

Helene Engebretsen Kjosbakken

Miljøpåvirkning ved ulike spennvidder i bærekonstruksjoner av tre og betong

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Rolf André Bohne

Juni 2020

Helene Engebretsen Kjosbakken

Miljøpåvirkning ved ulike spennvidder i bærekonstruksjoner av tre og betong

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Rolf André Bohne
Juni 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven er avsluttende arbeid i retningen bygnings- og materialteknikk på institutt for bygg- og miljøteknikk på Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven representerer 30 studiepoeng, og arbeidet er utført fra januar til juni 2020.

I årene før min 2-årige master på NTNU i Trondheim tok jeg en bachelor innen konstruksjonsteknikk på Høgskolen på Vestlandet i Bergen. Dette er et fagfelt hvor jeg har stor interesse, og dermed hadde jeg et ønske om å inkludere deler av det jeg lærte der inn i denne masteroppgaven. Å kunne slå sammen hva jeg har lært i bacheloren og masteren har vært veldig givende og en fin måte å se et større bilde på.

I 2019 skrev Østfoldforskning en rapport om forskjellen i klimagassutslipp for bærekonstruksjoner i tre og betong ved kontorbygg med høyde på 4, 8 og 16 etasjer. Rapporten ga inspirasjon til å se nærmere på virkningen bærekonstruksjonen har på klimagassutslipp. Jeg ønsket å finne en ny vinkling på min oppgave for å finne noe nytt som kunne være viktig for bransjen. Jeg tenkte da at det kunne være interessant å se på virkningen ulike spennvidder for dekker og bjelker i bærekonstruksjonen har på miljøet. Jeg forhørte meg med noen faglærere om ideen og flere syntes dette hørt interessant ut, og at dette er noe som ikke har blitt gjort tidligere. Det er mange diskusjoner om hva som er det beste materialet å bruke i bærekonstruksjonen, men ofte er det da brukt en spesifikk dimensjon for bygget. Jeg ønsker å se på hvordan variasjonen i spennvidder kan påvirke materialbruken og dermed klimapåvirkningen. Det er også interessant å se om det er mulig å lage en mer generell metode hvor man på en enkel måte kan finne den best mulige utformingen av bærekonstruksjonen, samt hvilket byggemateriale av tre og betong som egner seg best med tanke på miljøpåvirkningen.

For å gjennomføre denne oppgaven har jeg vært avhengig av å bruke kunnskap fra flere fagfelt, og jeg ønsker derfor å takke min hovedveileder, Rolf André Bohne, for veiledning til oppgaven i sin helhet og til LCA-delen av oppgaven. Videre ønsker jeg å takke Terje Kanstad som har bistått med hjelp og innspill til betongkonstruksjonsdelen av oppgaven, samt Jan Steinar Egenes fra NTNU Gjøvik og Torger Torgersen Klætte fra Sweco Gjøvik for bistand med trekonstruksjonsdelen av oppgaven. Jeg vil også takke min kjæreste og samboer Jens Lillethun for god støtte gjennom hele oppgaven.

Oppgaven har gitt meg et større innblikk i hvordan jobbhverdagen kan bli, og hvordan ulike fagfelt bidrar sammen i prosjekter frem til ferdig produkt. Det har vært spennende å undersøke noe som ikke har blitt sett på tidligere, noe som også motiverer til å ta med seg disse fagtemaene videre i arbeidslivet i årene fremover.

Helene Engebretsen Kjosbakken, juni 2020

[Blank side]

Sammendrag

Fordi temperaturen på jorden stiger blir det stadig viktigere å begrense klimagassutslippene. Behovet for å reise nye bygg vil fortsatt være der, og byggebransjen har derfor begynt å se på mer miljøvennlige løsninger å bygge på. Blant annet blir det viktig å se på ulike løsninger for bærekonstruksjonen som kan redusere utslippene av klimagasser. Med bakgrunn i dette er det i denne oppgaven gjort en studie for å se på variasjonen av miljøpåvirkning ved ulike spennvidder for dekker og bjelker i bæresystemer av betong og tre. Mengde dekker og bjelker per kvadratmeter bruksareal vil være like stor uavhengig av antall etasjer et bygg har, men mengde søyler varierer utfra antall etasjer. Det er derfor også valgt å se på tre ulike kategorier for antall etasjer for bærekonstruksjonen; 1, 8 og 16 etasjer, for å undersøke effekten dette har på miljøpåvirkningen.

For å undersøke dette ble det tatt utgangspunkt i samme forutsetninger for bærekonstruksjoner i betong og tre. Begge bærekonstruksjonene måtte kunne belastes med samme last og oppnå samme krav til lyd og brann. Betongkonstruksjoner har gode egenskaper alene, mens trekonstruksjoner trenger større tiltak for å oppnå disse kravene. For trekonstruksjoner er det i denne studien gjort separate analyser for tilfarer og påstøp som lydtiltak.

Studien ble gjennomført med grunnlag i et beregningsdokument i Mathcad, hvor en blant annet kan variere faktorene for dekkespenn og bjelkespenn. Beregningene i dokumentet resulterer i nødvendige dimensjoner for de ulike elementene. I tillegg er miljøpåvirkninger beregnet utfra miljødeklarasjoner (EPD-er) for de nevnte elementene. Videre er klimaberegningene avgrenset til å studere systemgrensen vugge til port inkludert transport til byggeplass, og hvor miljøpåvirkningen er begrenset til global warming potential (GWP). Resultatene ble fremstilt ved grafer for enkelt å se variasjonen i miljøpåvirkning ved ulike spennvidder for dekker og bjelker.

Resultatene viser at en bærekonstruksjon i tre, uavhengig av spennvidde, vil få en negativ verdi for miljøpåvirkning. En negativ verdi for miljøpåvirkning vil si at det totale systemet ikke slipper ut, men tar opp CO₂. Dette er bra for miljøet da man får fanget opp CO₂ fra atmosfæren. I tillegg vil trekonstruksjonen få en større negativ verdi ved økende spennvidde som følge av økt materialbruk. Dermed vil det for miljøpåvirkningen være mest gunstig med en bærekonstruksjon av tre med størst mulig spenn. Ulempen med dette er at økt mengde materiale også kan gi økte kostnader, noe som ikke er ønskelig hos byggherren. For å minimere materialbruket, derimot, viser resultatene at minst mulige spennvidde, altså 3 meter for både dekker og bjelker, er optimalt. I tillegg viser resultatene at økning i dekkespenn gir større innvirkning på miljøpåvirkningen enn økning i bjelkespenn.

For bærekonstruksjon i betong vil spennvidde på seks meter for dekkene og fem meter for bjelkene gi minst mengde materialer og dermed minst utslipp av klimagasser. Utover disse spennviddene vil materialmengden og klimagassutslippene øke.

For trekonstruksjoner med tilfarer som lydtiltak, vil en utfra resultatene fra denne studien kunne øke opptaket av klimagasser med opp til 116% ved å benytte optimale spennvidder. For betongkonstruksjoner kan man redusere klimagassutslippene med opp til 40%. Disse besparelsene gjelder innenfor spennområdene 3 til 8 meter for dekker og 3 til 10 meter for bjelker.

[Blank side]

Abstract

As the temperature in the earth atmosphere rises, it becomes increasingly important to limit greenhouse gas emissions. The need to build new buildings will still be there, and the construction industry is therefore looking at more environmentally friendly building solutions. Among other things, it is important to look at different solutions for building structures that can reduce greenhouse gas emissions. With this foundation, this study has been carried out to investigate the variations of environmental impact at different span widths for floor elements and beams in building structures of concrete and wood. The amount of floor elements and beams per square meter will not depend on the number of floors in the building structure, but the amount of pillars per square meter will vary with the number of floors. This study will therefore look at three different heights; building structures with 1, 8 and 16 floors, which will show the difference in their environmental impact.

In order to conduct this study on a comparable basis, the building structures of wood and concrete were based on the same underlying assumptions. Both types of structures were required to carry the same loads and meet the same sound and fire requirements. The two construction types differ in the way that concrete structures are naturally fire resistant and have good sound properties, while wooden structures need larger additional measure to meet similar requirements. Thus, in this study, separate analyses have been conducted for wooden building structures with joists and concrete screeds.

The study was conducted based on a calculation document in Mathcad, where important input variables included the width of the floor elements and beams, among others. The calculation results in necessary dimensions for all considered building structure elements. In addition, environmental impact was calculated based on environmental product declarations (EPDs). The system boundaries of the climate impact assessments were limited to study the system boundary from cradle to gate, also including transport to the construction site. The environmental impact assessments are limited to study the global warming potential (GWP). Graph visualizations were made to easily see variations in environmental impact at different span widths for decks and beams.

The results show that the building structures in wood, regardless of span widths, will have negative values for environmental impact, meaning that the total system analyzed does not emit CO₂, but rather absorbs it. This is positive for the environment as the CO₂ gets absorbed from the atmosphere. In addition, the wood constructions will have greater negative values for increasing span widths due to increased material usage. Thus, it will be most favorable for the environmental impact to have building structures of wood with the greatest possible span widths. However, increased amounts of material results in increased costs, which is not desirable from the project owner's perspective. Therefore, to minimize material use, the results show that the minimum possible span width, 3 meters for both floor elements and beams, is optimal. In addition, the results show that an increase in the floor element span has a greater effect on the environmental impact than an increase in the span width for beams.

For building structures in concrete, the span width of six meters for the floor elements and five meters for the beams will require the least amount of materials and thus the least emissions of greenhouse gases. Beyond these span widths, the material usage and greenhouse gas emissions will increase.

For wooden structures with joists as measures for sound requirements, one can, based on the results of this study, increase the absorption of greenhouse gases by up to 116% when using optimal span widths. For concrete structures, greenhouse gas emissions can be reduced by up to 40%. This applies within the range of 3 to 8 meters for floor elements and 3 to 10 meters for beams.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Figurliste	XI
Tabelliste	XIII
1. Innledning	1
1.1. <i>Bakgrunn</i>	1
1.2. <i>Problemstilling</i>	2
1.3. <i>Avgrensninger</i>	2
1.4. <i>Organisering av oppgaven</i>	3
2. Teori	5
2.1. <i>Bæresystem</i>	5
2.2. <i>Lyd</i>	5
2.3. <i>Brann</i>	6
2.4. <i>Betong</i>	7
2.4.1. <i>Oppbygning</i>	8
2.4.2. <i>Konstruksjonstyper</i>	8
2.4.3. <i>Lyd</i>	9
2.4.4. <i>Brann</i>	10
2.5. <i>Tre</i>	12
2.5.1. <i>Oppbygning</i>	12
2.5.2. <i>Konstruksjonstyper</i>	13
2.5.3. <i>Lyd</i>	17
2.5.4. <i>Brann</i>	19
2.6. <i>Laster</i>	20
2.6.1. <i>Egenlast</i>	20
2.6.2. <i>Nyttelast</i>	21
2.6.3. <i>Vindlast</i>	21
2.6.4. <i>Snølast</i>	21
2.6.5. <i>Seismisk last</i>	21
2.6.6. <i>Lastkombinasjoner</i>	22
2.7. <i>Livssyklusanalyse</i>	22
2.7.1. <i>Generell metode</i>	22
2.7.2. <i>GWP</i>	23
2.7.3. <i>Livsløpsfaser og systemgrenser</i>	23
2.7.4. <i>Verktøy</i>	24
2.8. <i>Lover og regler</i>	25

2.8.1.	Standard Norge.....	25
2.8.2.	TEK 17.....	25
2.8.3.	Byggforsk.....	25
2.9.	<i>Beregningsprogram</i>	25
2.9.1.	Mathcad.....	25
2.9.2.	Calculatis.....	25
2.10.	<i>Generell dimensjon på bygg</i>	26
3.	Metode	27
3.1.	<i>Veien til oppgaven</i>	27
3.2.	<i>Fremdrift</i>	27
3.3.	<i>Valg av forskningsmetode og kildesikkerhet</i>	28
3.4.	<i>Forutsetninger</i>	29
3.4.1.	Laster.....	30
3.4.2.	Lyd.....	32
3.4.3.	Brann.....	33
3.4.4.	Byggets dimensjoner.....	33
3.4.5.	Avgrensninger.....	34
3.5.	<i>Prosjektering av bærekonstruksjonene</i>	35
3.5.1.	Generelt.....	35
3.5.2.	Calculatis.....	38
3.5.3.	Betongkonstruksjon.....	44
3.5.4.	Trekonstruksjon.....	47
3.6.	<i>Livssyklusanalyse</i>	49
3.6.1.	Generelt om fase 1 og 2.....	49
3.6.2.	Forutsetning for fase 2.....	50
3.6.3.	Beregning av klimapåvirkning.....	54
4.	Resultater	55
4.1.	<i>Boligbygg av prefabrikkert betong</i>	55
4.1.1.	Grafisk fremstilling 3-8 meter dekkespenn.....	55
4.1.2.	Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell.....	57
4.1.3.	Variasjon av mengde betong og armering i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder.....	58
4.1.4.	Grafisk fremstilling 10-19 meter dekkespenn.....	61
4.1.5.	Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell.....	62
4.1.6.	Variasjon av mengde betong og armering i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder.....	63
4.2.	<i>Boligbygg av tre med tilfarer som lydtiltak</i>	65
4.2.1.	Grafisk fremstilling.....	65
4.2.2.	Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell.....	67
4.2.3.	Variasjon av mengde tre i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder	68
4.3.	<i>Boligbygg av tre med påstøp som lydtiltak</i>	70
4.3.1.	Grafisk fremstilling.....	70

4.3.2.	Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell	71
4.3.3.	Variasjon av mengde tre i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder 72	
4.4.	<i>Kontorbygg av prefabrikkert betong</i>	74
4.4.1.	Grafisk fremstilling 3 til 8 og 10 til 19 meter dekkespenn	74
4.4.2.	Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell	75
4.4.3.	Variasjon av mengde betong og armering i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder	75
4.5.	<i>Kontorbygg av tre med tilfarer som lydtiltak</i>	77
4.5.1.	Grafisk fremstilling	77
4.5.2.	Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell	77
4.5.3.	Variasjon av mengde tre i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder 78	
4.6.	<i>Kontorbygg av tre med påstøp som lydtiltak</i>	78
4.6.1.	Grafisk fremstilling	78
4.6.2.	Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell	79
4.6.3.	Variasjon av mengde tre i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder 80	
5.	Drøfting av miljøpåvirkningen	81
5.1.	<i>Mengde materiale</i>	81
5.1.1.	Betong	81
5.1.2.	Tre	82
5.1.3.	Sammenligning av betong og tre	83
5.2.	<i>Reduksjon av klimagassutslipp ved optimale spennvidder</i>	83
5.2.1.	Betongkonstruksjoner	83
5.2.2.	Trekonstruksjoner	84
5.2.3.	Sammenligning av betong og tre	86
5.3.	<i>Økonomi</i>	86
5.4.	<i>Lyd</i>	87
5.4.1.	Betong	87
5.4.2.	Tre	87
5.4.3.	Sammenligning av betong og tre	88
5.5.	<i>Brann</i>	88
5.5.1.	Betong	88
5.5.2.	Tre	88
5.5.3.	Sammenligning av betong og tre	89
5.6.	<i>Type bygg</i>	89
5.7.	<i>Andre faktorer</i>	89
6.	Konklusjon	91
7.	Videre arbeid	93
8.	Bibliografi	95

[Blank side]

Figurliste

Figur 2.1 Utviklingen av den relative fastheten i betongen ved temperaturstigning (Vinje, 2017)	11
Figur 2.2 Fingerskjøt (Bergene Holm AS)	14
Figur 2.3 Limtre (Norsk limtreprodusenters forening, 2015)	15
Figur 2.4 Kretsløp for limtre (Norsk limtreprodusenters forening, 2015)	16
Figur 2.5 Krysslaminert massivtre (Glasø, 2011a)	17
Figur 2.6 Illustrasjon av ulike løsninger for å forhindre planting av lyd og vibrasjoner i bærekonstruksjonen av tre (Glasø, 2011b)	18
Figur 2.7 Forkulling av treverk (Andersen, 2017)	20
Figur 2.8 Den iterative prosessen av de ulike fasene i en livsløpsvurdering (Byggforskserien, 2014a)	22
Figur 2.9 Livsløpsfaser og systemgrenser (Byggforskserien, 2015c)	24
Figur 3.1 Utforming av bærekonstruksjonen	30
Figur 3.2 Utdrag fra Mathcad-dokument for beregning av betongkonstruksjoner	35
Figur 3.3 Utdrag av oversikt over elementer fra Calculatis (Stora Enso)	40
Figur 3.4 Oppsett for input/spesifikasjoner for dekkelementer, fra Calculatis (Stora Enso)	41
Figur 3.5 Oppsett for elementutforming, opplegg og laster, fra Calculatis (Stora Enso)	43
Figur 3.6 Kapasitet for ulike hulldekkeelementer (Vinje, 2010)	44
Figur 3.7 Utforming av L- og DL-bjelke (Vinje, 2010)	45
Figur 3.8 Beregning av kapasitet for bjelke fra Mathcad	45
Figur 3.9 Flytskjema for betongelementer (Østfoldforskning AS, 2018)	51
Figur 3.10 Flytskjema for spennarmering (Fet, 2015a)	51
Figur 3.11 Flytskjema for slakkarmering (Fet, 2015b)	52
Figur 3.12 Flytskjema for treelementer (Tellnes, 2020)	53
Figur 4.1 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 3 til 8 meter	55
Figur 4.2 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 8 etasjer med dekkespenn på 3 til 8 meter	56
Figur 4.3 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 16 etasjer med dekkespenn på 3 til 8 meter	56
Figur 4.4 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 10 til 19 meter	61
Figur 4.5 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 8 etasjer med dekkespenn på 10 til 19 meter	61
Figur 4.6 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 16 etasjer med dekkespenn på 10 til 19 meter	62
Figur 4.7 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med tilfarer som lydtiltak	66
Figur 4.8 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 8 etasjer med tilfarer som lydtiltak	66
Figur 4.9 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 16 etasjer med tilfarer som lydtiltak	67
Figur 4.10 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med påstøp som lydtiltak	70
Figur 4.11 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 8 etasjer med påstøp som lydtiltak	70

Figur 4.12 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 16 etasjer med påstøp som lydtiltak	71
Figur 4.13 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i kontorbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 3 til 8 meter	74
Figur 4.14 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i kontorbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 10 til 19 meter	74
Figur 4.15 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med tilfarer som lydtiltak	77
Figur 4.16 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med påstøp som lydtiltak	79
Figur 5.1 Differansen mellom laveste og høyeste miljøpåvirkningen for bæresystem i betong.....	84
Figur 5.2 Differansen mellom laveste og høyeste miljøpåvirkningen for bæresystem i tre med tilfarer som lydtiltak	85
Figur 5.3 Differansen mellom laveste og høyeste miljøpåvirkningen for bæresystem i tre med påstøp som lydtiltak	86

Tabelliste

Tabell 2.1 Lydkrav for bolig- og kontorbygg (Standard Norge, 2016a)	5
Tabell 2.2 Brannmotstand for ulike bygningsdeler basert på brannklasse (DIBK, 2017c). 7	
Tabell 2.3 Oversikt over ulike størrelser på hulldekker og deres begrensninger til lengde og vekt (Vinje, 2010).....	9
Tabell 2.4 Materiale for å oppnå lydkrav i betongkonstruksjon (Byggforskserien, 2015a) (Skogstad, 2018).....	10
Tabell 2.5 Densitet og styrke bartre og løvtre (Byggforskserien, 2015b)	13
Tabell 2.6 Materiale for å oppnå lydkrav i trekonstruksjon. (Limmestad, 2019)	18
Tabell 3.1 Egenlast for de ulike hulldekkene med tilsvarende høyde (Vinje, 2010).....	31
Tabell 3.2 Valg av løsning samt egenvekt for ekstra materiale for å oppnå krav til lyd ..	32
Tabell 3.3 Nødvendig tiltak ved ulike dimensjoner for bjelker og søyler av limtre	33
Tabell 3.4 Laster revidert etter bredde på massivtreelementer	47
Tabell 3.5 Oversikt over faktorer for EPD av isolasjonstyper (Rockwool Nordic, 2019)...	52
Tabell 3.6 Utdrag fra Excel-dokument for miljøpåvirkning	54
Tabell 4.1 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 3 til 8 meter	57
Tabell 4.2 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 8 etasjer med dekkespenn på 3 til 8 meter	57
Tabell 4.3 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 16 etasjer med dekkespenn på 3 til 8 meter	58
Tabell 4.4 Variasjon av mengde [tonn/m ²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 1 etasje	59
Tabell 4.5 Variasjon av mengde [kg/m ²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 1 etasje	59
Tabell 4.6 Variasjon av mengde [tonn/m ²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 8 etasjer	59
Tabell 4.7 Variasjon av mengde [kg/m ²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 8 etasjer	59
Tabell 4.8 Variasjon av mengde [tonn/m ²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 16 etasjer	60
Tabell 4.9 Variasjon av mengde [kg/m ²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 16 etasjer	60
Tabell 4.10 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 10 til 19 meter.....	62
Tabell 4.11 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 8 etasjer med dekkespenn på 10 til 19 meter.....	63
Tabell 4.12 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 16 etasjer med dekkespenn på 10 til 19 meter.....	63
Tabell 4.13 Variasjon av mengde [tonn/m ²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 1 etasje.....	64
Tabell 4.14 Variasjon av mengde [kg/m ²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 1 etasje.....	64
Tabell 4.15 Variasjon av mengde [tonn/m ²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 8 etasjer.....	64
Tabell 4.16 Variasjon av mengde [kg/m ²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 8 etasjer.....	64
Tabell 4.17 Variasjon av mengde [tonn/m ²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 16 etasjer.....	65

Tabell 4.18 Variasjon av mengde [kg/m^2] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 16 etasjer	65
Tabell 4.19 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med tilfarer som lydtiltak	67
Tabell 4.20 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 8 etasjer med tilfarer som lydtiltak	68
Tabell 4.21 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 16 etasjer med tilfarer som lydtiltak	68
Tabell 4.22 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med tilfarer som lydtiltak og 1 etasje	69
Tabell 4.23 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med tilfarer som lydtiltak og 8 etasjer	69
Tabell 4.24 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med tilfarer som lydtiltak og 16 etasjer	69
Tabell 4.25 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med påstøp som lydtiltak	71
Tabell 4.26 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 8 etasjer med påstøp som lydtiltak	72
Tabell 4.27 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 16 etasjer med påstøp som lydtiltak	72
Tabell 4.28 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med påstøp som lydtiltak og 1 etasje	73
Tabell 4.29 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med påstøp som lydtiltak og 8 etasjer	73
Tabell 4.30 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med påstøp som lydtiltak og 16 etasjer	73
Tabell 4.31 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i kontorbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 3 til 8 meter	75
Tabell 4.32 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i kontorbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 10 til 19 meter	75
Tabell 4.33 Variasjon av mengde [tonn/m^2] betong for dekker, bjelker og søyler ved kontorbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 1 etasje	76
Tabell 4.34 Variasjon av mengde [kg/m^2] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved kontorbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 1 etasje	76
Tabell 4.35 Variasjon av mengde [tonn/m^2] betong for dekker, bjelker og søyler ved kontorbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 1 etasje	76
Tabell 4.36 Variasjon av mengde [kg/m^2] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved kontorbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 1 etasje	76
Tabell 4.37 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med tilfarer som lydtiltak	78
Tabell 4.38 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved kontorbygg i tre med tilfarer som lydtiltak og 1 etasje	78
Tabell 4.39 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med påstøp som lydtiltak	79
Tabell 4.40 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved kontorbygg i tre med påstøp som lydtiltak og 1 etasje	80
Tabell 5.1 Sammenlagt miljøpåvirkning for materiale til bærekonstruksjon og lydtiltak	88

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Klimaet er i endring fordi det blir sluppet ut mer klimagasser i atmosfæren enn hva som er naturlig. Blant disse klimagassene er CO₂. Når det blir sluppet ut stadig mer klimagasser vil drivhuseffekten bli sterkere og mindre varme vil bli sluppet ut gjennom atmosfæren. Dette fører til at temperaturen på jorden stiger, og nå er gjennomsnittstemperaturen på jorden høyere enn den noen gang har vært før. (FN-sambandet, 2018)

Det har blitt bestemt i de internasjonale klimaforhandlingene at temperaturstigningen mellom 1850 og 2100 skal begrenses til 2 grader celsius (FN-sambandet, 2018). Per i dag ligger vi på 1,5. Dersom temperaturen stiger over 2 grader, er det påvist at det ikke vil være mulig å reversere klimaendringene, så derfor er det viktig å gjøre noe med dette. Det må da kuttes ned betraktelig på klimagassutslippene.

