse]
Betonprojekt1.pdf	Besvarelserne fra en dansk entreprenør af det udsendte spørgeskema til den kvantitative analyse.
Betonprojekt2.pdf	Besvarelserne fra en dansk entreprenør af det udsendte spørgeskema til den kvantitative analyse.
Betonprojekt3.pdf	Besvarelserne fra en dansk entreprenør af det udsendte spørgeskema til den kvantitative analyse.
Betonprojekt4.pdf (2 dele)	Besvarelserne fra en dansk entreprenør af det udsendte spørgeskema til den kvantitative analyse.
Betonprojekt5.pdf	Besvarelserne fra en dansk entreprenør af det udsendte spørgeskema til den kvantitative analyse.
Betonprojekt6.pdf	Besvarelserne fra en dansk entreprenør af det udsendte spørgeskema til den kvantitative analyse.
Brock Commons.pdf	Besvarelserne fra projektet "Brock Commons" af det udsendte spørgeskema til den kvantitative analyse.
Moholt 5050.pdf	Besvarelserne fra projektet "Moholt 50 50" af det udsendte spørgeskema til den kvantitative analyse.
Treet.pdf	Besvarelserne fra projektet "Treet" af det udsendte spørgeskema til den kvantitative analyse.
Interview Brock Commons.pdf	Besvarelserne fra projektet "Brock Commons" af det udsendte spørgeskema/standardiseret interview til den kvalitative analyse.
Interview Moholt 5050.pdf	Besvarelserne fra projektet "Moholt 50 50" af det udsendte spørgeskema/standardiseret interview til den kvalitative analyse.
Interview Treet.pdf	Besvarelserne fra projektet "Treet" af det udsendte spørgeskema/standardiseret interview til den kvalitative analyse.
Kvantitative analyse.xlsx	Beregningsark (Excel-ark) til den kvantitative analyse hhv. KPIs, CSFs og PSMs samt parameterundersøgelserne.