Byggebransjen deltar i relativt stor grad til CO₂-utslipp. Blant annet er det anslått at byggesektoren står for 40% av klimagassutslipp og energibruk i verden, hvor deler av dette kommer fra produksjon av bygg (Dragland, 2015). I tillegg sies det at betongindustrien alene står for 7-10% av de menneskeskapte CO₂-utslippene (LaR19). Dersom dette kan reduseres vil det gi en stor forskjell i klimabudsjettet.

I tillegg bygges det stadig mer, og det er antatt at dette kommer til å fortsette. Det er imidlertid ikke ubegrenset med tilgjengelige arealer for ny bebyggelse i byene. Derfor vil behovet for å bygge i høyden fortsette å øke. Det vil da være nyttig å se på fordelene ved å bygge høyere, og hvordan høybyggene kan forbedres.

Det har etterhvert blitt mer og mer populært å bygge høyhus i tre grunnet dets gunstighet for miljøet. Likevel har det vært uenighet om et bygg i tre faktisk er bedre for miljøet enn et bygg i betong. Det er gjort flere studier for å finne ut av hvilket av disse materialene som er mest gunstig å bruke med hensyn til klimagassutslipp. Felles for disse studiene er at de allerede har en gitt dimensjon på bygget. En vil da komme frem til ulike resultater, og det er vanskelig å få enighet i bransjen om hva som er det mest gunstige materialet å benytte i bærekonstruksjoner. Det er derfor behov for å generalisere problemstillingene mer for å se om det kan gi bedre grunnlag for å vurdere klimapåvirkningene.

For å finne ut av dette er det nyttig å ha kjennskap til de ulike konstruksjonsmaterialene og hvordan disse fungerer i forhold til hverandre. I forprosjektsoppgaven utført før denne masteroppgaven ble det gjort en studie om materialene stål, tre og betong. Studien kom ved hjelp av enkle beregninger frem til at tre vil være med mest gunstige materiale med tanke på klimagassutslipp. Beregningene bestod da blant annet av en lik last påført en fritt opplagt bjelke i stål, tre og betong. Dette var for å se på forskjellen i nødvendig materialmengde for stål, tre og betong sett i sammenheng med miljøpåvirkning for hvert materiale. For mer sikkert resultat ble det lagt opp til å gjøre en videre studie med mer detaljerte konstruksjoner og gå dypere inn på hvor stor virkning en kan få ved å gjøre ulike endringer og tiltak. Disse tiltakene kan være å bruke lavkarbonbetong istedenfor vanlig betong, benytte tre fremfor betong, redusere materialbruken eller andre metoder. Dette er elementer som denne masteroppgaven skal ta utgangspunkt i.

Det er mange faktorer som spiller inn ved valg av byggematerialer til bærekonstruksjonen. Dette kan være både byggematerialenes egenskaper, forbindelser i knutepunkt, byggematerialenes transportvei, type bygg, høyde på bygget og mye mer. I tillegg spiller kostnadene en avgjørende rolle.

Etter å ha lest Østfoldforskning sin rapport angående miljøpåvirkning i bæresystem i tre og betong oppstod en interesse for å studere de ulike bæresystemelementenes virkning på klimagassutslipp (Anne Rønning, 2019). Et interessant spørsmål man stiller seg er: hva gjør at en får ulike svar på hvilket byggemateriale som er mest gunstig med tanke på klimagassutslipp? Med utgangspunkt i dette spørsmålet oppstod en dypere interesse for å se på hvordan ulike spennvidder for dekker- og bjelkeelementene i konstruksjonen påvirker de totale klimagassutslippene.

De vanligste høybyggene i Norge er enten kontor-, bolig- eller hotellbygg. I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i kontor- og boligbygg for å beregne laster påført bygget, og for å finne krav til lyd og brann. For et best mulig sammenligningsgrunnlag er det viktig at bærekonstruksjonen for de ulike materialene tre og betong skal oppnå de samme ytelseskravene, som kan være ulike for kontor- og boligbygg.

1.2. Problemstilling

Med utgangspunkt i bakgrunnen gitt i kapittel 1.1 er det utarbeidet følgende problemstilling:

«Hvordan vil variasjonen av spennvidder for dekker og bjelker påvirke klimagassutslippene for bærekonstruksjoner i betong og tre?»

I tillegg er det utarbeidet forskningsspørsmål for å få en mer detaljert studie og utdype svarene på problemstillingen. Forskningsspørsmålene er følgende:

Vil ett byggemateriale ha lavere klimagassutslipp enn et annet for alle spennvidder?

Hvordan avhenger byggematerialbruk av spennviddene for dekker og bjelker?

Hvordan vil miljøpåvirkningen variere ved ulike antall etasjer?

Hvordan vil lyd- og brannegenskapene påvirke klimagassutslippet for de ulike bærematerialene tre og betong?

For å besvare problemstillingen og forskningsspørsmålene må det gjøres beregninger av bærekonstruksjonene for betong og tre ved ulike spennvidder for å opprettholde lastene som blir påført. I tillegg må faktorer for å oppnå krav til lyd og brann tas med i beregningene. Videre må beregning av klimagassutslipp for de ulike materialene gjennomføres for at en til slutt kan se på forskjellen i miljøpåvirkningen ved de ulike spennviddene.

1.3. Avgrensninger

Oppgaven med å sammenligne bæresystemer i tre og betong med ulike spennvidder for dekker og bjelker kan være omfattende. For å komme i mål med oppgaven er det gjort enkelte avgrensninger både fra start og underveis. Både betong og tre har ulike former for

løsninger på de ulike elementene i konstruksjonen. For eksempel prefabrikkert eller plaststøpt betong og massivtre eller bjelkelag. For denne oppgaven er det valgt å ta utgangspunkt i prefabrikkerte betongelementer i betongkonstruksjonen og krysslaminert massivtre og limtrelementer for trekonstruksjonen. For en trekonstruksjon i høybygg er det vanlig å benytte massivtre. For bærekonstruksjon av betong vil hulldekker gi mindre mengde betong og stål i forhold til plaststøpt betong. I tillegg er både prefabrikkerte betongelementer, massivtre og limtre produkter som lages i produksjonshaller og deretter blir sendt klar til byggeplass. Dette gir også et bedre grunnlag for sammenligning da de vil ha lik forutsetning for produksjon og transport av de ulike bygningsdelene.

For beregning av miljøpåvirkningen av bærekonstruksjonen er det tatt utgangspunkt i miljødeklarasjoner. Hver miljødeklarasjon vil variere med hensyn til hvor mange av systemgrensene som er inkludert. For å kunne gjøre en mest mulig korrekt sammenligning er det viktig å ta utgangspunkt i det samme grunnlaget. Dette, i tillegg til hva som er relevant ved sammenligning av byggematerialer, er grunnlaget for at det er valgt å avgrense livssyklusanalysen til å se på systemgrensene A1-A4. Det er også valgt å avgrense miljøpåvirkningen til å se på klimagassutslipp og global oppvarming. Dette er fordi man ønsker å senke den globale oppvarmingen som forklart i kapittel 1.1 Bakgrunn. Det er derfor interessant å se hvilken påvirkning byggematerialene da har på dette.

En mer detaljert oversikt over avgrensningene gjort i denne oppgaven er gitt i kapittel 3 Metode.

1.4. Organisering av oppgaven

For å ha en forståelse for byggematerialene og hvordan de fungerer er det viktig med god bakgrunnskunnskap om temaet. Det er derfor gjort en litteraturstudie som er satt sammen med tidligere tilegnet kunnskap. Dette er samlet i kapittel 2 Teori. Etter teoridelen kommer metodekapittelet som blant annet forklarer fremgangsmåten i oppgaven, hvordan de ulike beregningsprogrammene som er brukt fungerer, og til slutt hvordan beregningene er utført for å komme frem til resultatene. En oversikt over resultatene vises både visuelt i grafer og mer detaljert i tabeller i kapittel 4 Resultater.

En mer detaljert gjennomgang og diskusjon av resultatene er gitt i kapittel 5 Drøfting av miljøpåvirkningen, etterfulgt av en konklusjon i kapittel 6. I tillegg er det sett på mulige videreføringer av oppgaven som kunne vært interessant å se på i eventuelle videre studier. Vedleggene legges i eget dokument.

[Blank side]

2. Teori

Oppføring og drift av bygninger står for 40% av klimagassutslippene på global basis (Brenna, 2017). De store utslippene er knyttet til produksjon av bygg, driftsfasen og slutten av livsløpet hvor bygget rives. Å finne bedre løsninger for å redusere klimagassutslippene vil derfor være veldig nyttig. Deler av utslippene kommer fra bærekonstruksjonen, og det er veldig varierende hvor store utslipp det er fra de ulike materialene. I tillegg kan forskjellige løsninger for de ulike byggematerialene gi ulik grad av påvirkning på klima. Et eksempel på en løsning kan være ved sammenføring av bjelker og søyler. Dersom en klarer å legge opp disse uten særlig behov for skruer, bolter eller plater for å feste dem sammen, vil en unngå ekstra utslipp på grunn av de ekstra materialene. Det vil derfor være viktig med en god forståelse for hvordan de ulike materialene fungerer og deres ulike egenskaper for å kunne bruke det grunnlaget i sammenligningen.

2.1. Bæresystem

Bæresystemet består av horisontale og vertikale bærende deler som bjelker og søyler, samt avstivende elementer som skal gi sideveis stabilitet. Avstivende elementer kan for eksempel være veggskiver, fagverk eller skrå søyler/bjelker. Elementene i bæresystemet, altså bærekonstruksjonen, skal sørge for at alle lastene som blir påført bygget, og som kommer fra bygget selv, blir ført ned til fundamentet og videre til grunnen. De må ha tilstrekkelig kapasitet for at bygget ikke skal gå i brudd. (Thue, 2019)

Dekker er ikke en del av hovedbæresystemet da det ikke er sentralt for at bygget skal kunne stå, men de er nødvendige for å kunne bruke bygget som bolig eller kontor. Dekkene kan dermed ses på som et sekundært bæresystem.

De vanligste konstruksjonsmaterialene for kontor- og boligbygg er betong og tre. Disse har ulike egenskaper med både fordeler og ulemper.

2.2. Lyd

Lydkrav for bygninger er gitt for at lydforholdene skal være tilfredsstillende for brukere av ulike typer bygg. Det er gitt ulike krav for ulike typer bygg, og kravene regulerer egenskaper som lydisolasjon, trinnlyd, romakustikk og støy.

I følge §13-6 i TEK 17 kan krav til lydforhold oppnås ved lydklasse C i Norsk Standard NS 8175 «Lydforhold i bygninger» (DIBK, 2017a). NS 8175 klasse C gir anvisninger på grenseverdier for lydtekniske egenskaper som anses som tilstrekkelige for å oppfylle minimumskravene i TEK. Tabell 2.1 viser et utdrag fra standarden «Lydforhold i bygninger. Lydklasser for ulike bygningstyper» (NS 8175:2019) (Standard Norge, 2016a).

Tabell 2.1 Lydkrav for bolig- og kontorbygg (Standard Norge, 2016a)

Type bygg	Type brukerområde	Målestørrelse	Klasse C [dB]
Bolig	Mellom boenheter	$R'_w + C_{50-5000}$	54
		$L_{n,w} + C_{1,50-2500}$	54
Kontor	Mellom kontorer	R'_w	37
		$L_{n,w}$	63

De to målestørrelser som brukes er $R'_{w}+C_{50-5000}$ og $L'_{n,w}+C_{I,50-2500}$. Den første oppgir krav til luftlydisolasjon mellom rom i bygninger mens den andre viser til trinnlydnivået. Luftlyd «overføres» ved at lyd fra TV, personer eller andre kilder bæres gjennom luften til den treffer en bygningsdel og da forårsaker svingninger i konstruksjonen. Lyden kan da føres videre til andre rom i bygningen gjennom konstruksjonen ved at lyden får en utstrålt effekt på baksiden av bygningsdelen. Ved trinnlyd vil denne effekten komme direkte ved at svingninger settes i gang når en går på et gulv, noe som kan oppfattes som lyd. Faktoren R er oppgitt i desibel (dB) og er et reduksjonstall. Dette innebærer at høyere tall gir bedre isolasjon mot luftlyd. For trinnlyd går skalaen for isolasjonsvirkningen motsatt. Der gir et mindre tall lavere lydnivå. Faktoren C er et omgjøringsstall som tar hensyn til egenskaper ved utvidet frekvensområde. (Norsk Treteknisk Institutt, 2016)

Videre kan disse lydene (luftlyd eller trinnlyd) overføres enten direkte eller ved flanketransmisjon. Ved direkte transmisjon overføres lyden direkte gjennom en bygningsdel, mens ved flanketransmisjon går lyden gjennom andre bygningsdeler i tilknytning til bygningsdelene for direkte gjennomgang. Lyden kan da gå gjennom utettheter eller lignende, for eksempel gjennom hulrommet over himlingen under et dekke (og da rundt en vegg) istedenfor rett gjennom veggen. Lyden kan også overføres via knutepunkter som knytter bygningsdeler sammen. (Norsk Treteknisk Institutt, 2016)

Som en kan se av Tabell 2.1, er det strengere krav for boligbygg enn kontorbygg. Dette fører til at det er behov for strengere tiltak til konstruksjonen som gjerne fører til økt materialbruk.

2.3. Brann

En kan skille mellom to typer brannklassifisering: materialets egenskaper ved brannpåvirkning og brannmotstanden. Hvilke egenskaper materialet har til brannpåvirkning omhandler blant annet hvor lett antennelig det er, varmeavgivelse, forbrenningsvarme, røykutvikling og flammespredningsevne. Hvilken brannmotstand materialet har dreier seg om dets brannbeskyttende evner som integritet, isolasjon og bæreevne. Isolasjonssmitte viser til hvor lett varmen trenger gjennom materialet mens integritet er brannsmitte gjennom et materiale ved flammer eller gasser. For tre innebærer dette forkulling, mens for betong avskalling. Materialets brannmotstand handler altså om hvor godt materialet kan stå imot en fullt utviklet brann, mens brannpåvirkningen er hvordan materialet blir påvirket av brann som kan føre til at materialet begynner å brenne.

Byggteknisk forskrift viser til bestemmelser for brannsikkerhet, risikoklasser, brannklasser, bæreevne og stabilitet for bygg. Krav til brannsikkerhet er viktig for å unngå tap av liv og helse ved et brannforløp i et bygg. I tillegg ønsker en å sikre materielle verdier. For å overholde disse kravene må byggverk utformes for å unngå brannutvikling og spredning, sikre rømning og tilrettelegge for slukke- og redningsarbeid. I tiden det tar å utføre slukke- og redningsarbeid må bæresystemet kunne beholde sin bæreevne og stabilitet. Hvor lang tid dette må holde, varierer utfra brannklasse som da sikrer bæreevnen for de enkelte prosjekter. (DIBK, 2017b) (DIBK, 2017c)

Brannklassene gir en forklaring på hvor store konsekvensene er for liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljøet dersom en brann skulle oppstå. Konsekvensene ligger på en skala med fire nivåer fra liten til særlig stor konsekvens. Skalaen for brannklassene er tilsvarende fra 1 til 4 hvor brannklasse 1 tilsvarer liten konsekvens mens

brannklasse 4 gjelder dersom det foreligger særlig stor konsekvens ved forringelse av bærekonstruksjonen ved brann. Et typisk scenario for brannklasse 1 kan være en- eller toetasjersbygg for sporadisk opphold. Brannklasse 3 er gjerne typisk for bygg med fem eller flere etasjer. Ved flere enn 16 etasjer eller byggverk som lagrer farlige stoffer eller ligger under bakkenivå er det gjerne brannklasse 4 som gjelder, men disse må vurderes spesifikt da det ikke finnes preakseptable ytelser for denne brannklassen. (DIBK, 2017d)

Videre baseres brannklassene på risikoklasser. Begrunnelse for hvilken risikoklasse et bygg ligger i gjøres utfra hvilken trussel som foreligger for personene i bygget med tanke på liv og helse. Det er fire «spørsmål» som kan benyttes for å finne risikoklasse for et bygg. Disse er:

- om bygget er beregnet for sporadisk opphold
- om personene kjenner til rømningsforhold og rømningsveier og dermed kan bringe seg selv i sikkerhet
- om bygget er beregnet for overnatting
- om bruken av bygget forutsetter liten eller stor brannfare

Alle disse faktorene er med på å bestemme hvor stor trusselen er for liv og helse. For eksempel vil trusselen være større dersom personene som oppholder seg i bygget ikke kjenner til rømningsveier (typisk hotell eller lignende). Det vil også ha stor innvirkning dersom man sover i bygget da man ikke vil være like oppmerksom dersom det skulle oppstå en brann. Nivåene på risikoklassene går fra 1 til 6 med økende risiko i samsvar med klassen. Byggteknisk forskrift gir også en veiledning med oversikt over hvilken risikoklasse de vanligste byggene ligger i. For eksempel ligger kontorbygg i risikoklasse 2 mens boligbygg ligger i risikoklasse 4. Hovedårsaken til at disse er forskjellig er nok grunnet overnatting i boligbygg mens dette ikke er vanlig i kontorbygg. Typiske bygg for risikoklasse 1 er arbeidsbrakker, hangarer, skur og lignende, mens risikoklasse 6 gjerne gjelder bygg som fengsel, sykehus, hotell og lignende. (DIBK, 2017e)

Utfra brannklasse og risikoklasse kan en finne hvilke krav det er til de ulike bygningsdelene. Tabell 2.2 gir et utdrag fra tabellen fra byggteknisk forskrift angående krav til brannmotstand for bygningsdeler. (DIBK, 2017c)

Tabell 2.2 Brannmotstand for ulike bygningsdeler basert på brannklasse (DIBK, 2017c).

Bygningsdel	Brannklasse		
	1	2	3
Bærende hovedsystem	R30	R60	R90
Sekundære bærende bygningsdeler	R30	R60	R60

2.4. Betong

Betong er blant de mest kjente og vanligste byggematerialene som brukes i bærekonstruksjonen. Det er mye brukt grunnet sin styrke i trykk, fleksibilitet og tilgjengelighet. Det oppnår også gode strekkegenskaper ved bruk av armering. I tillegg har betong gode termiske egenskaper og kan lagre overskuddsvarme (Vinje, 2010). Materialer og råvarer for å lage betong er enkle å få tak i, og det finnes store mengder av dem, men de er ikke fornybare.

I bærekonstruksjonen brukes betong både i søyler, bjelker, dekker og veggskiver. Det er også vanlig å bruke betong som fundament. Kun fantasien setter grenser for hvor og hva betongen kan brukes til. De ulike betongelementene kan både støpes i fabrikker eller på byggeplass. Dersom de blir støpt på forhånd kalles det prefabrikkert betong, mens på byggeplassen kalles det plasstøpt. Hvilken av disse metodene man velger kommer blant annet an på prosjektet.

2.4.1. Oppbygning

Betong er bygget opp av vann, sement og tilslag (Thue, 2007). Tilslaget består av sand og stein i ulike størrelser etter hvilke egenskaper en ønsker for betongen. Tilsetningsstoffer kan tilsettes for å endre egenskapene ved bearbeidelse eller herding av betongen. Dette kan være å utsette eller forskynde herdeprosessen, gjøre betongen lettere å bearbeide ved å gjøre den mer flytende, gi mer frostsikker betong ved å tilsette luftinnførende stoffer eller andre egenskaper. På denne måten trenger ikke de ulike komponentene i betongblandingen å endres på for å oppnå ulike egenskaper. Man kan dermed produsere betong med samme styrke, men med ulike type egenskaper.

2.4.2. Konstruksjonstyper

Plasstøpt/flatdekke

Plasstøpt betong støpes på byggeplass. Ved bruk av denne metoden må det settes opp forskalling på stedet, og ferdig blandet betong sendes til byggeplass og støpes der. Dette setter begrensninger til når betongen kan belastes, noe som kan være en ulempe med tanke på byggetid for prosjektet. Det kreves i tillegg en del mannsstyrke på byggeplass for å få betongen på plass. Fordeler er at det er enklere å gjøre utsparinger på stedet, tekniske føringer kan støpes inn i dekker, og det gir en større mulighet for å gjøre endringer av utforming underveis. For flatdekker kan både slakkarmering eller spennarmering benyttes.

Prefabrikkert

Prefabrikkerte betongelementer er konstruksjonsdeler som produseres på et annet sted enn sin endelige plassering i konstruksjonen. Ved å produsere elementene i fabrikker kan en blant annet sikre gode værforhold. Hulldekke er et typisk prefabrikkert betongelement. Disse brukes ofte som dekker og/eller tak i bærekonstruksjonen for både kontorbygg, boligbygg og flere andre typer bygg. Fordelen med hulldekker er at en kan oppnå lengre spenn, mindre vekt grunnet mindre betong som følger av tynnere plater, og at el- og VVS-installasjoner kan legges i kanalene. Ulemper med denne typen produkt er blant annet begrensninger til utsparinger etter at produktet har kommet til byggeplass og at det krever mer materiale for å oppnå krav til lyd. En generell fordel med prefabrikkerte elementer er at byggetiden på byggeplass vil bli kortere sammenlignet med støping på stedet. På denne måten kan en spare både penger og tid på byggeplass. Tabell 2.3 viser en oversikt over de vanligste størrelsene på hulldekker, samt tilhørende maksimal lengde og maksimal last i tillegg til egenlasten på dekket. Maksimum bruksgrenselast er hentet fra en graf i Betongelementboken Bind A, og er ikke tilsvarende med maksimal lengde, men maksimal last det elementet kan ta. Tallet i parentes oppgir hvilken lengde for dekke som tilsvarer maksimal bruksgrenselast.

Tabell 2.3 Oversikt over ulike størrelser på hulldekker og deres begrensninger til lengde og vekt (Vinje, 2010)

Størrelse hulldekke	Maksimal lengde [m]	Maksimal bruksgrenselast ($0.9 \times g + p$) [kN/m^2]
HD 200	10	14.5 (6 m)
HD 265	13	16.0 (8 m)
HD 320	15	16.3 (9 m)
HD 400	17	18.0 (11 m)
HD 500	19	20.0 (13.3 m)

Ved bruk av prefabrikkerte betongdekker er det vanlig å benytte spennarmering. Nordland betongelement mener at ved bruk av hulldekker fremfor plasstøpte dekker vil en redusere betongmengden med 40% og stålmengden med 50%. I tillegg til at dette gir en positiv virkning på mengde produsert betong vil det også virke positivt i avhendingsprosessen ved at man oppnår mindre avfallsmengder (Nordland betongelement AS).

Armering

For armering kan en skille mellom slakkarmert og spennarmert. Slakkarmert stål har en flytespenning på 500 N/mm^2 , mens for spennarmering er den 3-4 ganger så stor.

Spennarmering kan både være førroppsrent og etterroppsrent. Førroppsrent gjøres vanligvis på fabrikk hvor en spenner opp armeringen før betongen støpes. Ved etterroppsrent legges spennarmeringen i rør før støping, deretter støpes betongen, herder og til slutt spennes armeringen. Førroppsrent armering vil gi bedre heft med betongen, noe etterroppsrent ikke oppnår da armeringen ikke er i direkte kontakt med betongen. Førroppsrent betong er mest vanlig å benytte for prefabrikkerte betongelementer, mens etterroppsrent er mer vanlig for plasstøpt betong.

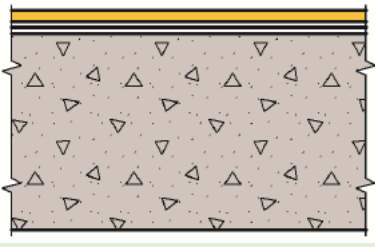
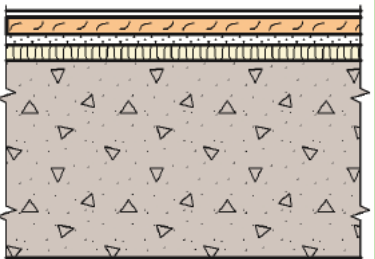
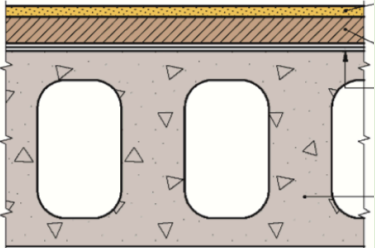
Styrkeklasser

For betong gjelder samme styrkeklasser uavhengig av konstruksjonstype. Fasthetsklassene for betong er gitt i Eurokode 2. En kan oppnå en trykkfasthet fra 12 til 90 MPa. Disse verdiene er basert på karakteristisk sylindrefasthet etter 28 døgn, og styrken stiger i samsvar med økt verdi. De vanligste fasthetsklassene er B30 til B45. (Standard Norge, 2018b)

2.4.3. Lyd

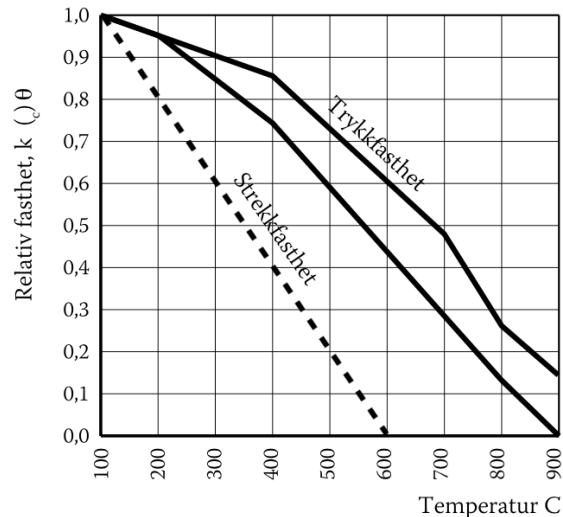
Siden betong er et relativt tungt materiale, vil det ha gode egenskaper i lydforhold. Siden materialet har en relativt høy densitet og en benytter relativt store mengder med betong for å oppnå ønsket styrke vil det få en vekt som gjør at betongelementene ikke vibrerer like lett som andre lettere materialer. Likevel trengs det noen tiltak. Byggedetaljblad 522.514 oppgir ulike løsninger for massivdekke av betong, mens betongelementboken bind I og en forskningsrapport fra SINTEF oppgir ulike løsninger for hulldekker. I betongelementboken Bind E vises en løsning for hulldekke som vist i Tabell 2.4, men uten sparkelavretting, som de mener holder for hulldekke med minste høyde på 265 mm. De viser en annen løsning for hulldekke med høyde 200 mm, men lydkravene er nesten oppfylt med løsningen som vist under (men uten sparkelavretting) og dermed antas det at løsningen til SINTEF har god nok kapasitet for HD200. (Skogstad, 2018) (Østreng, 2008)

Tabell 2.4 Materiale for å oppnå lydkrav i betongkonstruksjon (Byggforskserien, 2015a) (Skogstad, 2018)

Type dekke	Oppbygning	Holder lydkrav til	Illustrasjon
Massiv	Parkett 14 mm	Bolig- og kontorbygg Fungerer også for kontorbygg med 200 mm betong	 (Byggforskserien, 2015a)
	Laminatgulv 7 mm		
	Eksperandert PE 2-3 mm		
	Betong 250 mm		
	Parkett 14 mm	Bolig- og kontorbygg	 (Byggforskserien, 2015a)
	Porøs trefiberplate 36 mm		
	Betong 200 mm		
Hulldekke	Parkett/laminatgulv 13-15 mm	Bolig- og kontorbygg	 (Skogstad, 2018)
	Hunton Silencio 36		
	Sparkelavretting 10 mm		
	HD200		

2.4.4. Brann

Betong er ansett som det konstruksjonsmaterialet som best tåler et brannforløp. Noe av grunnen til dette er betongens evne til å absorbere varme, og at det er selvisolerende ved temperaturpåvirkninger. Varmeledningsevnen til betong ligger på 2 W/mK, mens for betong med armering ligger den på 2,5W/mK (Byggforskserien, 2003). På grunn av betongens fuktinnhold vil varmeinntrengningen i betongen bli forsinket fordi fordampingen tar varmen (Vinje, 2017). Etterhvert som temperaturen i betongen stiger over 100°C vil trykk- og strekkfastheten i betongen reduseres som vist i Figur 2.1.



Figur 2.1 Utviklingen av den relative fastheten i betongen ved temperaturstigning (Vinje, 2017)

Betongens karakteristiske fasthet kan beregnes ved følgende formel:

$$f_{ck}(\theta) = k_c(\theta) \times f_{ck}(20^\circ\text{C}),$$

hvor $f_{ck}(20^\circ\text{C})$ er gitt ved sylindrefastheten til betongen som beskrevet i kapittel 2.4.2. Den nederste streken for trykkfasthet gjelder for kvartsholdig tilslag, mens den øverste streken gjelder ved kalkholdig tilslag. Figur 2.1 er gjeldene for normalbetong og lettbetong hvor den karakteristiske trykkfastheten er mindre eller lik 65 MPa. En ulempe med fuktighet i betongen på over tre vektprosent er at det er en risiko for eksplosiv avskalling av betongen ved hurtig oppvarming dersom det er høye trykkspenninger og små tverrsnittsdimensjoner. Det må derfor tas hensyn til fuktinnholdet, oppvarmingshastigheten, tilslagsmaterialet og permeabiliteten til betongen for å unngå dette. For å sikre at betongen skal holde sin styrke gjennom brannforløpet kan man sette krav til minste tverrsnittsdimensjoner. (Vinje, 2017)

Flatdekke

Byggdetaljbladet om brannmotstand for etasjeskillere oppgir minste dekketykkelse og armeringsdybde som er nødvendig for å oppnå de ulike brannmotstandene. For å oppnå en brannmotstand på minst REI60 i et plasstøpt dekke kreves en minste dekketykkelse på 80 millimeter og en armeringsdybde på 10-20 millimeter avhengig av om det er en- eller toveisplate samt differansen mellom lengde og bredde ved toveisplate. En dekketykkelse på under 80 millimeter og armeringsdybde under 20 millimeter er lite relevant for dekker og dermed vil dimensjoner på flatdekke av betong som regel opprettholde brannkrav. Ved dekketykkelse på 175 millimeter og armeringsdybde på 40-65 millimeter vil en oppnå brannmotstand helt opp til RE240. (Byggforskserien, 2008)

Hulldekke

Også hulldekker kan oppnå en brannmotstand opp til REI240. For hulldekker er brannmotstanden også avhengig av tykkelsen på hulldekket og armeringsdybden for spenntauene. Jo høyere dekketykkelse og armeringsdybde, jo større blir brannmotstanden. Men for å oppnå REI240 er det tatt utgangspunkt i en armeringsdybde på 80 mm. De vanligste hulldekkene har en armeringsdybde på 40 millimeter, og HD200, HD265, HD320, HD400 og HD500 vil dermed oppnå en brannmotstand på minst REI60 uten ekstra tiltak (Vinje, 2017). Dette oppfyller kravene i TEK 17 om brannmotstand for

sekundært bæresystem og dekker. Dersom dekkene er en del av bæresystemet og dermed krever en brannmotstand på REI90, kan armeringsdybden økes til 45 millimeter.

Bjelke

Bjelker er som regel en del av hovedbæresystemet og må da ha en høyere brannmotstand enn dekker ved brannklasse 3 (DIBK, 2017c). For å oppnå dette i slakkarmerte rektangulære bjelker trengs en minste bredde på 150 millimeter og armeringsdybde på 55 millimeter, eventuelt 200 millimeter bredde og 45 millimeter armeringsdybde, 250 millimeter bredde og 40 millimeter armeringsdybde eller 400 millimeter bredde og armeringsdybde på 35 millimeter. I tillegg må tverrsnittsarealet til bjelken være minst $2 \cdot b^2$, hvor b er bredden, dersom alle sider av bjelken er utsatt for brann. Ved spennarmerte bjelker må armeringsdybden være 15 millimeter større enn ved slakkarmert. (Byggforskserien, 2009a)

Søyle

For søyler vil hjørnene være mest utsatt for temperaturpåkjenning. For å oppnå en brannmotstand på R90 ved en utnyttelsesgrad ved brann på 0.5 kreves en minste tverrsnittsbredde på 300 millimeter og armeringsdybde på 45 millimeter, eventuelt tverrsnittsbredde på 400 millimeter og armeringsdybde på 38 mm. Ved en utnyttelsesgrad på 0.2 kan tverrsnittsbredden være helt nede i 200 millimeter og en armeringsdybde på 31 mm. Mindre dimensjoner enn dette vil ikke være naturlig ved et bolig- eller kontorbygg, og dermed vil som regel søyler i betong være godt nok utrustet for brann i seg selv (Vinje, 2017).

2.5. Tre

Tre som byggemateriale i bærekonstruksjonen har blitt brukt i flere århundrer, men har de siste årene blitt mer populært i høyere bygg grunnet sin fordel for miljøet. Når trær vokser, omdannes CO₂ til biomasse gjennom fotosyntesen. Når treet dør eller brennes vil CO₂ slippes ut igjen. CO₂-en vil da bli en del av den naturlige karbonsyklusen og dermed bidra til å danne biomasse i ny skog. Dersom man bygger i tre vil CO₂ lagres i treet, og en oppnår en lagring av 0.8 tonn CO₂ ved å bruke 1 m³ tre i bygg. Når trær blir hugget ned, vokser nye opp, og disse vil kunne ta opp nye mengder CO₂, som forklart over. På denne måten vil større andel bygg i tre gi mindre CO₂ i atmosfæren. Dette gjør at tre i konstruksjonen er gunstig for klimaet (Svanæs, 2004).

Trekonstruksjoner brukes både i bæresystem, yttervegger, takkonstruksjoner, tårn, bruer og stillaser. De senere årene har utviklingen av treelementer gitt større fleksibilitet for konstruksjoner i tre. Siden slutten av 1950-årene hvor limtre ble produsert i Norge for første gang, har det vært mulig å lage langt flere former, fasonger og bruksområder for trekonstruksjoner (Store Norske Leksikon, 2009). Grunnet sin lave densitet i forhold til andre konstruksjonsmaterialer, er tre et lett byggemateriale og kan være gunstig ved dårlig grunn eller påbygg i høyden (Trefokus). Treets relativt høye styrke i forhold til egenvekten gir også muligheter for store spennvidder. Det har også gode varmeisolerende egenskaper, noe som kan hjelpe med å forebygge varmetap.

2.5.1. Oppbygning

Norske skoger består av 90% gran, furu og bjørk (NIBIO). Gran og furu er bartrær mens bjørk er en type løvtre. På engelsk kalles disse henholdsvis softwood og hardwood, og

disse er fordelt cirka 80/20% i norske skoger. Hvert treslag har ulik oppbygging og karakteristiske egenskaper, men felles for de alle er at de har en fiberstruktur. Fibrene går langsmed stammen og utfra disse kan en vise til styrkeegenskapene i de ulike retningene for tre (Skaug). Treet er sterkest langs fibrene og styrken reduseres betydelig i retning på tvers av fibrene. En kan her også skille mellom bartrær og løvtrær. I bartrærne består cirka 85-95% av volumet av fibre, mens for løvtrærne er denne andelen 37-70%.

I tillegg vil ulike tretyper ha ulik styrke som nevnt først i avsnittet. Dette innebærer styrke og hardhet. Disse egenskapene kan forbedres dersom en lager limtre eller massivtre. I tillegg har de ulike tresortene forskjellig estetikk som kan være en viktig faktor dersom treet skal være synlig i bygget uten overflatebehandling som skjuler treet utseende.

Bartrærne brukes mest i konstruksjonsvirke, mens løvtrær er mer brukt i kledning, panel og gulv (Byggforskserien, 2015b). Tabell 2.5 viser densiteten og ulike typer styrker ved de ulike tresortene. Som en kan se har løvtreet bjørk en høyere densitet og styrke enn bartrærne gran og furu.

Tabell 2.5 Densitet og styrke bartre og løvtre (Byggforskserien, 2015b)

Treslag	Densitet ved 12% fuktighet [kg/m ³]	Bøyefasthet [N/mm ²]	Strekfasthet, parallelt med fibre [N/mm ²]	Trykkfasthet, parallelt med fibre [N/mm ²]	E-modul ved bøyning [kN/mm ²]	Brinellhardhet på tvers av fibre [N/mm ²]
Bartre						
<i>Gran</i>	470	78	90	50	11,0	11
<i>Furu</i>	520	87	104	55	12,0	19
Europeisk løvtre						
<i>Bjørk</i>	637	147	173	51	14,7	36

Som en kan se av tabellen, har bjørk 35% høyere densitet enn gran, mens bøyefastheten er 88% høyere. Både bøyefastheten og strekkfastheten i forhold til densiteten er høyere for bjørk enn for gran og furu, men likevel er det vanligst å bruke gran eller furu i bærekonstruksjon. Bjørk brukes kun dersom det er et ønske om et arkitektonisk fint utseende. Begge tresortene gode styrke- og limeegenskaper (Moelven).

2.5.2. Konstruksjonstyper

Konstruksjonsvirke

Konstruksjonsvirke er trelast sortert etter styrke. Vanlig bruksområde er i bjelkelag, som stendere, takbjelker og taksperre. Typisk for disse bruksområdene er at de er gjemt i konstruksjonen, og det stilles dermed ikke særlige krav til utseende for disse. Konstruksjonsvirke har en egen standard for fasthetsklasser, NS-EN 338. Den skiller mellom fasthetsklasser for softwood og hardwood som forklart i 2.5.1 Oppbygging. For softwood kan en oppnå styrkeklasse fra C14 til C50. De to tallene representerer bøyestyrken til styrkeklassen og har økende styrke ved økende tallverdi. De mest vanlige styrkeklassene for konstruksjonsvirke er C16, C18, C24 og C30. (Standard Norge, 2016b)

Ved kvister i konstruksjonsvirke vil styrken svekkes. Ved styrkesortering kan kvistene føre til at konstruksjonsvirke blir satt i en lavere styrkeklasse. En kan også kappe vekk kvistene

ved behov og deretter fingerskjøte for å oppnå ønsket lengde på konstruksjonsvirke. Fingerskjøting er vist i Figur 2.2. (Øvrum, 2012)



Figur 2.2 Fingerskjøt (Bergene Holm AS)

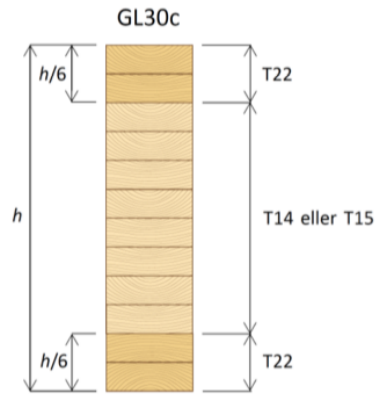
Basert på Norsk Standard har Byggforsk utarbeidet en tabell for kapasitet, lengde- og tverrsnittsdimensjoner på bjelker av konstruksjonsvirke av fasthetsklassen C24. I denne tabellen i byggdetaljblad 520.222 kan en se at det ikke er mulig å oppnå større spennvidde enn 4.8 meter for de vanlige tverrsnittsdimensjonene til konstruksjonsvirke. Dette setter begrensninger i prosjekteringen. For å oppnå større dimensjoner på spennvidder kan en bruke bjelker av limtre. (Byggforskserien, 2011)

Limtre

Limtre brukes både i søyler, bjelker, sperrer, åser og ellers der hvor man ikke oppnår god nok styrke med konstruksjonsvirke. Limtre kan utformes i ulike former og fasonger etter ønske som for eksempel rette, krumme eller varierende høyde gjennom elementet.

Limtremetoden går ut på å lime sammen trelameller for å øke styrken og for å oppnå større dimensjoner. Ved fingerskjøting kan en oppnå ønsket lengde, mens ved liming av trelameller kan en få større dimensjoner i bredde og høyde. Vanlig bredde på trelamellene er 45 mm. Ved denne metoden blir alle trelamellene lagt med fibre i samme retning slik at styrken i de ulike retningene vil fungere på samme måte som ved konstruksjonsvirke. Men styrken i limtreet kan variere på andre måter. (Norsk limtreprodusenters forening, 2015)

En kan skille mellom to typer oppbygning for limtre, homogen og heterogen. Ved homogen oppbygning vil alle lamellene ha lik styrke gjennom hele tverrsnittet, mens ved heterogen vil styrkene variere. Det benyttes da tre av høyere styrke ytterst og litt lavere styrke i midten som en kan se på Figur 2.3. Påkjeningen er som regel størst ytterst, så det vil dermed ikke nødvendigvis trenge lik styrke gjennom hele limtreet. På denne måten kan en spare vekt og kan lettere få tak i materialene som trengs. Forkortelsen for kombinert (combined) er oppgitt som GLxxc, mens homogen er gitt ved GLxxh. (Standard Norge, 2016c)

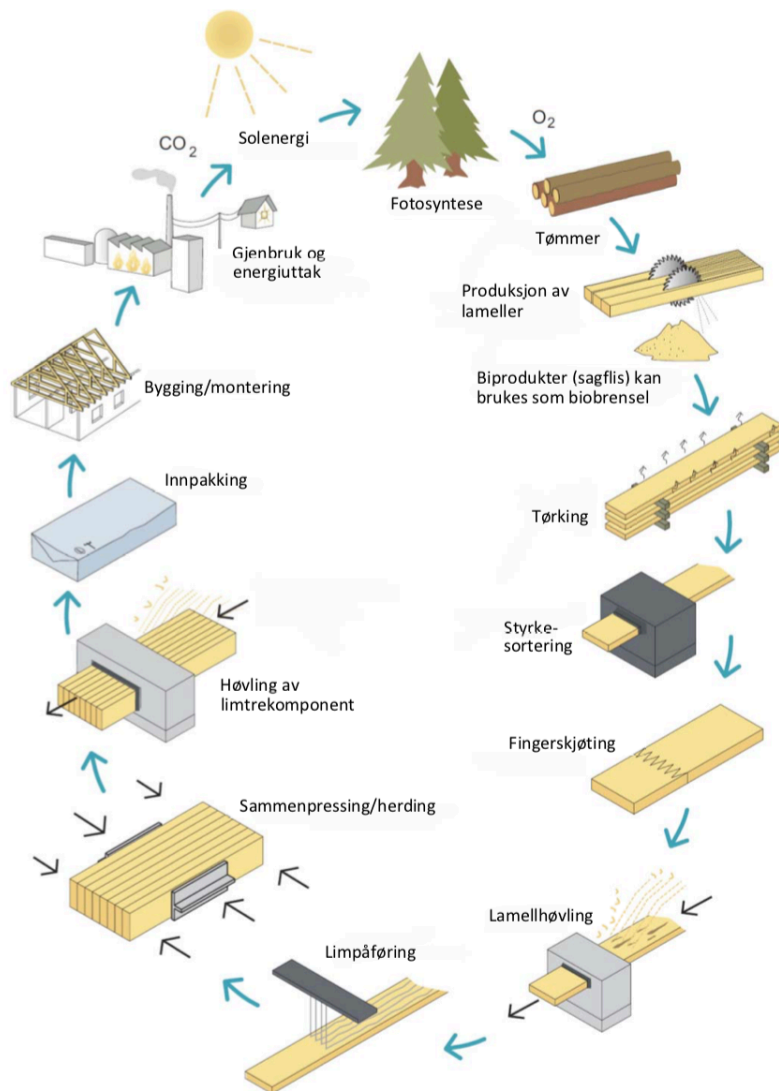


Figur 2.3 Limtre (Norsk limtreprodusenters forening, 2015)

Standarden NS-EN 14080 angir krav og styrkeklasser for limtre. Homogent og kombinert limtre kommer i styrkeklassene GL20h/c til GL32h/c hvor tallene beskriver bøyefastheten til materialet på samme måte som i konstruksjonsvirke. De vanligste bøyefasthetene er 30 N/mm² og 32 N/mm². (Standard Norge, 2016c)

For å oppnå høyere styrke i limtre kan en øke antall lameller både i høyden og bredden. De vanligste breddene for limtre er 45, 90 og 135 mm, men en kan også benytte blant annet 140, 165, 190 og 215 mm. For høyde kan en velge et tall ganget med 45 millimeter da hver lamell har en tykkelse på 45 mm. Det er også mulig å blokklime flere limtrebjelker for å oppnå større dimensjoner.

Kretsløpet for limtre er vist i Figur 2.4. En kan her også se prosessen for hvordan limtre produseres. I maskinprosessene benyttes vanligvis fornybar energi. Det syntetiske limet som brukes er ikke laget av fornybart råmateriale, men den består av under én vektprosent av limtreet og vil dermed ikke være av stor betydning for miljøet. Det vil likevel ha en viss innvirkning. Det er også andre prosessrelaterte utslipp fra limprosessen som vaskevann fra limet, overskudd av lim og andre stoffer i forbindelse med herding av limet. (Norsk limtreprodusenters forening, 2015)



Figur 2.4 Kretsløp for limtre (Norsk limtreprodusenters forening, 2015)

Limtre har en god brannmotstand og er også sagt å være sterkere enn stål ifølge limtreforeningen (Norsk limtreprodusenters forening).

Massivtre

Denne type treelementer er vanlig å bruke som dekker eller veggskiver. Produksjon av massivtre fungerer omtrent på samme måte som limtre. En kan skille mellom to typer massivtre, kantstilte elementer og krysslagte elementer. Ved kantstilt blir stående lameller satt sammen ved forbindelsesmidler som skruer, tredybler, stålstag eller spikre. For krysslaminerte elementer blir lamellene lagt ved siden av hverandre i et sjikt hvor neste sjikt blir lagt 90 grader på sjiktet under. Slik fortsetter det til ønsket element er oppnådd, og en vil sitte igjen med krysslaminert massivtre som vist på Figur 2.5. Hvor mange lag, og størrelse på massivtreelementet, avhenger av ønsket funksjon og bruksområde. Ved at sjiktene ligger 90 grader på hverandre vil en oppnå en annen styrkefunksjon enn når lamellene ligger lik vei. Ved krysslaminert element vil retningen på fibre samsvare med retningen på lamellene, og dermed vil elementet oppnå en bedre styrke i alle retninger.



Figur 2.5 Krysslaminert massivtre (Glasø, 2011a)

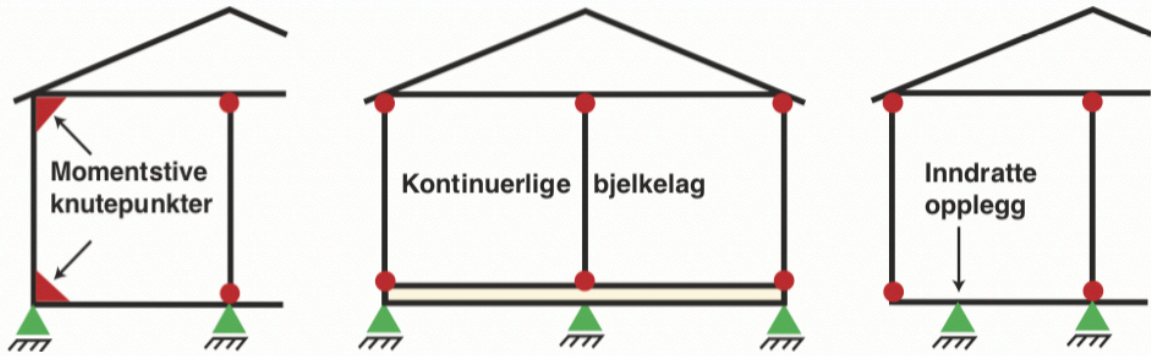
Styrken til massivtreelementer baseres på styrken til lamellene. De vanligste styrkeklassene er C24 og C28. Videre oppnår man høyere styrke i massivtreelementene ved å øke antall lameller og dermed tykkelsen på dekkene.

2.5.3. Lyd

Siden tre er et relativt lett materiale vil svingninger lettere kunne oppstå, spesielt i lave frekvenser. Dette er til ulempe med tanke på at lydbølgene kan sette i gang svingninger i bygningsdeler som forklart i kapittel 2.2 Lyd. (Glasø, 2011b)

For dimensjonering av etasjeskillere nevner Trefokus to punkter det er viktig å ta hensyn til ved dimensjonering av bjelkelag. Disse er hvordan lydisolasjonsegenskapene til konstruksjonen er alene, og koblingen mellom bjelkelaget og den øvrige bæresystemet med hensyn til flanketransmisjon. Stivhet og styrke for statiske og dynamiske laster er ofte dimensjonerende for bjelkelag alene, og disse egenskapene er viktig for å oppnå best mulig lydisoleringsegenskaper. (Glasø, 2011b)

Bæresystemet og hvordan koblingene i knutepunktene er satt opp vil også ha mye å si for forplantning av lyd og vibrasjoner mellom bygningsdeler. En ønsker derfor å øke den statiske stivheten i konstruksjonen for å unngå at dette skjer. Måter dette kan gjøres på er blant annet å bruke kontinuerlige bjelkelag. Dette er derimot ikke nødvendigvis gunstig ved dynamiske belastninger med tanke på at vibrasjoner da lettere spres i bygningen. Momentstive knutepunkt mellom yttervegg og bjelkelag kan også være gunstig med tanke på lyd, men det kan gi økte vibrasjoner i horisontal retning i veggene noe som kan gi ulyd for monterte skap eller lignende på veggene. Dersom det er en tung vegg kan denne med fordel ha et momentstivt knutepunkt med et lett gulv da tyngre elementer vil bli mindre påvirket. Det kan også være en fordel å bruke inndratte opplegg, men en vil her også oppleve noen av ulempene som ved momentstive knutepunkt. Figur 2.6 viser en illustrasjon på mulige løsninger i bæresystemet som nevnt over. (Glasø, 2011b)



Figur 2.6 Illustrasjon av ulike løsninger for å forhindre planting av lyd og vibrasjoner i bærekonstruksjonen av tre (Glasø, 2011b)

Siden massivtredekker alene ikke kan oppfylle krav til lydforhold, trenger de ekstra tiltak. Tabell 2.6 viser ulike løsninger som kan benyttes for å oppnå de ulike lydkravene ved trekonstruksjon. Tiltak som kan utføres for å minske trinnlyd er flytende overgulv (med eller uten økt punktstivhet), økt tyngde i overgulv eller nedsenket eller frittstående himling (Glasø, 2011b).

Tabell 2.6 Materiale for å oppnå lydkrav i trekonstruksjon. (Limmesand, 2019)

Type dekke	Oppbygning	Holder lydkrav til	Illustrasjon
Massivtre	Sparkelmasse 40 mm	Bolig- og kontorbygg	<p>(Limmesand, 2019)</p>
	Trinnlydplate 20-30 mm		
	Pukk 100 mm		
	Massivtreplate 140 mm		
	Påstøp 80 mm	Bolig- og kontorbygg	<p>(Limmesand, 2019)</p>
	Trinnlydplate 50 mm		
	Massivtre 120 mm		
	Isolert hulrom 150 mm		
	Gipsplate 2x13 mm		
	Parkett 14 mm		
Gulvgips 13 mm			
Sponplate 22 mm			
Isolasjon (Glava 36) 100 mm			
Tilfarer 48x98			
Elastisk underlag cc/1200 mm 40x25x450 mm			
Massivtre krysslaminert			

Betong er også gunstig å bruke i dekkekonstruksjon med tre da det gir mer tyngde som også virker positivt med tanke på vibrasjoner i dekket. Det finnes mange ulike måter å løse lydtiltak på i en trekonstruksjon, men dersom man kan kombinere lydtiltak med branntiltak vil en muligens kunne redusere total materialbruk.

2.5.4. Brann

Tre er et brennbart materiale, men man vet mye om hvordan tre fungerer i brann og kan dermed forutse hva som skjer og følgelig dimensjonere utfra dette. Når treet brenner foregår det en forkullingsprosess. Treet bak det forkullede laget vil da bli beskyttet og samtidig beholde sin styrke og stivhet. Forkullingshastigheten for konstruksjonsvirkene gran og furu samt limtre ligger på 0.65 millimeter per minutt (Standard Norge, 2010a). Ved ensidig brannpåkjenning kan forkullingsdybden på treet beregnes utfra dette tallet ganget med tiden for branneksponeering i minutter. Ved brannpåkjenning på flere sider må minste tverrsnittsbredde beregnes utfra formelen:

$$b_{min}=2*d_{char,0} + 80 \text{ mm (Standard Norge, 2010a),}$$

hvor $d_{char,0}$ er lik forkullingshastigheten for ensidig brannpåkjenning. Videre kan en beregne den effektive tverrsnittsreduksjonen hvor en deretter kan beregne tverrsnittet en sitter igjen med etter et brannløp. Ved et brannløp som varer i over 20 minutter kan tverrsnittsreduksjonen beregnes ved formelen:

$$d_{ef}= d_{char,0} + 7 \text{ mm. (Byggforskserien, 2009a)}$$

På grunn av den konstante forkullingshastigheten er tre forutsigbart i brannsammenheng, og det er derfor mulig å vite når det vil kollapse. I tillegg har treet lav varmeledningsevne, cirka 0.2 W/mK avhengig av densiteten, noe som gjør at temperaturøkning på ueksponert side er liten gitt at konstruksjonen er tett. De branntekniske egenskapene til overflatene har mye å si for utviklingen av brannforløpet. Derfor kan det være gunstig å overflatebehandle treet eller ha en kledning som er ubrennbar, eventuelt har begrenset brennbarhet. (Glasø, 2012)

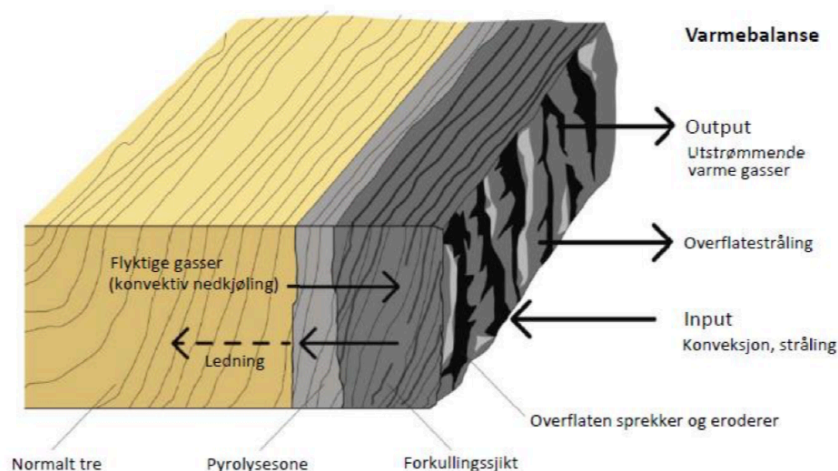
For boligbygg med over fire etasjer kreves minst brannklasse 3. Det finnes ingen standardiserte beregningsmodeller eller analyseverktøy for denne brannklassen. Derfor må dette dokumenteres av en ansvarlig prosjekterende. Det er likevel gjort noen forsøk som kan gi nyttig informasjon angående dette. Trefokus nevner blant annet brannforsøk som ble gjort på lette trekonstruksjoner hvor de kom frem til at trekonstruksjonen kan beskyttes for at forkullingen ikke skal starte. Det ble da brukt 13 millimeter gips og to lag med branngips på 15 millimeter rundt trekonstruksjonen. Med denne beskyttelsen ville temperaturen ved trekonstruksjonen ikke overstige 300 grader slik at forkullingen kunne skje (Glasø, 2012).

Eurokode 5 del 1-2 viser til en formel for å beregne når forkullingen i treet starter dersom en beskytter treet med gips. Ved et lag med gips av type A eller F vil forkullingen starte etter

$$t_{ch}=2.8*h_p-23$$

minutter. Ved to lag med branngips vil en kunne bruke samme formel, men redusere det innerste gipslaget med 20%. For vanlig gips reduseres det innerste laget med 50%. (Standard Norge, 2010a)

Sweco har laget en rapport på fullstendig brannforløp med limtrekonstruksjoner. Denne ble gjort for den norske limtreprodusenters forening. Testen ble utført på tre limtresøyler som ble utsatt for en standard brann i 90 minutter. Testen inkluderte også avkjølingsfasen for å se hvordan forkullingen utviklet seg der. Total tid for hele testen ble da på 5.5 timer, og resultatet viste at forkullingen stanset av seg selv. Foruten om ved hjørnene var det ingen deler som viste en temperatur over 300 grader lenger inn enn 70 millimeter i trevirket. Dette viser altså at limtrekonstruksjon kan beholde sin bæreevne gjennom et fullstendig brannforløp, og at en limtrekonstruksjon vil kunne tilfredsstille også brannklasse 3 og 4. Figur 2.7 viser forkullingen av treverk. (Andersen, 2017)



Figur 2.7 Forkulling av treverk (Andersen, 2017)

Konstruksjonstre, limtre og massivtre kan altså sikres mot brann ved å ha tilstrekkelig stor tykkelse for å opprettholde bæreevnen med forkullingen eller skjermes for brannen og temperaturøkning ved bruk av tre gipsplater. Hvilket valg man går for kommer an på tiltak mot lyd og ønske om synlig tre eller ikke. I tillegg kan ønske om totalt klimagassutslipp ha betydning for valget da tre har negativt utslipp mens gips har positivt utslipp av CO₂ ved fasene A1 til A3.

2.6. Laster

Laster kan påføres bygget i ulike størrelser, komme fra ulike retninger og virke på ulike tidspunkt. Ved prosjektering av et bygg må en ta hensyn til de laster som kan bli påført under hele livsløpet.

2.6.1. Egenlast

Egenlast er en lastpåføring med en permanent påvirkning, altså er last som alltid vil være til stede. En benytter variabelen g for å vise til egenlast. Typiske elementer hvor lasten påføres som en egenlast er tak, vegger, søyler, bjelker, dekker og lignende. Altså elementer som ikke vil flyttes på. (Standard Norge, 2016d)

Byggforsk viser til ulike størrelser ulike konstruksjonsdeler kan ha for egenlaster i byggdetaljblad 471.031. Dette inkluderer både bærende elementer og andre materialer for

å representere de fleste konstruksjonsvariantene innen hver gruppe av elementer. Byggdetaljbladet oppgir også egenlast for enkelte produkter som blant annet tilleggsmateriale til dekker for å oppnå krav til lyd. Typiske produkter for dette kan være gipsplater, trefiberplater og lignende. Noen materialer kan også være for å oppnå ønsket utseende eller funksjoner til elementene. En må altså legge til egenvekt for alle permanente bygningsdeler ved beregning. (Byggforskserien, 2013)

Egenlasten virker med tyngdekraften og kan også beregnes ved å bruke tettheten til materialet og tyngdeakselerasjonen. Egenlasten virker altså alltid vertikalt nedover. Tettheten til de fleste materialer en kan bruke i sammenheng med bygg er oppgitt i Standarden NS-EN 1991-1-1. (Standard Norge, 2019)

2.6.2. Nyttelast

Nyttelast er en lastpåføring med en variabel påvirkning og avhenger av tid og kan variere i størrelse. Variabelen for nyttelast er gitt ved Q (Standard Norge, 2016d). Nyttelasten oppgis i Eurokode NS-EN 1991-1-1. På samme måte som egenlasten virker nyttelasten med tyngdekraften (nedover) med mindre spesielle tilfeller inntreffer. For boligbygg er standard nyttelast på 2 kN/m^2 , mens for kontorbygg er nyttelasten beregnet til å være 3 kN/m^2 . (Standard Norge, 2019)

2.6.3. Vindlast

Vindlast er den lasten et bygg blir belastet med på grunn av vind i området. Denne lasten virker horisontalt på bygget og kan komme fra ulike retninger/sider av bygget. Vindlasten kan virke som både trykk og sug-krefter. Lasten fra vinden kan enten bli tatt opp og ført videre av søylene i bygget eller ved egne veggskiver som virker stabiliserende. Ved den sistnevnte løsningen regner en ikke med at søylene, bjelkene eller dekkene i bygget blir belastet med vindlasten. Størrelsen på vindlasten varierer fra sted til sted i Norge, samt med høyden på bygget. Utformingen av bygget vil også være av betydning. Vindlaster kan beregnes etter Standard NS-EN 1991-1-4 og variabelen er gitt ved v . (Standard Norge, 2009)

2.6.4. Snølast

Snølast er den lasten et bygg blir belastet med ved snøfall i området. Denne kan både legge seg flatt på taket eller formes i fonn på grunn av vinden. Siden snøen legger seg på taket vil det kun være taket og søylene i bygget som må dimensjoneres for denne type last. Snølasten varierer utfra hvor i Norge bygget er plassert. Beregning av snølasten gjøres etter Standard NS-EN 1991-1-3 og variabelen er gitt ved s . (Standard Norge, 2018a)

2.6.5. Seismisk last

Jordskjelv, også kalt seismisk påvirkning, er en last som kommer av bevegelser i grunnen ved jordskjelv. Variabelen for seismisk last er gitt ved A_E . Seismisk påvirkning er en form for ulykkespåvirkning, noe som vanligvis er kortvarig men gjerne betydelig av størrelse. Det er gjerne liten sannsynlighet for at det skal skje, men det kan ikke utelukkes og må dermed gjøres beregninger for også dette. Dersom det skulle oppstå jordskjelv ville det medført store konsekvenser dersom det ikke ble dimensjonert for. (Standard Norge, 2016d)

2.6.6. Lastkombinasjoner

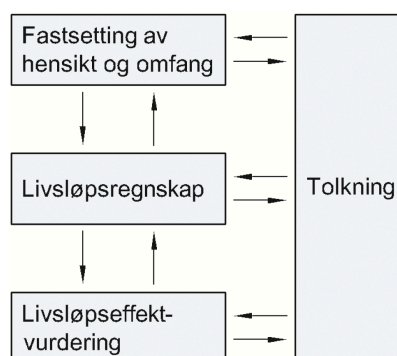
For å se på den sammensatte virkningen av de ulike lastene benyttes lastkombinasjoner. Lastkombinasjonene er gitt av ulike formler i Eurokode 0, og en skiller mellom ulike kombinasjoner utfra hvilke lasttilfeller en har. Ulike lasttilfeller kan være om man har ulykkeslast, seismisk last, bruksgrense eller bruddgrense. Lasttilfellene må beregnes for de kombinasjonene som kan oppstå i gjeldende prosjekt. Grunnen til at en beregner flere ulike lasttilfeller, og ikke kun per last, er fordi det er liten sannsynlighet for at alle lastene med maksimal påvirkning skjer samtidig. En ser derfor på ulike tilfeller og avgjør til slutt hvilken kombinasjon som gir det verste utfallet da det vil bli dimensjonerende. I tillegg bruker en lastfaktorer hvor verdiene avhenger av om en beregner for bruddgrense eller bruksgrense.

Ifølge Eurokode er bruddgrensetilstand en tilstand knyttet til sammenbrudd eller andre former for konstruksjonssvikt, mens en bruksgrensetilstand viser grensen for når krav ved normal bruk ikke lenger oppfylles av konstruksjonen eller konstruksjonsdelene. Dette kan være nedbøyning av et dekke hvor en ikke ønsker at den skal bøye seg mer enn en viss lengde fordi det kan virke utrygt eller ubehagelig av brukeren selv om det ikke nødvendigvis vil føre til skade på konstruksjonen. En kan skille mellom irreversibel bruksgrensetilstand og reversibel bruksgrensetilstand. Ved irreversibel vil ikke konstruksjonen eller konstruksjonsdelen gå tilbake til sitt opprinnelige utgangspunkt etter påvirkningen er opphørt, mens ved reversibel vil den gå tilbake til sin originale form. Seismisk last inngår som en del av ulykkeslast og gir lastkombinasjoner for tilfeller en bærekonstruksjon må tåle dersom en ulykke skulle oppstå. Jordskjelv er en sjelden hendelse i Norge og ses derfor på som en ulykkeslast. Ifølge Eurokode er det en liten sannsynlighet for at en ulykkesituasjon skal oppstå, men må likevel dimensjoneres for dersom man har en ulykkeslast.

2.7. Livssyklusanalyse

2.7.1. Generell metode

Livssyklusanalyse (LCA) er en metode for å beregne miljø- og ressurspåvirkningen til et produkt gjennom hele dets livsløp. Denne livsløpsvurderingen undersøker de potensielle påvirkningene et produkt eller bygning kan ha på miljøet gjennom dets livsløp fra utvinning av råvarer, til produksjon og til slutt avhending. For å gjennomføre en slik vurdering går en gjennom en iterativ prosess med fire ulike faser. Denne iterative prosessen er vist i Figur 2.8. (Byggforskserien, 2014a)



Figur 2.8 Den iterative prosessen av de ulike fasene i en livsløpsvurdering (Byggforskserien, 2014a)

Fase 1 går ut på å fastsette hensikten, mål og omfanget av studien. Det er her man velger hva en vil få ut av systemet. Denne fasen innebærer også hvem studien er ment for, anvendelse, hvorfor man gjennomfører studien og hvilke begrensninger som velges underveis. (Byggforskserien, 2014a)

Fase 2 innebærer livsløpsregnskapsfasen. Her gjennomføres en inventaranalyse hvor det velges hvilken type data og kilder som skal brukes i analysen. Disse dataene må systematiseres på en oversiktlig måte. Her kan det være gunstig å lage visuelle visninger av prosessene og hvordan de følger hverandre eller legge dem inn i matriser. Her vil det være gunstig å bruke digitale verktøy slik at endringer kan gjøres mest mulig effektivt. (Byggforskserien, 2014a)

Fase 3 omhandler livsløpseffektvurderingsfasen. En gjennomfører da en konsekvensutredning og evaluerer de potensielle miljøpåvirkningene. Man ser da på utslippene og ser hvilken virkning dette har på for eksempel miljøet. Dette kan være et mål på hvor mye utslipp og ressursbruk bidrar til global oppvarming. Dette kan ses på som et resultat av analysen og et punkt hvor man kan sammenligne ulike alternativer. (Byggforskserien, 2014a)

Fase 4 er tolkningsfasen. Man gjør da en tolkning av fase 2 og fase 3 ved å tolke regnskapet og de potensielle miljøpåvirkningene. En finner da ut om man har oppnådd det som ble forklart i fase 1. Ved tolkning kan man blant annet se på hvilke prosesser som bidrar mest til de totale utslippene og følgelig kunne gå til de andre fasene, gjøre endringer og kjøre prosessen på nytt. På denne måten er livssyklusanalysen en iterativ prosess. (Byggforskserien, 2014a)

2.7.2. GWP

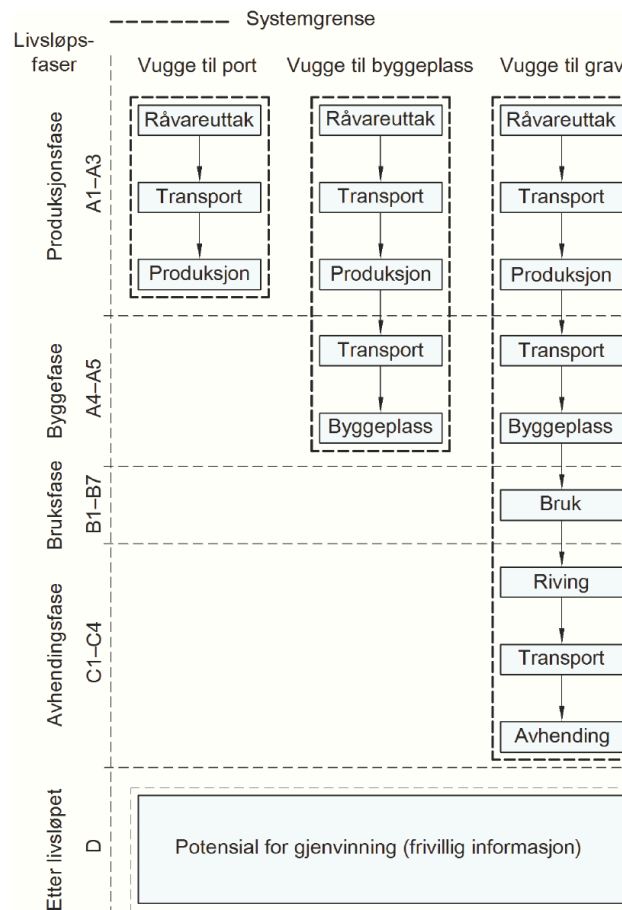
Potensielt bidrag til global oppvarming (GWP, fra engelsk Global warming potential) er et mål på hvor stor påvirkningen fra klimagasser er på den globale oppvarmingen. GWP er målsatt etter CO₂-ekvivalenter og andre gasser vil følgelig bli vektet i forhold til CO₂ sin påvirkning på det globale oppvarmingspotensialet. Andre gasser kan blant annet være metan (CH₄), lystgass (N₂O) og HFK-gasser. Hovedsakelig kommer kilden til utslipp fra utvinning av råmateriale, produksjon av materialer og transport. For betong er CO₂ fra kalsineringsprosessen ved produksjon av sement en stor del av kilden.

GWP er kun en av flere innvirkninger på miljøet, men er et godt mål på hvordan CO₂ og andre gasser påvirker miljøet ved ulike mengder utslipp. Med CO₂-ekvivalenter får man muligheten til å sammenligne forskjellig type utslipp med samme grunnlag. Det å bruke en rettferdig sammenligning er et viktig punkt i LCA for å oppnå mest mulig korrekte resultater. (Byggforskserien, 2014a)

2.7.3. Livsløpsfaser og systemgrenser

En del av fase 1 er å gjøre avgrensninger. En form for avgrensning kan være å utelate enkelte faser i livsløpet. Figur 2.9 viser ulike systemgrenser som kan velges ved avgrensning. Av figuren kan en også se de ulike livsløpsfasene for et produkt eller en bygning. De ulike fasene fra livsløpet til et produkt er: «råvareuttak» (A1), «transport» (A2), «produksjon/tilvirkning» (A3), «transport» (A4), «byggeplass» (A5), «bruksfase» (B1-B7) og «avhendingsfase» (C1-C4). Den siste fasen «etter livsløpet» (D) inngår ikke i noen av systemgrensene da den er frivillig og ikke en del av sluttregnskapet. Som en kan

se, er det flere faser som inkluderer transport. Dette er fordi det i flere faser er nødvendig med transport, men verdien på disse kan være forskjellig da blant annet transportlengdene og transportmidlene kan variere. Hovedsakelig bør man regne med alle fasene fra vugge til grav, men noen ganger kan ressurser, formål og tilgjengelig data føre til at dette ikke er mulig. En bør da se på hva som er relevant og tilgjengelig for den analysen man skal gjennomføre basert på fase 1 forklart i kapittel 2.7.1 Generell metode. (Byggforskserien, 2015c)



Figur 2.9 Livsløpsfaser og systemgrenser (Byggforskserien, 2015c)

Systemgrenser kan også baseres på hvilke materialer en velger å se på for eksempel for et helt bygg.

2.7.4. Verktøy

Miljødeklarasjon/EPD

En miljødeklarasjon (EPD, fra engelsk Environmental Product Declaration) er en form for datainnsamling i livsløpsregnskapsfasen (fase 2) og oppgir miljøpåvirkningen for enkelte materialer. Dette kan være alt fra betongelementer, fersk betong, treprodukter, armering, gipsplater, gulvbelegg og mye mer. Norges EPD-ordning finnes på www.epd-norge.no. Hver enkel miljødeklarasjon inneholder blant annet opplysninger om hvilket materiale det gjelder for, deklart enhet (som skal benyttes ved beregning av miljøpåvirkning), gyldighet for EPD-en, produsent samt produksjonssted, funksjonell enhet, systemgrense og miljøpåvirkning for de ulike fasene basert på den deklarte enheten. Utfra dette kan en finne miljøpåvirkningen på det enkelte produktet. For å sikre at miljødeklarasjonene er

utarbeidet i henhold til produktkategorireglene er EPD-ene uavhengig verifisert både internt og eksternt. Dette oppgis også i EPD-ene. (Byggforskserien, 2014b)

2.8. Lover og regler

2.8.1. Standard Norge

Standard Norge utgir standarder for hvordan produkter lages. Standardene kan sees på som oppskrifter en kan følge for å oppnå kravene gitt i Byggteknisk forskrift (TEK17). En serie standarder som Standard Norge gir ut er Eurokoder. Eurokodene er standarder som gjelder for hele Europa og omhandler prosjektering av byggverk. Totalt er det utgitt ti Eurokoder, Eurokode 0 til Eurokode 9. Det finnes egne Eurokoder for de ulike byggematerialene, for eksempel Eurokode 2: Betongkonstruksjoner, Eurokode 3: Stålkonstruksjoner, Eurokode 5: Trekonstruksjoner og så videre. Eurokode 0 har navnet «Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner» og inneholder blant annet krav til lastkombinasjoner.

2.8.2. TEK 17

Byggteknisk forskrift, TEK17, oppgir krav som må oppfylles for å overholde norske lover, herunder plan- og bygningsloven. I tillegg gir forskriften veiledning til hvordan ulike deler av loven kan tolkes og hvordan de kan gjennomføres. TEK17 ligger ute på Direktoratet for byggkvalitet (DIBK) sin nettside og har en veldig oversiktlig struktur over ulike temaer en kan finne veiledning til.

2.8.3. Byggforsk

SINTEF har utformet Byggforskserien som skal gi anbefalinger og forslag til løsninger for å oppnå de kravene som er gitt i loven og TEK17. Ved å benytte seg av løsninger gitt av Byggforskserien vil man ha god dokumentasjon for valgene som er tatt. Byggforskserien har ulike datablader innen områdene Planlegging, Byggdetaljer og Byggforvaltning. Under disse er det igjen delt inn i mindre temaer slik at en på en oversiktlig måte kan finne frem til det man ønsker å prosjektere og deretter kunne dokumentere.

2.9. Beregningsprogram

2.9.1. Mathcad

Mathcad er et program levert av PTC. Dette beregningsverktøyet kan brukes på samme måte som et fysisk ruteark. Fordelen med Mathcad er at en kan legge inn formler, faktorer og deretter la programmet gjøre beregningene. På denne måten er det mulig å enkelt endre faktorer og deretter gjennomføre beregningene på nytt uten at det er veldig tidkrevende.

2.9.2. Calculatis

Calculatis er et nettbasert program av Stora Enso. Programmet er hovedsakelig beregnet for trekonstruksjoner, men har også en beregningsdel for stålkonstruksjon av bjelke. I dette programmet kan en legge inn laster, spennvidder, materialstyrke, dimensjoner, branntiltak og andre faktorer som trengs for å beregne både søyler, bjelker og dekker hver for seg. Programmet utfører beregningene fortløpende og en får opp en oversikt over utnyttelsen for de valgte materialene både i bruddgrense, bruksgrense, utnyttelse ved brann samt flere. Beregningene i Calculatis er basert på trestandarden NS-EN 1995-1-1. Versjonen som nå ligger ute, er «Version 2.38.0»

2.10. Generell dimensjon på bygg

Paragraf 12-7. «Krav til rom og annet oppholdsareal» i TEK17 oppgir krav om minimum høyde i boligbygg til 2400 millimeter (DIBK, 2017f). For kontorbygg sier *Forskrift om utforming og innretning av arbeidsplasser og arbeidslokaler*, altså Arbeidsplassforskriften at romhøyden på arbeidsplassen skal tilpasses gulvarealet og de arbeidsoppgavene som utføres der. Som en kommentar til dette mener arbeidstilsynet at netto romhøyde ikke bør være under 2.7 meter, og at minste krav er 2.2 meter. I tillegg må det tas hensyn til ventilasjonsanlegg, belysning og andre installasjoner ved etasjehøyde. Siden kontorbygg ofte brukes av flere personer enn i boligbygg, må en også påregne et større ventilasjonsbehov.

For lengde og bredde på et bygg er det ikke gitt andre krav enn at bygget må kunne tåle alle laster det blir påført. Derimot er det en fordel å tenke på utforming av dekker, bjelker og søyler. Dersom søyler står veldig tett i bygget, kan utformingen av bruksarealet bli utfordrende. I tillegg kan løsninger i knutepunkt mellom bjelker og dekker ha en del å si for høyden i bygget. Dersom dekker ligger oppå bjelker i stedet for i samme lag som bjelken, vil høyden på bygget kunne bli mye høyere for å oppnå kravene til høyde i bygget.

3. Metode

Formålet med oppgaven er å gjøre en studie for å undersøke klimapåvirkningen ved ulike spennvidder og etasjehøyder for en bærekonstruksjon av betong og tre. For å undersøke dette må det gjøres en litteraturstudie og deretter beregninger. Dette kapittelet forklarer fremgangen til hele oppgaven.

3.1. Veien til oppgaven

Opgaven ble utarbeidet på bakgrunn av et ønske om å inkludere både fagfeltet konstruksjonsteknikk og bygnings- og materialteknikk. Østfoldforskning publiserte i 2019 en rapport hvor de hadde sammenlignet fossile klimagassutslipp fra materialproduksjon og transport for en bærekonstruksjon i tre og betong ved 4, 8 og 16 etasjer (Anne Rønning, 2019). Denne rapporten inspirerte til å se nærmere på miljøpåvirkningen av ulike dimensjoner i bærekonstruksjonen. Det bygges stadig mer og mer, og det vil derfor være viktig å optimalisere konstruksjonene, spesielt med tanke på miljøpåvirkningen. Det ble derfor ønskelig å se på innflytelsen ulike spennvidder i bærekonstruksjonene har på miljøpåvirkningen, og hvilke faktorer som spiller inn på de totale utslippene.

3.2. Fremdrift

For å sikre god fremdrift i oppgaven ble det satt opp en masterplan. Denne bestod av hvilke gjøremål som var planlagt for hver dag samt hva som ble utført de gitte dagene. Formålet med denne planen var å skape en oversikt over hva som skulle gjøres både i hovedtrekk og for hver enkelt dag for å få med alt som måtte gjøres. Dette har vært viktig for å komme i mål med oppgaven. Planen har gjennom hele prosessen vært reviderbar for å sikre endringer. Dette har vært viktig da det ikke er like lett å forutsi hvor lang tid hver del vil ta.

Det ble også utarbeidet en «to do» liste som skulle gi en oversikt over alt som måtte gjøres. Denne kunne videre fylles inn i fremdriftsplanen. Det ble da også enklere å holde en oversikt over hva som gjenstod å gjøre, spesielt i innspurten av oppgaven.

For å oppnå fremgangen i oppgaven og finne ut av hva som skulle legges inn i fremdriftsplanen ble det laget en disposisjon for oppgaven. Det ble da lettere å finne ut av hva det måtte gjøres litteraturstudie på og hvilke deler som trengtes til oppgaven. Tilpasning av disposisjon er en iterativ prosess som flere ganger ble endret etterhvert som ny informasjon kom til. Disposisjonen ga også en god oversikt over hva som hadde blitt gjort og hva som måtte gjøres på samme måte som fremgangsplanen. Etterhvert som disposisjonen ble mer utfyllende kunne også fremdriftsplanen bli mer detaljert og revidert etter hva som var funnet av litteratur og hva det kunne være interessant å studere videre.

Som en del av fremdriftsplanen ble det satt milepæler. Første milepæl ble satt til midten/slutten av mars hvor teoridelen av arbeidet skulle være ferdig. Neste milepæl var å fullføre alle beregninger innen midten av mai, og deretter bruke resten av tiden på å fullføre oppgaven og sette sammen resultater på en oversiktlig måte. Dette ga stor motivasjon underveis i arbeidet.

3.3. Valg av forskningsmetode og kildesikkerhet

For å finne svar på problemstillingen og for å kunne inkludere både konstruksjonsteknikk og bygnings- og materialteknikk i oppgaven ble det valgt å gjøre konstruksjonsmessige beregninger samt livssyklusanalyse av resultatene fra prosjekteringen. I tillegg har det vært viktig å gjøre en litteraturstudie for å få en forståelse av byggematerialene og deres påvirkning på klimaet. Resultatet av litteraturstudien er gitt i kapittel 2 Teori. Hovedmetoden er dermed å gjøre beregninger basert på teori om de ulike produktene.

For å finne svar på problemstillingen er det viktig å ta realistiske valg for blant annet materialbruk og dimensjon for bygningsdelene. For å kunne gjøre dette må en følge de lover og regler som gjelder for byggverk i dag. For teoristudiet og beregningene ble det i hovedsak benyttet Standarder, TEK17, Byggforsk, Trefokus og Betongelementboken. Disse danner grunnlag for regler, forskning og metoder for prosjektering som gjelder for betong- og trekonstruksjoner. Ved litteratursøk på betong og tre og deres tilhørende egenskaper for bæring, lyd og brann er det de overnevnte sidene som stadig dukker opp. Alle disse sidene er anerkjente for byggenæringen. De baseres på teori, lover og regler innen blant annet konstruksjonsteknikk og livsløpsvurdering, og er dermed å anse som sikre kilder. En er dermed sikret å opprettholde krav som er satt for bærekonstruksjonen, lyd og branntiltak. I tillegg er det tatt utgangspunkt i ulike dimensjoner for konstruksjons-elementer bedriftene produserer i dag, samt tilhørende EPD-er for et mest mulig realistisk bilde for resultatene. Det er også fokusert på velkjente produsenter som Moelven, Spenncon, Rockwool og lignende. Disse har vært i bransjen i mange år og har levert produkter til mange ulike prosjekter. Produsentene kan derfor brukes som realistisk datagrunnlag fra industrien.

I tillegg til teori som beskrevet i kapittel 2, er det ved utføring av konstruksjons- og livssyklusberegninger både tatt utgangspunkt i læring fra ulike fag fra egne universitetsstudier og input fra faglærere innen de ulike fagfeltene. Faglærerne har bistått med mulige forenklinger, fremgangsmåter og metoder. Siden faglærerne har vært i bransjen i mange år, har de opparbeidet seg erfaring innen de ulike fagfeltene, og har derfor rasjonelle synspunkter, realistiske betraktninger og hvor avgrensninger kan og burde gjøres. I tillegg er flere av metodene fra faglærerne underbygget av like eller lignende metoder fra ulike fagforelesninger og nettsider. Disse kan dermed anses som gode løsninger.

For å opprettholde en god validitet av informasjonen som blir hentet inn ble det også lagt fokus på å benytte litteratur som fortsatt er relevant i dag. Temaet som denne oppgaven omhandler er stadig i vekst og det kommer hele tiden nye eller forbedrede løsninger. I tillegg oppdateres krav stadig, for eksempel har det nylig kommet oppdaterte krav til lyd mellom rom. Det er da viktig å være oppdatert på de nyeste reglene og eventuelle nye materialer som er mulig å benytte.

Det har også vært fokus på effektivitet og å kunne utnytte funksjonaliteten til de ulike beregningsprogrammene. Dette er viktig når en skal gjøre mange lignende beregninger, men med forskjellige verdier. I tillegg er det gunstig med beregningsdokumenter som er lette å forstå og enkle for andre å benytte. Dette kan gi lavere terskel for grundigere beregninger av konstruksjonen før en velger materialer og dimensjoner for elementene. For å undersøke miljøpåvirkningen ved de ulike spennviddene har dette vært sentralt. Ved å benytte Mathcad vil en både kunne vise i detalj alle beregningene som er gjort da det ser ut som et vanlig regneark, men samtidig kunne gjøre lignende beregninger uten store

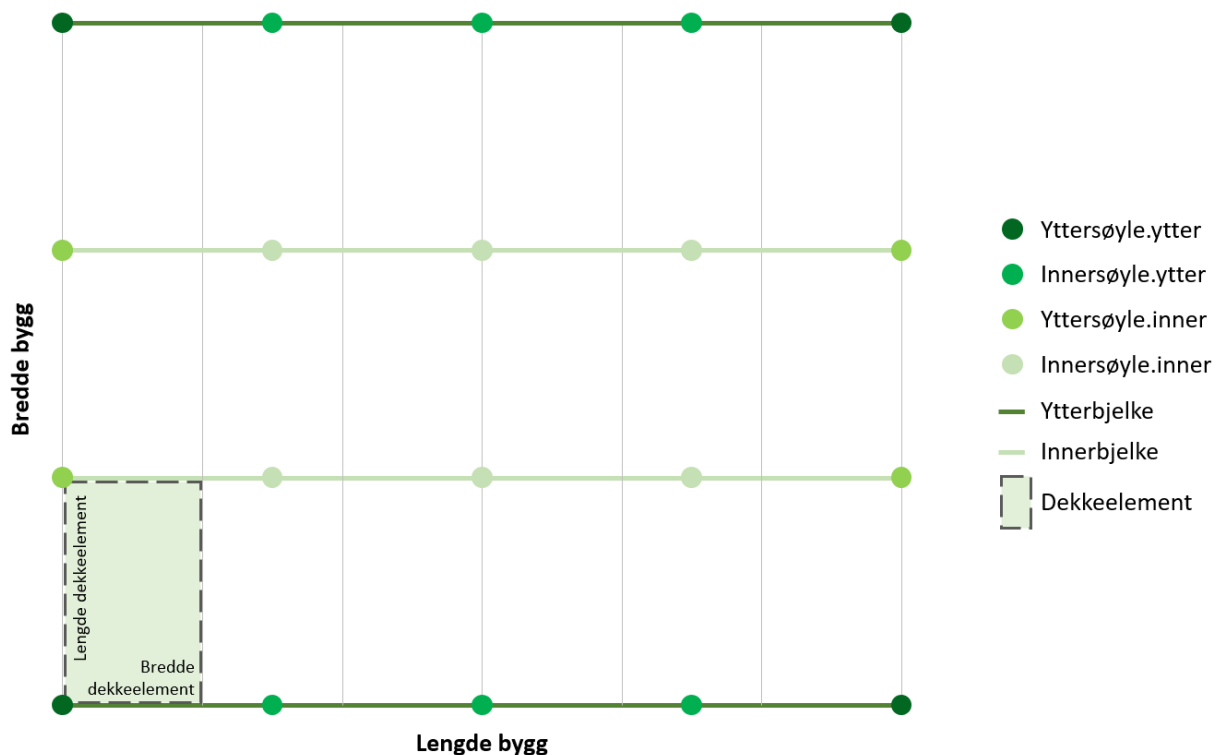
endringer. Dette er for eksempel mye mer effektivt enn å gjøre hver beregning for hver spennvidde manuelt på papir for hånd. En ulempe med programmet er at det kan være tidskrevende dersom en skal gjøre mange beregninger i samme regneark, men med mange ulike verdier for enkelte faktorer. En må da kjøre beregningene i dokumentet like mange ganger som ulike verdier for faktorer man har. Derimot kan dette være en fordel da en kan se detaljberegningene til hver endring av verdi for de ulike faktorene.

Der det ikke foreligger ferdig beregnet, relevante og nyttige dimensjoner for konstruksjonselementer, må beregningene gjennomføres selv. For eksempel kan noen forhåndsdimensjoner ha for små dimensjoner sammenlignet med hva som trengs i denne oppgaven. Det er blant annet beregnet for større dimensjoner for limtrebjelker enn hva som er oppgitt i byggdetaljblad 520.222 (Byggforskserien, 2011). De større dimensjonene anses fortsatt som relevante å bruke da blant annet Moelven foreslår bredder opp til 215 millimeter, mens Byggforsk kun har forhåndsdimensjonert med bredder opp til 140 millimeter.

Det har også vært viktig med god troverdighet til de ulike programmene som har blitt benyttet. Ettersom Calculatis ikke er veldig velkjent og har mindre utstrakt bruk, var det viktig å få en forståelse for programmet og sikre korrekte beregninger. Det ble dermed gjort en sikkerhetsjekk ved å benytte de samme dimensjonene og lastene som gitt i byggdetaljblad 522.891 og deretter gjort beregninger for å sjekke hvilken tykkelse og antall lameller Calculatis mente dekket måtte ha ved samme spennvidde som gitt i byggdetaljbladet (Byggforskserien, 2009b). Disse beregningene stemte godt overens og sammen med konstruksjonsmessig bakgrunnskunnskap om trekonstruksjoner ble programmet ansett som troverdig. En mer detaljert forklaring samt troverdighet til programmet er forklart i kapittel 3.5.2 Calculatis.

3.4. Forutsetninger

I denne studien undersøkes miljøpåvirkningen ved ulike spennvidder for både dekker og bjelker. For å se på variasjonen av søyledimensjon ved ulikt antall etasjer er byggene beregnet både for 1, 8 og 16 etasjer. For type bygg er det i hovedsak sett på boligbygg og en enkel beregning for kontorbygg til sammenligning. Bæresystemet blir satt opp ved at søyler støtter opp bjelker i knutepunktene til bjelkene og at dekkene deretter kobles til bjelkene. Det er tenkt at flere dekker kan ligge fordelt over en bjelke, og at et dekke ikke må ha knutepunkt samme sted som bjelkene har knutepunkt. Med dette menes at to bjelker kan møtes midt under et dekke, og ikke der hvor to dekker møtes. Dekkene ligger fritt opplagt på bjelkene og bjelkene ligger fritt opplagt på søylene. Hvert dekke støttes opp av to bjelker på hver kortsida av dekkene og der hvor bjelkene møtes støttes de opp av søyler. Det er dermed ingen kontinuerlige dekker eller bjelker gjennom bygget. En oversikt over plasseringen til de ulike elementene er gitt i Figur 3.1.



Figur 3.1 Utforming av bærekonstruksjonen

I figuren illustreres søylene som prikker, bjelkene som streker og dekkene som rektangulære ruter. Bjelker møtes alltid der hvor søylene står. I Figur 3.1 kan en se hvordan endene på et dekke kan ligge midt over et knutepunkt til bjelker som forklart over.

3.4.1. Laster

Generelt

Det er valgt å kun se på bæresystemet i form av dekker, bjelker og søyer. Veggskiver og annen avstivning er sett bort fra for å komme i mål med oppgaven innen tilgjengelig tid. Avgrensningen er forklart i underkapittelet Vindlast i kapittel 3.4.1. Studien går altså ut på å se på forskjellen i spennvidder for dekker og bjelker og tilhørende vertikale laster.

En forutsetning for beregning av dimensjonene på elementene er at de skal utnyttes mest mulig med standard dimensjoner. Dette innebærer blant annet at det benyttes heltall for spennvidder, altså 3, 4, 5, 6, 7, 8 meter og så videre, og høyde og bredde på elementene brukes utfra hva som er standard og mulig å få tak i på markedet. Et eksempel på tverrsnittdimensjoner kan være tykkelse på hulldekkene hvor standardstørrelsene er 200, 265, 320, 400 og 500 millimeter. For massivtredekker benyttes høyder gitt i programmet Calculatis. Det er flere ulike løsninger for høyde av massivtredekker. En kan både ha ulike tykkelse på lamellene i seg selv og ulike tykkelse på lamellene gjennom dekkene. Valgt høyde er derfor basert på last og den kombinasjonen av lameller som gir en høyest mulig utnyttelse, men under 100%. På denne måten vil en bruke minst mulig materiale for å holde lastene.

For utnyttelse av elementene velges dimensjonene som gir en verdi under 100% som nevnt for trekonstruksjonen over. En utnyttelse på 100% er i teorien godkjent, men ikke

vanlig å dimensjonere med. Dersom et konstruksjonselement får en utnyttelse på akkurat 100%, velges en større dimensjon slik at en får et hakk mindre utnyttelse.

Egenlast

Egenlast for de ulike bygningsdelene varierer etter dimensjonene på elementene og oppgis dermed utfra hvilke laster de blir påført og dermed hvilken dimensjon elementene må ha. Fordi hulldekkene har flere langsgående hull i seg, kan ikke egenvekten regnes ut direkte fra høyde, bredde og lengde. Egenvekten hentes derfor fra betongelementboken og vises i Tabell 3.1 (Vinje, 2010). For trekonstruksjonen beregnes egenlasten ved å gange dimensjonen på dekket med tettheten for massivtre, 420 kg/m^3 . Egenlast for ekstra tiltak for lyd oppgis i kapittel 3.4.2 Lyd.

Tabell 3.1 Egenlast for de ulike hulldekkene med tilsvarende høyde (Vinje, 2010)

Størrelse hulldekke	Egenvekt [kN/m^2]
HD 200	2.6
HD 265	3.7
HD 320	4.2
HD 400	5.0
HD 500	6.8

Nyttelast

Nyttelast benyttes som oppgitt i kapittel 2.6.2. For bolig er nyttelasten 2 kN/m^2 og kontorbygg 3 kN/m^2 .

Vindlast

Vindlasten er forutsatt å bli tatt opp av veggskiver, men veggskiver for vindlast utelates i beregningene da dette vil være likt uavhengig av type byggemateriale som velges for bærekonstruksjonen. Altså at veggskivene blir påført samme last, og da kan prosjekteres på samme måte. Veggskivene vil dermed ikke gi utslag i den totale miljøpåvirkningen dersom de prosjekteres med samme materiale.

Snølast

Snølasten er også valgt å se bort fra da denne kun blir påført taket og dermed gi en fast last ekstra gjennom søylene. Denne lasten vil også være lik uavhengig av type byggemateriale og vil ikke gjøre en stor forskjell i totalt klimautslipp for konstruksjonene i forhold til hverandre og er dermed også sett bort ifra.

Lastkombinasjon

For lastkombinasjon i trekonstruksjonen velger Calculatis den som gir høyest utnyttelse av elementene, altså den lastkombinasjonen som gir størst sammenlagt last. Dette gjelder både dekker og bjelker da det her er enkelt å forutse lasten ved de ulike spennviddene. For last i søyler er det benyttet lastkombinasjonen $1.2 \times \text{egenlast} + 1.5 \times \text{nyttelast}$. Denne vil hovedsakelig være dimensjonerende, men for søylene nederst i bygget ved 16 etasjer kan egenlasten fra søylene gjøre at egenlasten sammenlagt blir høyere enn nyttelasten. Det ville da vært naturlig å benytte lastkombinasjonen $1.35 \times \text{egenlast} + 1.05 \times \text{nyttelast}$. Men fordi søylene er dimensjonert for en samlet last av egenlast og nyttelast vil ikke den

samlede lasten for egenlast og nyttelast gi særlig forskjell. Siden det ikke er regnet med noen ulykkeslaster er det heller ikke benyttet lastkombinasjoner for dette.

3.4.2. Lyd

For å oppnå krav til lyd kreves ekstra tiltak både for betong- og trekonstruksjonen. Det ses kun på lydovergangen mellom rom i ulike etasjer, og da gjennom dekkene. Det er ikke sett på bjelker og søyler i disse tilfellene da disse ligger under dekkene og det da antas at dekkene alene kan fylle krav til lyd mellom ulike etasjer. For krav til lyd mellom rom i samme etasje er det antatt at disse oppfylles med ikke-bærende vegger og dermed ikke en del av bæresystemet. For vibrasjoner er det ikke tatt andre hensyn enn krav til bruksgrense.

For å oppfylle kravene til lyd mellom rom i ulike etasjer er noen av løsningene oppgitt i teorikapitlene for betong og tre valgt. For massivtre er det valgt å se på to ulike løsninger for lydtiltak: massivtre med påstøp og massivtre med isolasjon og tilfarer. Bakgrunnen for valg om å se på to ulike lydtiltak for tre er at de ulike løsningene også kan påvirke andre faktorer som kapasitet og branntiltak. I tillegg er disse løsningene relativt forskjellige, og det kan være interessant å se på hvor mye valg av lydtiltak betyr for miljøpåvirkningen til bæresystemet. For betongkonstruksjonen er det kun valgt å se på én type løsning. Dette blant annet fordi betong har såpass gode lydegenskaper fra før, og at det da ikke kreves så mye ekstra materiale for lydtiltak her, samt at dette er en typisk løsning for lydtiltak for hulldekker. Valgte løsninger samt tilhørende egenvekt er gitt i Tabell 3.2.

Tabell 3.2 Valg av løsning samt egenvekt for ekstra materiale for å oppnå krav til lyd

Bygningsmateriale	Type element	Type ekstra materiale	Dimensjon ekstra materiale [mm]	Egenvekt ekstra materiale [kN/m ³]	Total egenvekt ekstra materiale [kN/m ²]	Total egenvekt ekstra for element [kN/m ²]
Tre	<i>Massivtre med påstøp</i>	Påstøp	80	25	2	2.368 ~ 2.37
		Trinnlydplate	50	2.5	0.125	
		Isolasjon	150	0.35	0.053	
		Gips	26	7.2	0.19	
Tre	<i>Massivtre med isolasjon og tilfarer</i>	Parkett	14	-	0.08	0.422 ~ 0.42
		Gulvgips	13	7.2	0.094	
		Sponplate	22	8.0	0.18	
		Isolasjon	100	0.35	0.035	
		Tilfarer cc/600	48x98	4.2	0.033	
	Elastisk underlag cc/1200	-	-	-		
Betong	<i>Hulldekke</i>	Parkett	14	-	0.08	0.37
		Trinnlydplate	36	2.5	0.09	
		Sparkelavretting	10	20	0.2	

Elastisk underlag har en vekt på 5 gram per kvadratmeter og er så liten at den ikke regnes med i egenlasten. Egenlasten fra tilfarerne legges til ved å regne vekten på tilfareren og dens senteravstand og deretter fordele dette per kvadratmeter dekke.

Lydforholdene er kun basert på tiltak som kan gjøres ved materialer i etasjeskillere og ikke stivheten til materialene eller lydoverføring andre steder enn gjennom etasjeskillere.

3.4.3. Brann

Forutsetningene for brann er basert på en bærekonstruksjon i brannklasse 3. Dette er med utgangspunkt i at bygget er på 8 eller 16 antall etasjer. Ved et bygg med kun én etasje vil tiltakene for brann kunne være mildere. Det er ikke tatt hensyn til dette i denne oppgaven, men det er noe å tenke på dersom det skulle være små forskjeller i miljøpåvirkningen. Ved brannklasse 3 må hovedbærekonstruksjonen, bjelker og søyler, ha en brannmotstand på R90, mens sekundærbærekonstruksjonen, dekkene, må ha en brannmotstand på R60. For bygg på én etasje ville både hoved- og sekundærbærekonstruksjonen måtte hatt en brannmotstand på R30.

For brannmotstand vil både betong- og trekonstruksjonen kunne oppnå krav ved å overholde reglene gitt i kapittel 2.4.4 Brann for betongkonstruksjon og kapittel 2.5.4 Brann for trekonstruksjon. Betongelementene oppfyller krav til brann uten ekstra materialer. Hulldekkene skal alle holde en brannmotstand på minst 60 minutter og oppfyller dermed krav i TEK17 om at sekundær bærekonstruksjon skal ha en minste brannmotstand som er tilsvarende. For bjelker og søyler vil overdekningen på 55 millimeter kunne oppfylle krav til brann. Bjelkene i betongkonstruksjonen er opprinnelig L- og DL-bjelker, men for brann er det tatt utgangspunkt som en vanlig rektangulær bjelke.

For trekonstruksjonen kan treet enten dimensjoneres med en forkullingsdybde eller beskyttes med gips. For både bjelker og søyler er løsning valgt utfra dimensjon på elementene. Ved små dimensjoner må gips til for at elementet skal beholde sin bæreevne etter et brannløp. For eksempel for en søyle med bredde på 90 millimeter vil forkullingsdybden på opp til 70 millimeter fra hver side føre til at det ikke er noe bæreevne i treet igjen etter brannforløpet. Ved dimensjonering i Calculatis kom det frem at lignende dimensjoner trengte like tiltak for brann. Tabell 3.3 viser de ulike tiltakene som trengs ved de ulike breddene/dimensjonene for limtrebjelker og limtresøyler.

Tabell 3.3 Nødvendig tiltak ved ulike dimensjoner for bjelker og søyler av limtre

Tiltak nr.	Bredde element [mm]	Branngips [15 mm]	Vanlig gips [12.5mm]
1	<190	2 stykk	1 stykk
2	190-230	2 stykk	Ingen
3	230-280	1 stykk	1 stykk
4	280-330	1 stykk	Ingen
Ingen tiltak	>330	Ingen	Ingen

Massivtredekkene er dimensjonerende for bruksgrense og har dermed en lavere utnyttelse i bruddgrense. Det er dermed antatt å holde sin bæreevne etter et brannforløp. I tillegg vil ikke nyttelasten påføres dekkene ved et brannforløp, og det vil dermed være mindre last de må ha kapasitet for.

3.4.4. Byggets dimensjoner

Det er valgt å benytte en ytre bredde for bygget på 40 meter og ytre lengde på 54 meter. Ved bruk av disse dimensjonene vil en kunne benytte alle de ulike spennviddene som skal sjekkes for. For eksempel dersom bredden på bygget hadde vært 15 meter, ville det ikke vært aktuelt med en lengde på 19 meter for et betongdekke.

For etasjehøyder på bygget er det tatt utgangspunkt i kapittel 2.10 Generell dimensjon på bygg som sier at minstehøyde for bolig er 2.4 meter og for kontorbygg 2.7 meter. Det er i tillegg tatt hensyn til ekstra høyde for ventilasjonsanlegg og andre installasjoner. Derfor

er det satt en høyde fra overside gulv i en etasje til overside gulv neste etasje for boligbygg til 3 meter og kontorbygg 3.5 meter.

3.4.5. Avgrensninger

Avgrensninger gjort i dette studiet er i hovedtrekk beskrevet i kapittel 1.3 Avgrensninger. En mer detaljert avgrensning blir forklart under diverse underkapitler her i metodekapittelet. Dette gjelder for eksempel valg som er tatt for bærekonstruksjonen, lyd eller brann med en mer direkte tilknytning til oppgaven. For eksempel forklares avgrensningene gjort for livssyklusanalysen i kapittel 3.6 Livssyklusanalyse. I tillegg kommer følgende liste med enkelte avgrensninger.

Beregning av bruksareal

Det er ikke tatt hensyn til minskning av bruksareal grunnet fotavtrykk fra søyler. Ved flere etasjer og tykkere søyler vil bruksarealet egentlig bli mindre, men dette er det ikke valgt å ta hensyn til.

Livssyklusanalyse

Levetiden for produktene i miljødeklarasjonene varierer fra 50 til 60 år eller «som for bygninger». Det er antatt at den ulike levetiden er såpass liten at den ikke vil ha særlig påvirkning på resultatene. I tillegg vil materialene til bærekonstruksjonen som regel holde lenger enn hva levetiden tilsier. Det er derfor valgt å anta at levetiden er lik for alle produktene.

Seismisk last

Det er valgt å se bort fra seismisk last da det er liten sannsynlighet for at dette skal oppstå i de områder det vil være naturlig å bygge høybygg det er dimensjonert for i denne oppgaven.

Geoteknisk påvirkning

Det er valgt å se bort fra geoteknisk påvirkning, altså all konstruksjon under grunnen. Siden beregning av grunnforhold er et annet fagfelt og beregning av fundament kan være omfattende, er disse utelatt fra oppgaven for å komme i mål. Det antas dermed at disse har god nok kapasitet. I denne oppgaven ser man dermed kun på konstruksjonen over grunnen, mens alt under bakkenivå er antatt å være likt i alle scenariene. I virkeligheten vil det være forskjeller i grunnforholdene og fundamentet grunnet vektforskjellene mellom tre og betong. Dette kan føre til økt mengde betong i fundamentet for betongkonstruksjonen, noe som også kan føre til økt miljøpåvirkning.

Spennarmering

For beregning av nødvendig mengde spennarmering er det forenklet slik at kun flytegrensen/strekkfastheten til armeringen endres fra slakkarmert til spennarmert. Dette anses som tilstrekkelig da differansen mellom strekkfastheten er hovedforskjellen mellom slakkarmering og spennarmering. Flytegrensen økes dermed til 1860 N/mm² for spennarmert dekke for å få en oversikt over ca. hvor mye armering som da trengs.

Naturgitte betingelser

Det ses i denne oppgaven bort fra naturgitte betingelser som snøskred, sørpeskred, steinsprang, steinskred, leirskred og andre lignende ulykkeslaste. Disse lastene anses å

være små eller ikke til stede i områder hvor høybygg normalt bygges og kan dermed unnlates i beregningene.

3.5. Prosjektering av bærekonstruksjonene

3.5.1. Generelt

For å beregne mengde materiale som trengs i bærekonstruksjonene og tilhørende tiltak benyttes programmet Mathcad. Som forklart i kapittel 2.9.1, kan en her legge inn formler og tilhørende faktorer. Det ble laget et Mathcad-dokument for betongkonstruksjonen og et for trekonstruksjonen. Beregningsdokumentet for betong kan finnes i Vedlegg A, og for tre i Vedlegg B. Alle vedleggene ligger som egne dokumenter i en ZIP-fil.

Felles for begge Mathcad-dokumentene er at første side er en infoside for hvordan dokumentet kan benyttes, og andre side er en inputside som setter grunnlaget for resten av dokumentet. Det var ønskelig å lage et dokument som er enkelt å bruke og hvor en kan endre på få ulike faktorer for så å få ut resultatene av mengde materiale for de valgte input-verdiene. Hovedfaktorene er antall etasjer, type bygg, lengde dekke, lengde bjelke, lengde bygg, og bredde bygg. Et utdrag av dette er vist i Figur 3.2. I tillegg kan en for eksempel for betong velge betongkvalitet og eksponeringsklasse. Utfra disse faktorene beregner dokumentet hvor stort volum eller masse, altså mengde, massivtre, limtre, hulldekke, prefabrikkerte bjelker og søyler samt armering som trengs for å dimensjonere konstruksjonen med de valgte dimensjonene av faktorene nevnt over.

Velg input for bygg på denne siden

<i>Antall etasjer:</i>	etasjer := 1	<i>Velg antall ønskede etasjer i bygget. Benytt heltall. Maks 16 etasjer</i>
<i>Type bygg:</i>	bygg := "Bolig"	<i>Velg type bygg. Det kan velges mellom "Kontor", "Bolig" og "Trapp i bolig".</i>
<i>Betongkvalitet</i>	Betongkvalitet := "B45"	<i>Velg ønsket betongkvalitet. Det kan velges mellom B30, B35, B40, B45 og B50. B45 vanlig for spennarmerte elementer. Også denne som brukes i EPD'er for prefab</i>
<small>[Eurokode 2 del 1-1] [Tabell 4.1]</small>		
<i>Eksponeringsklasse:</i>	eksponeringsklasse := "XC1"	<i>XC1 vanligst for kontorbygg og boligbygg</i>
<i>Dimensjonerende brukstid:</i>	dim_{brukstid} := 50	<i>Dimensjonerende brukstid kan være 50 eller 100 år</i>
Dimensjoner prefab:	lengde_{hulldekke} := 3 m	<i>Verdier for lengde på hulldekkeelementet kan være fra 3 til 19 meter</i>
	lengde_{bjelke} := 3 m	<i>Verdi for bjelkelengde kan være fra 3 til 10 meter</i>
	lengde := 1.2 m · 45 = 54 m	<i>For lengde kan et tall som ganges med 1.2m velges</i>
	bredde := 40 m	<i>Velg bredde for bygget. Fritt valg, men bør være større enn dekkelengden.</i>

Figur 3.2 Utdrag fra Mathcad-dokument for beregning av betongkonstruksjoner

Beregningene i dokumentene er hovedsakelig basert på Eurokoder, men flere steder er det brukt sider hvor dimensjonene allerede er beregnet på forhånd. Dette gjør både at en kan finne og benytte dimensjoner som er standard for de enkelte produktene, men også spare tid på beregningene ved at andre har dimensjonert på forhånd. Et eksempel på dette er Betongelementboken (Vinje, 2010). Der har de oppgitt hvilke laster de ulike dimensjonene på spennviddene for hulldekker tåler. Dette er beskrevet nærmere i kapittel 3.5.3 Betongkonstruksjon. Ved å benytte sikre sider og kilder vil en også finne de dimensjonene som er vanligst og mest generelle. En ulempe med dette kan være at noen elementer kunne vært utnyttet bedre. For eksempel hvis et element har en utnyttelse på 70%, mens en dimensjon mindre ville gitt en utnyttelse over 100%, kunne en dimensjon imellom hatt god nok kapasitet men mindre volum. Dersom en hadde gjort det på denne måten kunne en fått uendelig med ulike dimensjoner for elementene, noe en pleier å unngå da man ønsker å standardisere flere elementer for en god oversikt og lavere kostnader.

Ved dimensjonering av de ulike elementene tas det utgangspunkt i de påførte lastene. Både for betong- og trekonstruksjonen er ulike dimensjoner og tilhørende kapasitet for elementene beregnet på forhånd og lagt inn i dokumentet. Når en i dokumentet legger inn type bygg og ønsket spennvidde vil programmet regne ut hvor stor lasten som påføres dekket blir. Utfra dette velges nødvendig dimensjon på dekkeelementene, men med minst mulig volum. Dette fordi det er tenkt at et mindre volum er mer gunstig både med tanke på miljøpåvirkning, økonomi og arbeidstid. Dersom miljøpåvirkningen er negativ kan økt volum likevel være bedre, men bortsett fra dette ønsker man å utnytte kapasiteten til konstruksjonselementene mest mulig.

De nødvendige dimensjonene, både for dekker, bjelker og søyler, blir valgt ved hjelp av programmeringsspråk i form av if-setninger. Som nevnt tidligere, er dimensjonene for ulike elementer valgt på forhånd. Det er da lagt inn en formel som sier at for gitte lengder får en gitte høyder som kreves for å oppnå kapasitetskravene. Ved hjelp av if-setninger velger programmet da dimensjonen som passer med testene. For eksempel kan dette være at if-setninger sier at hvis dekket har en spennvidde på under 10 meter så kan det ha en tykkelse på 200 millimeter, men hvis den er større enn dette, men mindre enn 13 meter, kan det ha en tykkelse på 265 millimeter. Og slik fortsetter det til programmet har funnet en dimensjon som passer kriteriene. På denne måten sikrer en også at programmet ikke velger dimensjoner som er større enn nødvendig. Dersom programmet ikke hadde valgt den minste mulige dimensjonen, ville ikke sammenligningen av tre og betong hatt de samme forutsetningene og heller ikke nødvendigvis vært relevant.

Videre beregnes egenlasten for valgt dekketykkelse. Denne legges sammen med de påførte lastene for dekkene og beregner hvor stor last som påføres bjelkene. Lasten som blir påført bjelkene avhenger av lengde på dekkene, og om det er en innerbjelke eller ytterbjelke. En innerbjelke vil få påført last fra to halve dekker, mens en ytterbjelke blir påført lasten av et halvt dekke. Bjelkene ligger langsmed lengden på bygget, og ytterbjelkene vil da være de som ligger langs yttersiden av bygget, mens innerbjelkene ligger inni bygget. Hver bjelke støtter opp den ene halvdel av dekkene, men siden innerbjelkene ligger mellom to dekker vil den da få lasten fra to halve dekker. En illustrasjon over plasseringen og navnsettingen til de ulike elementene, dekker, bjelker og søyler, er gitt i Figur 3.1.

For fordeling av lastene fra dekkene til bjelkene benyttes formel for en fritt opplagt bjelke hvor opplagskraften til dekkene blir lasten påført bjelkene. Formelen som da benyttes er:

$$\frac{q \times L}{2}$$

hvor q er den jevnt fordelte lasten på dekkene, L er lengden på dekkene og deling på to gjøres fordi lasten er delt på to opplagere, altså på to bjelker. Som en kan se av formelen, vil en større lengde på dekke føre til større last påført bjelkene. Det samme gjelder den jevnt fordelte lasten, så for et kontorbygg hvor nyttefasten er større enn for boligbygg vil også lasten påført bjelkene (og søylene) bli større. For innerbjelkene må denne formelen ganges med 2 for å få lasten fra to halve dekker.

Bjelkene blir så dimensjonert på samme måte som dekkene. Lasten for hver av bjelkene, ytterbjelke og innerbjelke, beregnes av dokumentet, og deretter blir den minste mulige dimensjonen for en bjelke beregnet. Altså minst mulig volum av elementet, men en utnyttelse under 100%. Videre blir lasten som påføres søylene beregnet på samme måte som lasten påført bjelkene. Samme formel som vist over benyttes, men egenlasten for bjelkene legges også til.

For søyler er det fire forskjellige typer. Disse får navn utfra hvor i bæresystemet søylen ligger, som igjen baseres på hvilken type bjelke, og hvor stor del av bjelken, søylen får lasten fra. Yttersøyle.ytter får last fra en halv ytterbjelke. Innersøyle.ytter får last fra to halve ytterbjelker, altså en hel ytterbjelke. Dette er altså de søylene som understøtter ytterbjelkene. Yttersøyle.ytter er de søylene som står i hvert hjørne av bygget. Innersøyle.ytter er de søylene som står mellom to ytterbjelker. På samme måte fungerer det for søylene som støtter opp innerbjelkene. Yttersøyle.inner er søylene som støtter opp en halv innerbjelke, mens en innersøyle.inner støtter opp to halve innerbjelker. Det er den sistnevnte som blir påført mest last, mens yttersøyle.ytter blir påført minst last. I tillegg vil søylene få påført mer last jo lenger ned i bygget de står da søylene alltid bærer alt over dem. En illustrasjon av plasseringen til de ulike søyletypene er vist i Figur 3.1.

Både dekker og bjelker vil ha samme mengde materiale per kvadratmeter bruksareal uavhengig av antall etasjer i bygget. Dette fordi lastene påført dekkene og bjelkene kun kommer fra den enkelte etasjen og innebærer da kun egenlast og nyttefast fra den etasjen. Mengde materiale for dekker og bjelker blir dermed beregnet utfra hvor mye som trengs i én etasje og deretter multiplisert med antall etasjer. Antall dekker i hver etasje regnes ut ved formelen:

$$\frac{\text{lengde}_{bygg}}{\text{bredde}_{dekke}} \times \frac{\text{bredde}_{bygg}}{\text{lengde}_{dekke}}$$

En vil da regne ut hvor mange dekker en får plass til langs lengden på bygget utfra hvilken bredde dekket har, og deretter ganget opp med hvor mange dekker en får plass til langs bredden av bygget. Det er ikke alltid denne formelen vil gi et helt tall, men et forholdstall. I virkeligheten ville en gjerne benyttet hele lengder og bredder for dekkene, men for å gjøre en best mulig sammenligning ble det tatt utgangspunkt i en dimensjon for bygget for å se hvilke spennvidder som ga best resultat. Det anses dermed som tilstrekkelig å gjøre det på denne måten.

Antall bjelker beregnes med samme metode som for dekker, men her ligger lengden på bjelkene langsmed bygget og hvor mange rekker med bjelker avhenger av antall dekker som ligger langsmed bredden på bygget. Formelen for antall bjelker per etasje er dermed:

$$\frac{lengde_{bjelke}}{lengde_{bygg}} \times \left(\frac{bredde_{bygg}}{lengde_{dekke}} + 1 \right)$$

Det blir også i beregningsdokumentene regulert for antall ytterbjelker og innerbjelker. En mer detaljert oversikt over dette vises i beregningsdokumentet gitt i Vedlegg A og Vedlegg B.

Dimensjonsberegningene for søylene er mer omfattende. Størrelsen på disse elementene varierer for hver etasje. Det beregnes derfor nødvendig dimensjon for hver av de fire søylene for hver etasje. Metoden for dette er lik for hver etasje, men for hver etasje lenger ned må lasten fra etasjen over legges til. Det blir derfor beregnet hvilke dimensjoner søylene kan ha og deres tilsvarende kapasitet. For å komme i mål med oppgaven er det kun tatt utgangspunkt i den aksiale lasten som blir påført søylene, og ikke moment. Det er da tatt utgangspunkt i m-n-diagram for betong som viser fordelingen mellom kapasitet for aksiallast og moment. Diagrammet har et balansepunkt som viser maksimum moment det er mulig å påføre søylen. Ved dette punktet er søylen belastet med cirka 30% aksiallast. Det er dermed tatt utgangspunkt i at søylene dimensjoneres for 30% utnyttelse ved aksiallast, og at kapasiteten for moment er tilfredsstillt. Denne antagelsen er benyttet både for betongsøyler og tresøyler. En ulempe med denne avgrensningen er at en ikke vil få dimensjonert søylene i detalj, men det er antatt at dette vil gi en tilnærming for hvordan materialene fra søylene påvirker klimagassutslippet. (Sørensen, 2013)

Deretter beregnes lasten fra dekker og bjelker i den øverste etasjen. Dimensjonene på hver av de fire søylene i øverste etasje beregnes utfra et lavest mulig volum, men hvor utnyttelsen av søylene ikke er utnyttet mer enn 30% for aksiallasten. For neste etasje beregnes egenlasten fra søylen over og deretter legger man til lasten som ble påført søylen over samt lasten fra dekkene og bjelkene i den nye etasjen. En får da dimensjonen på søylen for den etasjen og slik fortsetter det gjennom alle etasjene. Til slutt beregnes antall søyler av hver søyletype (yittersøyle.ytter, innersøyle.ytter og så videre) i hver etasje og dette ganges opp med dimensjonen på søylene i hver etasje. Man vil da sitte igjen med mengde søyler totalt for alle søyletypene og alle etasjene. En mer detaljert oversikt over prosjekteringen av betong- og trekonstruksjonene er gitt i henholdsvis Vedlegg A og Vedlegg B.

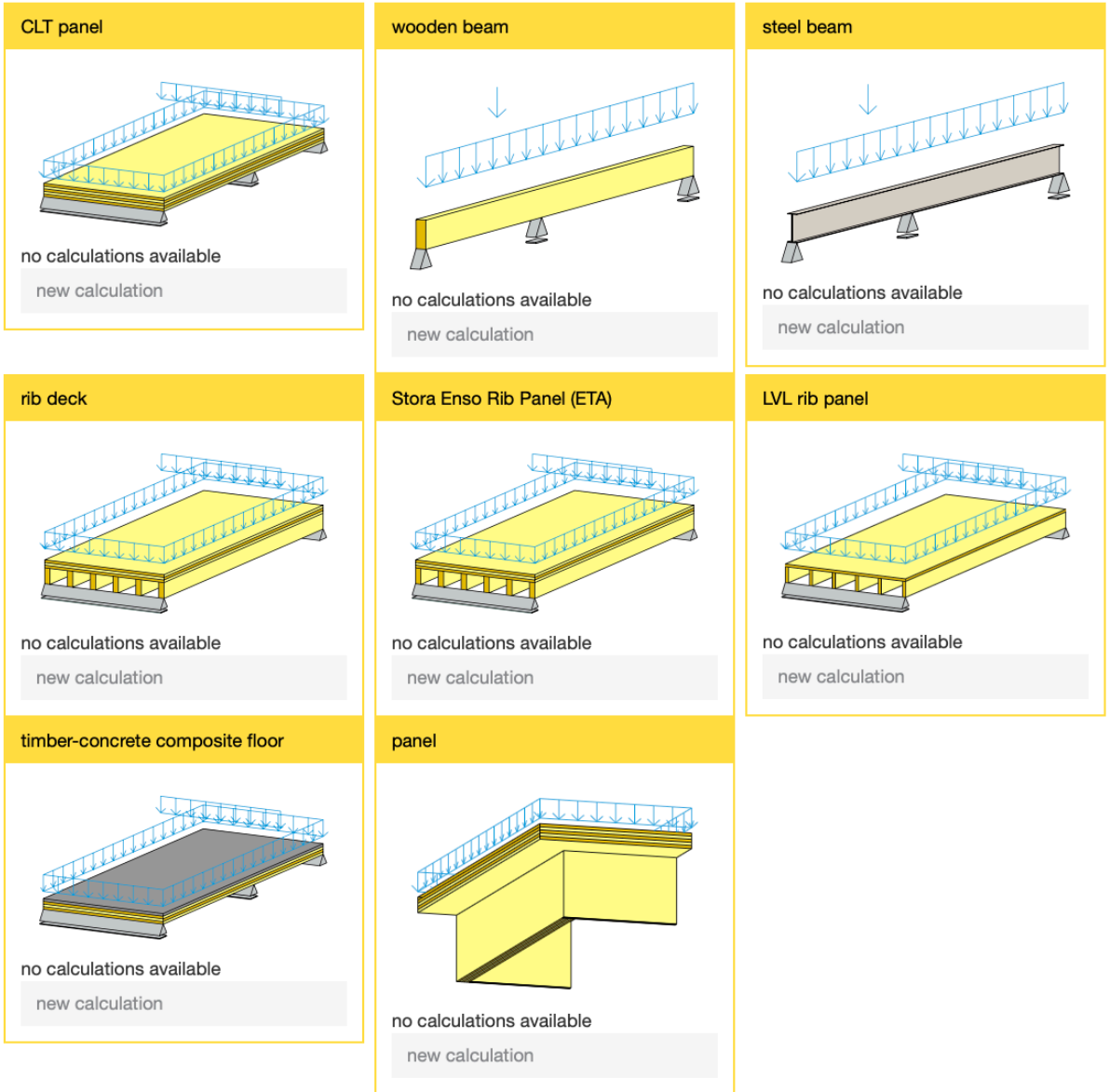
3.5.2. Calculatis

For å beregne dekker, bjelker og søyler til trekonstruksjonen er programmet Calculatis benyttet. Dette er et internettbasert program som baseres på Eurokode 5 (Stora Enso, 2016). Dette anses dermed som et sikkert program å benytte.

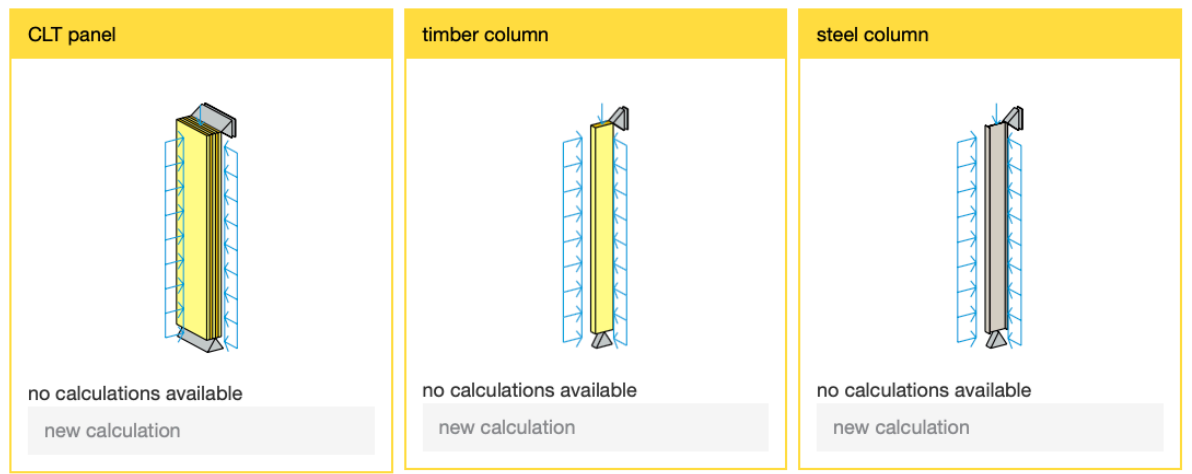
På startsiden til Calculatis kan en opprette prosjekter. Dersom en jobber med ulike type prosjekter kan de skilles her. Ved opprettelse av et prosjekt kan en velge navn for prosjektet, beskrivelse av prosjektet, for hvilket land de gjelder og ved hvilken høyde over havet prosjektet ligger. For valg av land kan det velges mellom Australia, England, Finland, Frankrike, Italia, Spania, Sveits, Sverige, Tyskland og Østerrike. Norge er altså ikke en del av landene, og det må dermed velges den som tilnærmer Norge på best mulig måte. Østerrike er det landet som er mest tilnærmet Norge for beregningsgrunnlag. Dette kan sikres ved å se gjennom resultatene av beregningene hvor en da kan se hvilke lastfaktorer som er brukt. Dette er en sikker metode å bruke da programmet bruker NS-EN 1995-1-1 som skal være lik over hele Europa (Europeisk standard) og de eneste forskjellene som

eventuelt kan oppstå er ved andre faktorer oppgitt i Norsk Vedlegg. Østerrike vil dermed kunne representere Norge på en god måte. Under oversikten for «load case category» kan en se at lastfaktorene i Østerrike tilsvarer lastfaktorene for Norge. For høyde over havet er det valgt en verdi på 0. Dette vil ikke spille særlig inn på beregningene da det ikke er tatt med snø- og vindlaster. I tillegg er det antatt at høybygg er mest relevant å bygge nært havnivå da de store byene i Norge ligger på havnivå.

Neste steg i Calculatis er prosjektdetaljer. Et utklipp fra siden over prosjektdetaljer er vist i Figur 3.3. En kan her se at man kan velge mellom å designe alt fra CLT paneler, trebjelker (både konstruksjonsvirke, limtre og LVL), ribbeplater, veggelement og søyler. Det er også mulig å velge beregninger for knutepunktforbindelser og bygningsfysiske analyser. Her finnes det også analyser for branndesign.



column analysis ☰



Figur 3.3 Utdrag av oversikt over elementer fra Calculatis (Stora Enso)

Etter en har valgt design for bygningselementet kommer en inn på siden hvor spesifikasjonene for elementet gjøres. Det er her delt inn i ulike deler hvor første del er et inputfelt for egenskapene til elementet. Figur 3.4 viser oppsettet for inputverdier en kan legge inn for dekkelementer.

system data

<p>*name <input type="text" value="-"/></p> <p>*inclination <input type="text" value="0"/> [°]</p> <p>*panel width <input type="text" value="1.000"/> [m]</p> <p>CLT panel type <input type="text" value="CLT 140 L5s"/></p> <p>material <input type="text" value="C24 spruce ETA (2019)"/></p> <p>Note for PDF output</p> <div style="border: 1px solid #ccc; height: 40px; width: 100%;"></div>	<p>*service class <input type="text" value="service class 1"/></p> <p>edge gluing <input type="radio"/> no edge gluing in middle layers <input checked="" type="radio"/> middle layers edge glued</p> <p><input type="checkbox"/> cover layer perpendicular to span direction</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> consider self weight</p> <p><input type="checkbox"/> support design</p>
---	---

fire design data

<p>*fire resistance class <input type="text" value="R 0"/> <input type="text" value="0"/> [min]</p> <p>load combination factor <input type="radio"/> Ψ_1 <input checked="" type="radio"/> Ψ_2 for fire design</p>	<p>fire protection cladding <input type="text" value="no fire protection"/></p> <p>fire protection layering <input type="text" value="no additional fire protection"/></p>
---	--

Service limit state design (SLS) - deformation data

<p>SLS - type of structure <input type="text" value="important and regular structural elemen"/></p> <p><input type="checkbox"/> consider upward deflection for cantilever</p>	<p>SLS limit w inst <input type="text" value="L / 300"/></p> <p>SLS limit w net,fin <input type="text" value="L / 250"/></p> <p>SLS limit w fin <input type="text" value="L / 150"/></p>
---	---

vibration

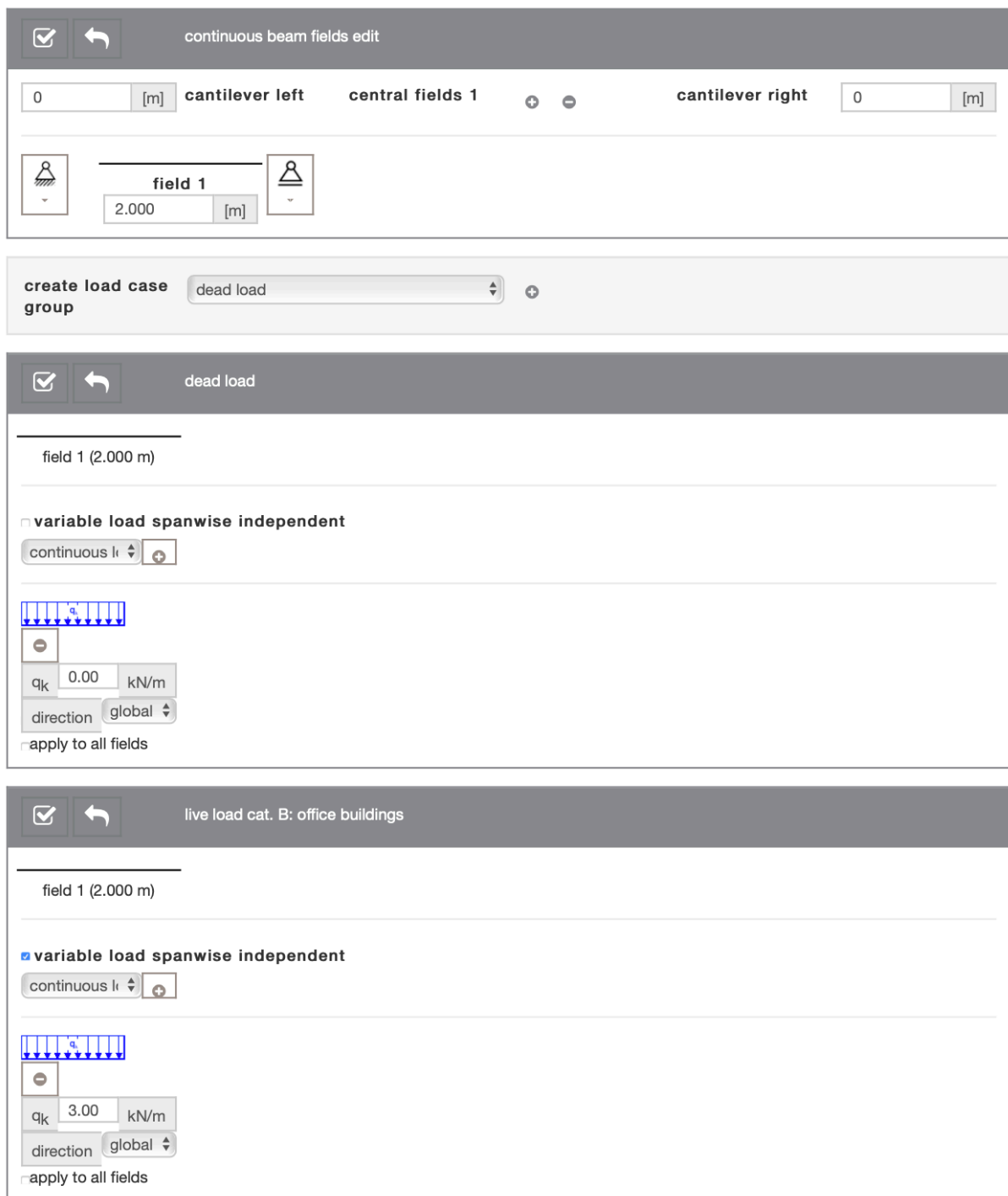
<p><input type="checkbox"/> perform vibration analysis</p> <p>*total width <input type="text" value="1.000"/> [m]</p> <p>*stiffness in cross direction by <input type="radio"/> CLT panel <input checked="" type="radio"/> CLT panel + screed <input type="radio"/> CLT panel + (EI) b</p> <p>*stiffness in cross direction <input type="text" value="0"/> [MNm²/m]</p>	<p><input type="checkbox"/> design for class II only</p> <p>*damping coefficient <input type="text" value="0.01"/> [-]</p> <p>*thickness screed <input type="text" value="0.0"/> [cm]</p> <p>*Young's modulus screed <input type="text" value="0.0"/> [N/mm²]</p>
--	--

Figur 3.4 Oppsett for input/spesifikasjoner for dekkelementer, fra Calculatis (Stora Enso)

Som en kan se på figuren, er spesifikasjonene for dekket inndelt i systemdata, branndesign, bruksgrense og vibrasjoner. For tykkelse på massivtredekker, type materiale (gran, furu), miljøklasse (service class) og brannmotstand er det brukt skrollemenyer hvor en får ulike valgmuligheter. Disse er predefinerte, konstante verdier, som også stemmer

med norske verdier. For resterende valg er det mulig å legge inn ønsket størrelse selv. Dette gjelder blant annet for bredde på dekke, maksimal nedbøyning ved bruksgrensetilstand, dempingskoeffisient, E-modul og så videre. Her er kontinuerlige verdier mulig, mens det for skrollemenyene kun er et visst antall valgmuligheter, for eksempel miljøklasse 1, 2 eller 3. Oppsettet for inputverdier og spesifikasjoner for de andre typene elementer, for eksempel bjelker og søyler, er lignende som for dekker, men er tilpasset de enkelte elementenes spesifikasjoner.

Videre kan en velge detaljer for elementene som omhandler lengde, opplagstyper, antall opplegg, om bjelken er kontinuerlig over flere opplegg eller kun mellom to. I tillegg kan en legge inn lastene som påføres elementet. Figur 3.5 viser dette oppsettet. For å legge til laster velger en først type last. Her kan en velge mellom egenlast, nyttelast, snø- og vindlast. For nyttelast velger en også hvilken kategori lasten gjelder for. Altså kategori A til H som da representerer alt fra bolig- og kontorbygg til industribygg og andre typer oppgitt i Eurokode 1 (Standard Norge, 2019). Ved påføring av laster på dekker og bjelker er det viktig å være oppmerksom på at lasten oppgis i kN/m og ikke kN/m². Dette må dermed korrigeres ved input av last dersom man har en annen bredde enn 1 meter på dekker eller bjelker.



Figur 3.5 Oppsett for elementutforming, opplegg og laster, fra Calculatis (Stora Enso)

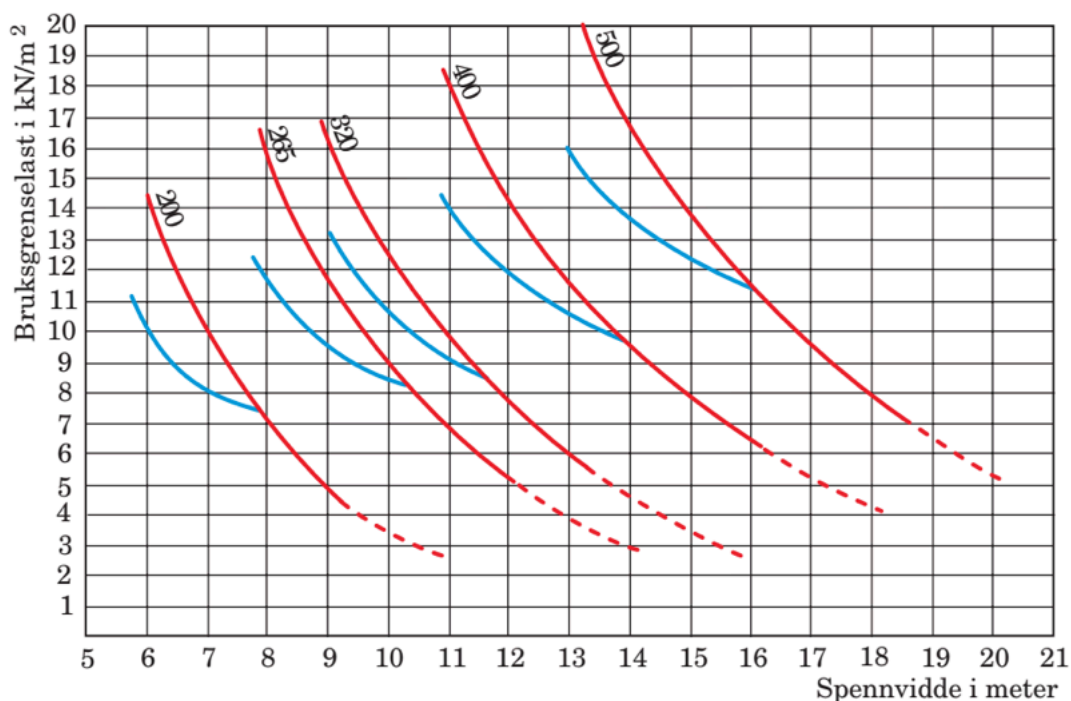
Utnyttelsen for elementene oppdateres fortløpende etterhvert som endringer blir gjort i programmet. En detaljert oversikt over utnyttelsen vises under resultater i programmet. Her kan en se utnyttelsen enkeltvis for bruddgrense, bruksgrense og brann samt oversikt over elementet som er brukt og dets kapasitet. Programmet viser også skjær-, moment- og nedbøyningsdiagrammer for de påførte lastene. Utfra dette er det mulig å selv evaluere troverdigheten til programmets beregninger.

En gunstig funksjon i Calculatis er dens evne til å beregne nødvendig dimensjon på dekkeelementene utfra påførte laster og andre faktorer. En legger da inn alle faktorer for dekkeelementet i Calculatis, og deretter beregner programmet hvilke tre tykkelser som gir

høyest utnyttelse innen kapasitetskravene. I tillegg til tykkelsen for elementet bestemmer Calculatis antall lameller og deres tykkelse. Spennvidden og bredden forblir altså som brukeren har satt. På denne måten er det mulig å optimere elementene ved de gitte lastene og dimensjonene.

3.5.3. Betongkonstruksjon

For dimensjonering av de ulike elementene i betongkonstruksjonen er det tatt utgangspunkt i Betongelementboken Bind A (Vinje, 2010). Her oppgis både dimensjon, egenlast og kapasitet ved ulike bruksgrenselaster for hulldekker og bjelker. Diagrammet for hulldekker er gitt i Figur 3.6. De blå strekene representerer der hvor skjærpåkjenningen kan bli dimensjonerende mens ved de stiplede linjene kan nedbøyningen bli dimensjonerende. Hensikten med denne type oversikt er å gjøre det enkelt for brukeren å finne nødvendig informasjon ved prosjektering.

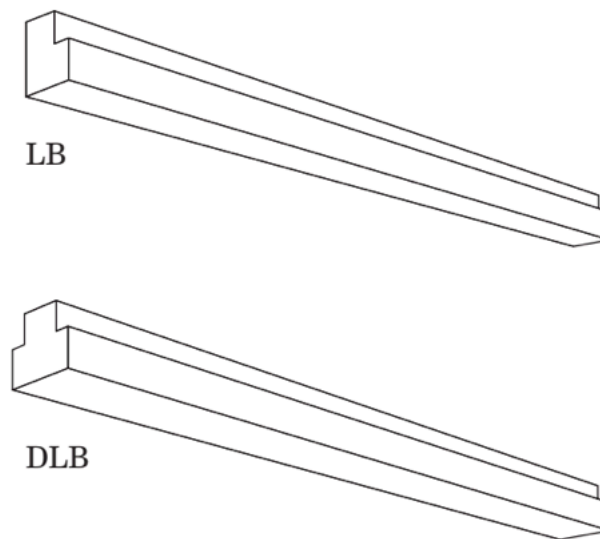


Figur 3.6 Kapasitet for ulike hulldekkeelementer (Vinje, 2010)

For dekker benyttes hulldekker med tykkelse avhengig av spennvidde som vist i Tabell 3.1. Dimensjonene velges utfra maksimal lengde på dekkene ved ulik tykkelse. Maksimal lengde er satt cirka midt i de stiplede linjene. Det antas at kapasiteten her er innenfor kravene gitt i Eurokode 5, også for nedbøyning (Standard Norge, 2010b). Dersom lengden er 10 meter eller mindre, velges tykkelse 200 millimeter, og dersom lengden er over 10 meter men maksimum 13 meter velges tykkelse 265 millimeter og så videre. Deretter gjøres det en ekstra sjekk for å se at lasten påført dekkene er mindre enn kapasiteten som vises i akse til venstre.

Egenlasten som legges til på dekket er som vist i Tabell 3.2 og nyttelasten som oppgitt under Nyttelast i kapittel 3.4.1 Laster. Betongelementboken oppgir at formel for påført bruksgrenselast er $0.9 \times \text{egenlast} + \text{nyttelast}$. En skal altså her benytte bruksgrenselast for å finne nødvendig dimensjon på dekket. (Vinje, 2010)

For bjelker er det valgt å benytte L-bjelker og Dobbel L-bjelker (DL-bjelke) som gitt i Betongelementboken (Vinje, 2010). L-bjelkene brukes som ytterbjelker, mens DL-bjelkene brukes som innerbjelker. L- og DL-bjelker er også kalt hyllebjelker og benyttes vanligvis som understøtte for dekker. Utformingen av disse bjelkene er gitt i Figur 3.7.



Figur 3.7 Utforming av L- og DL-bjelke (Vinje, 2010)

For lasten påført bjelkene brukes samme formel som for lasten påført dekkene, men en legger til egenvekten for dekkene. Deretter blir kapasiteten til de ulike dimensjonene på bjelkene beregnet utfra ulike lengder på bjelkene. Figur 3.8 viser et eksempel på beregning av kapasitet for en bjelke. Denne beregningen gjelder for en bjelke med bredde 150 millimeter og høyde 600 millimeter. Deretter er det satt opp en if-funksjon som viser at dersom lengden på bjelken er 4 meter vil kapasiteten til bjelken være på 118 kN/m, mens ved en spennvidde på 8 meter vil kapasiteten være på 27 kN/m. Dette gjøres for alle dimensjonene på både L- og DL-bjelker oppgitt i Betongelementboken (Vinje, 2010).

$$F_{z.Rk.ytterbjelke.150.600} := \frac{kN}{m} \begin{cases} \text{if } lengde_{bjelke} = 4 \text{ m} & 118 \\ \text{else if } lengde_{bjelke} = 5 \text{ m} & 78 \\ \text{else if } lengde_{bjelke} = 6 \text{ m} & 52 \\ \text{else if } lengde_{bjelke} = 7 \text{ m} & 37 \\ \text{else if } lengde_{bjelke} = 8 \cdot m & 27 \\ \text{else} & 0 \end{cases}$$

Figur 3.8 Beregning av kapasitet for bjelke fra Mathcad

Videre velger beregningsdokumentet den bjelken som har minst volum men nok kapasitet til å bære lastene som blir påført. Deretter blir egenlasten for bjelkene beregnet utfra dimensjonene på bjelken og tettheten for betong med armering.

Deretter beregnes søylene som forklart i kapittel 3.5.1 Generelt. De minste søyledimensjonene er hentet fra Betongelementboken Bind A (Vinje, 2010). I tillegg er det

lagt til kvadratiske søyler fra 650 til 1000 millimeter tykkelse med 50 millimeter spenn, altså søyletykkelse 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950 og 1000 millimeter. Dette er for å se på hvor store dimensjonene ved de største spennviddene, og med 8 og 16 antall etasjer, må være. Kapasiteten på søylene er beregnet for aksiallast. Det er da beregnet en maksimal last som kan bli påført søylene utfra trykkfastheten, dimensjonene (bredde og høyde) for søylen. I tillegg ganges kapasiteten med 0.3 for 30% utnyttelse av søylene til aksiallast. Deretter velges søyledimensjonene i dokumentet etter den dimensjonen som gir høyest utnyttelse, men er innenfor 100% (av de 30%-ene som er beregnet). Som forklart i kapittel 3.5.1 Generelt, gjøres dette for de fire ulike type søylene for hver etasje. Denne metoden for beregning av søyledimensjon er altså gjentakende for alle søyler i alle etasjer.

For å samle sammen mengden materiale for alle søylene på en enkel måte, beregnes egenvekt for hver type søyle i hver etasje. Altså egenvekt for øverste etasje legges sammen med egenvekten for etasjen nest øverst og så videre. Deretter ganges dette med antall søyler av den typen per etasje. Til slutt gjøres enheten om til tonn som brukes for betong i EPD-ene.

For armering benyttes samme metode for bjelker og dekker, men med ulik flytegrense. Spennarmering har en flytegrense 1860 N/mm^2 , mens slakkarmering har flytegrense 500 N/mm^2 . Det beregnes da påført last i bruddgrense, hvor lastfaktorene 1.2 for egenlast og 1.5 for nyttelast benyttes. Deretter beregnes maksimalt moment for det gitte elementet med formel for en fritt opplagt bjelke. Formelen er da:

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{f \times z}$$

hvor M_{Ed} er det opptredende momentet, f er flytegrensen, z er momentarm og A_s er nødvendig mengde armering i kvadratmillimeter. For hulldekkene beregnes avstand til armering som gitt i Betongelementboken, mens for bjelkene er det beregnet utfra nødvendig overdekning gitt i kapittel 2.4.4 Brann (Vinje, 2017). Videre beregnes antall armeringsstenger ved å dele A_s på tverrsnittsarealet til spennarmeringen for dekkene og slakkarmeringen for bjelkene. Til slutt ganges dette opp med lengde og antall dekker og bjelker for å beregne total mengde armering til dekker og bjelker.

For søylene er armeringsmengden beregnet utfra to ganger minimumsarmering, som er $0.01 \times A_c$, hvor A_c er tverrsnittsarealet til hver søyle (Standard Norge, 2018b). Denne forenklete metoden er gjort i samarbeid med faglærer og skal gi en representativ verdi. Siden det er mange ulike dimensjoner for søyler, er det beregnet mengde armering for hver søyle. Dette ble da gjort med cirka samme metode som for total mengde søyler. Tverrsnittet for hver type søyle i hver etasje beregnes og deretter ganges med $2 \times A_c$.

Ved slutten av dokumentet vil en få oppgitt total mengde betong og armering for både dekker, bjelker og søyler. Det er i tillegg lagt til ekstra armering for knutepunktene, som er beregnet til å være cirka 10% av mengden armering i hulldekkene. Bruk av 10% armering i knutepunkt er valgt i samarbeid med faglærer og skal gi en representativ verdi.

3.5.4. Trekonstruksjon

For trekonstruksjonen ble dimensjonene på de ulike elementene beregnet i Calculatis, som nevnt tidligere.

Forutsetninger

Forutsetningene for lastene gitt i kapittel 3.4.2 legges inn som ekstra egenvekt påført dekkene i Calculatis. I tillegg legges nyttelasten gitt i kapittel 2.6.2 Nyttelast til. Egenvekten for selve dekkeelementet beregner programmet selv utfra valgt tykkelse, bredde og lengde (spennvidde) på elementet dersom ønskelig. Dette er altså en faktor en kan velge om programmet skal regne med eller ikke. I dette tilfelle ble det regnet med både for dekker og bjelker.

Både ekstra egenvekt og nyttelast ganges med bredden av gjeldende element for å få lagt inn riktig dimensjon grunnet enhet på kN/m for laster i Calculatis. Tabell 3.4 viser de lastene som må legges inn i programmet. Ved dobbel bredde blir også revidert last dobbelt så stor per meter spennvidde. Lastene er gitt som karakteristiske da programmet selv legger til lastfaktorene ved beregning.

Tabell 3.4 Laster revidert etter bredde på massivtreelementer

Type bygg	Type løsning for lydkrav	Ekstra egenlast [kN/m ²]	Ekstra egenlast revidert etter bredde [kN/m]	Nyttelast [kN/m ²]	Nyttelast revidert etter bredde [kN/m]
Bolig	Lydtiltak med betong	2.37	2.84	2	2.4
	Lydtiltak med tilfarer	0.42	0.5	2	2.4
Kontor	Lydtiltak med betong	2.37	2.84	3	3.6
	Lydtiltak med tilfarer	0.42	0.5	3	3.6

Andre forutsetninger som settes likt for alle beregningene i Calculatis er at alle trekonstruksjonene bygges med tretypen gran, og krav til bruksgrense settes lik som den er gitt i Eurokode 5 som sammenfaller med verdiene gitt i Calculatis (Standard Norge, 2010b). Det er også antatt at nedbøyning er en «important and regular structural element» da alle elementene er en del av bærekonstruksjonen. Klimaklasse (Service class) settes lik 1 for alle tilfeller. Denne klimaklassen gjelder blant annet for bærende elementer innendørs i rom som vanligvis er oppvarmet og anses dermed som mest riktig for bolig- og kontorbygg. For vibrasjonsanalyse settes bredden alltid lik bredde på elementet. Branndimensjoneringen i Calculatis baseres på Eurokode 5 - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering (Standard Norge, 2010a).

For knutepunktforbindelser i trekonstruksjonen er det tatt utgangspunkt i en verdi på 55 kg stål/m³ limtre. Dette er basert på hva som er benyttet i tidligere prosjekter med sammenlignbare trekonstruksjoner. Blant annet er det tatt utgangspunkt i Branntomt i Trondheim, Treet i Bergen og Mjøstårnet i Brumunddal. Tall for stålmengde er hentet fra mail med ansatte i Moelven. For forbindelse av massivtreelementene er det ikke tatt med stål i beregningene i denne oppgaven. Det finnes her flere ulike metoder, blant annet å legge massivtredekker oppå L-bjelker istedenfor å feste de med skruer langs siden av rektangulære bjelker. En kan da spare større mengder stål i knutepunktene dersom dekkeelementene hviler på bjelker fremfor å ta opp skjærlastene med skruer langs rektangulære bjelker.

Fremgangsmåte

På grunn av flere ulike faktorer som varierer, lages det forskjellige beregningsdokumenter for trekonstruksjonene i Calculatis. Det skilles mellom bolig- og kontorbygg, spennvidde og type tiltak for lydkrav. Om bygget er bolig- eller kontorbygg bestemmer nyttelasten som påføres dekket. Det lages dermed først et beregningsdokument hvor alle fastsatte verdier legges inn og deretter kopieres dokumentet opp. I kopiene kan da spennvidder og laster varieres og en vil få ut ulike tykkelser på elementene for å oppnå kravene som er lagt inn. Etter spennvidde og laster er korrigert for de ulike tilfellene brukes kalkulasjonsknappen for å finne de mest optimale tykkelsene på dekkene. Ved å bruke kalkulasjonsfunksjonen vil en kjappest mulig komme frem til de mest optimale tykkelsene på dekkene. Hvilken tykkelse som er mest optimal velges utfra den dekketykkelsen som gir høyest utnyttelse (men under 100%). Valgte dimensjoner på dekkene legges så inn i Mathcad-dokumentet med if-funksjoner på samme måte som for betongkonstruksjonen.

For massivtredekkene er vibrasjon som regel dimensjonerende. Dermed vil dimensjonene som er nødvendig være avhengig av vibrasjonen og ikke variasjonene av nyttelast ved bolig- eller kontorbygg. Derfor vil dimensjonen på dekket være uavhengig om det er bolig- eller kontorbygg. Det er kun egenlasten av lastene som vil gi en forskjell på utnyttelsen av vibrasjon da en høyere egenlast vil gi en høyere masse i dekket og som dermed gjør det «vanskeligere» for svingningene å settes i gang. Total bredde til vibrasjonsberegningene påvirker også utnyttelsen av vibrasjon, men kun opp til en viss bredde. Siden denne oppgaven skal se på forskjellen ved ulike dimensjoner på spennvidder og andre dimensjoner, har det vært nødvendig å være fleksibel med hvilken bredde som gjelder. Det ble derfor testet flere ulike totalbredder, altså et tall for antall dekker ved siden av hverandre ganget opp med bredden til dekkene hver for seg. Ved en total bredde fra seks meter og oppover ble vibrasjonsutnyttelsen den samme. Det ble kun sjekket for 1.2 meter, 2.4 meter og deretter fra 5.4 meter og oppover. Dette for å se forskjellen i virkningen av bredden til kun ett dekke og ved flere. Grunnen til at andre dimensjoner ikke ble testet var fordi det ikke er sannsynlig å ha et bygg med en bredde mindre enn 5.4 meter. Ved å bruke 5.4 meter som total bredde i stedet for bredden på selve dekket kunne noen dekketykkelser senkes med ett hakk. Denne endringen hadde større betydning for valg av dimensjon av tykkelse på dekkene med lengre spenn enn de med kortere spenn. Ved total bredde lik 2.4 meter fikk en også lik utnyttelse av vibrasjon, mens ved bredde mindre enn dette ble utnyttelsen høyere. Over 2.4 meter endret ikke utnyttelsen seg. Det er dermed ingen endring av utnyttelsen for vibrasjon ved mer enn to dekker ved siden av hverandre.

I if-funksjonene i Mathcad-dokumentene gjøres det slik at når brukeren velger en spennvidde og type bygg vil dokumentet finne den tykkelsen på dekket som passer best. På samme måte i Calculatis finner en dimensjoner på bjelker og søyler som trengs for å oppnå høy nok kapasitet for de gitte betingelsene.

For bjelker tas det utgangspunkt i standard bjelkedimensjoner og deretter sjekkes hvilke laster de ulike bjelkene kan ta, men det må også her skilles mellom egenvekt og nyttelast. Derfor sjekkes det hvilken bjelkedimensjon av de standard bjelkene som har nok kapasitet for å ta opp lastene fra de ulike dekkedimensjonene og lastkombinasjonene. I Mathcad ble det laget en formel for å finne lasten som påføres bjelkene. Det er da tatt utgangspunkt i fritt opplagt dekke på to bjelker som forklart i kapittel 3.5.1 Generelt. Deretter ble både egenlast og nyttelast fra dekkene beregnet. Dette inkluderer da også egenvekt fra valgt dekkedimensjon. Nødvendig dimensjon for bjelkene beregnes utfra lastene den påføres og

valgt bjelkespenn. Dette ble også gjort for ytterbjelke og innerbjelke som for betong, men hvor de i trekonstruksjonen er formet som en vanlig rektangulær bjelke.

For søylene ble det benyttet en mer generell metode for beregning av nødvendig dimensjon. Dersom en skulle gjort det på samme måte som for bjelker ville det blitt veldig mange løsninger da det er 48 ulike sammensetninger av spennvidder for dekker og bjelker, samt to ulike type bjelker i tillegg til fire ulike type søyler. I tillegg er det tre ulike antall etasjer som også gir forskjellige nødvendige dimensjoner for søylene. Det ble derfor beregnet et forholdstall for egenlast og nyttelast påført søylene og utfra dette beregnet hvor stor kapasitet hver søyle hadde utfra gitte dimensjoner. Det ble da lagt til laster for en søyle, med riktig forhold mellom egenlast og nyttelast, til søylen ble utnyttet 30%. Deretter ble egenlasten og nyttelasten som ga denne utnyttelsen, lagt inn i Mathcad i if-setninger på samme måte som søyler for betong.

Beregning av antall elementer per etasje samt valgte dimensjoner for både dekker, bjelker og søyler blir altså gjort på samme måte som for betongkonstruksjonen, men med dimensjoner for treelementene.

For søyler og bjelker måtte også noe gips legges til for branniltak. Hvor store områder som trengte gips ble beregnet utfra bredde på elementet som forklart i kapittel 3.4.3 Brann. Deretter måtte også omkrets for de elementene som trengte branniltak beregnes. Dette ble gjort ved ulike if-setninger som en kan se i Vedlegg B.

Til slutt oppgir dokumentet volum dekke, volum bjelke, volum søyle, areal branngips og areal vanlig gips. Disse ble tatt videre til Excel-dokument for en livsløpsvurdering.

3.6. Livssyklusanalyse

3.6.1. Generelt om fase 1 og 2

Den første fasen av en livsløpsvurdering handler om å bestemme hensikt og omfanget av studien som forklart i Generell metode for livsløpsvurderinger i kapittel 2.7.1. Hensikten med livssyklusanalysen er å undersøke forskjeller i miljøpåvirkningen for bærekonstruksjoner i tre og betong samt for ulike spennvidder for dekker og bjelker ved disse konstruksjonsmaterialene. Denne studien gjennomføres for å kunne gi byggindustrien et bedre innblikk i påvirkningen materialene tre og betong, samt spennvidde for dekker og bjelker, i bæresystemet har på miljøet.

Omfanget av LCA-studien er begrenset til å se på systemgrensene fra A1 til A3, altså fra vugge til port (produksjonsfasen). I tillegg er transport til byggeplass (A4) inkludert. Systemgrensene er forklart i kapittel 2.7.3. Avgrensningen av livsløpsfase B er gjort fordi materialene ikke vil ha noen påvirkning under brukstiden. Avhending og etter livsløp, livsløpsfase C og D, er ikke nødvendigvis relevant da det ligger såpass langt frem i tid. I tillegg inkluderer ikke alle EPD-ene alle fasene, men A1-A4 er representert i de fleste EPD-er. Grunnen til at det er valgt å ta med transport til byggeplass i tillegg til systemgrensen vugge til port, er fordi enkelte produkter kan være produsert i andre land, og ved å utelate transport kunne en da ha oversett en faktor med stor miljøpåvirkning. En usikkerhet med fase A4 som allerede ligger i EPD-ene, er at denne representerer en gjennomsnittlig verdi for påvirkning fra transport. Fordi denne studien skal gi en generell forståelse, anses det som greit å benytte verdien for A4 som ligger i EPD-ene. Fasen A5, byggeplass, kan variere veldig fra prosjekt til prosjekt og avhenger blant annet av hvilke maskiner en benytter på

byggeplass for å sette elementene på plass. Denne er ikke tatt med i livssyklusanalysen. En annen avgrensning som er valgt er kun å se på GWP og ikke de andre miljøpåvirkningene. Dette med bakgrunn i at man ønsker å senke den globale oppvarmingen som forklart i kapittel 1.1 Bakgrunn.

For fase 2, som omhandler livsløpsregnskapsfasen, er det valgt å benytte EPD-er. Ved å bruke EPD-er fremfor å gjøre beregningene selv, basert på enkelte input og outputverdier, kan en få et mer realistisk bilde over hvor stor miljøpåvirkningen vil bli med de produktene og fabrikkene som er tilgjengelig i dag. Dersom en hadde funnet verdier i ulike databaser og satt opp regnskapet selv, kunne en ha oppnådd en løsning som ikke praktiseres i dag.

Kapittel 3.6.2 gir en mer detaljert beskrivelse om hvordan fase 2 av livsløpsvurderingen ble gjennomført. Fase 3 som omhandler livsløpseffektvurderingsfasen, gis i kapittel 4 Resultat. Det oppgis der hvilke verdier for GWP beregningene i fase 2 gir. Til slutt tolkes resultatene i kapittel 5 Drøfting som da er siste fasen i livsløpsvurderingen, fase 4.

3.6.2. Forutsetning for fase 2

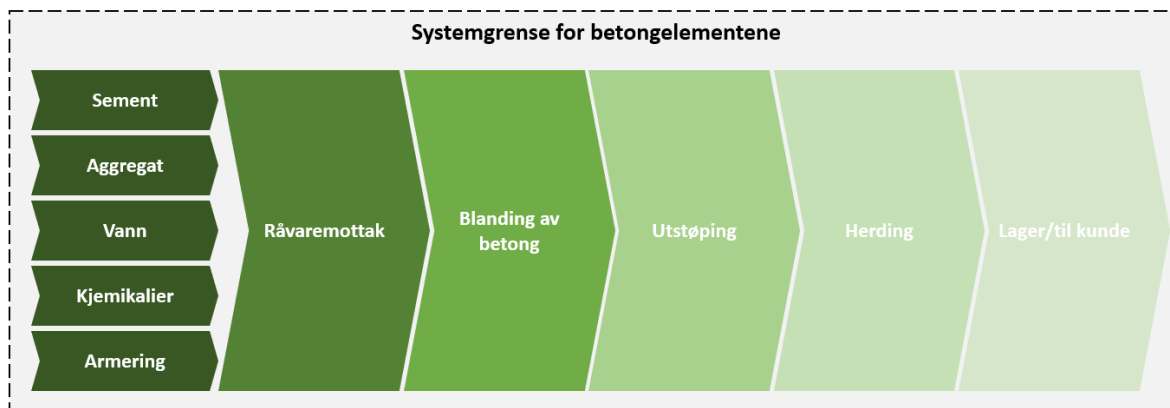
For å beregne miljøpåvirkningen av de ulike konstruksjonene ble det tatt i bruk EPD-er for hvert enkelt produkt, som nevnt i kapittel 3.6.1. Det ble først opprettet en oversikt over de EPD-ene som finnes for de ulike materialene og deretter valgt ut de som er mest relevante og best tilpasset oppgaven. Dette kan blant annet gjelde levetid, enhet, type materiale, hvilke faktorer det er tatt hensyn til i EPD-en og hvilke krav som er satt opp.

Valg av EPD-er er basert på hva som er tilgjengelig og hva som virker mest relevant for oppgaven. For eksempel er det heller valgt et produkt med produksjon i Norge enn i utlandet dersom verdiene for fasene utenom transport er omtrent like. Grunnen til dette er fordi utslipp fra transport vil bli store når det må fraktes over lengre distanser. Det ble generelt prøvd å bruke EPD-er med produksjonssted på Østlandet slik at transportverdien for de ulike elementene til både tre og betong skulle ha mest mulig like forutsetninger.

Betongkonstruksjon

For betongkonstruksjonen er det brukt EPD-er for hver av elementene; prefabrikkerte hulldekker, bjelker og søyler. Verdiene for miljøpåvirkning er forskjellig for de ulike EPD-ene, men flytskjema er felles for alle tre. Flytskjema for de prefabrikkerte betongelementene er gitt i Figur 3.9.

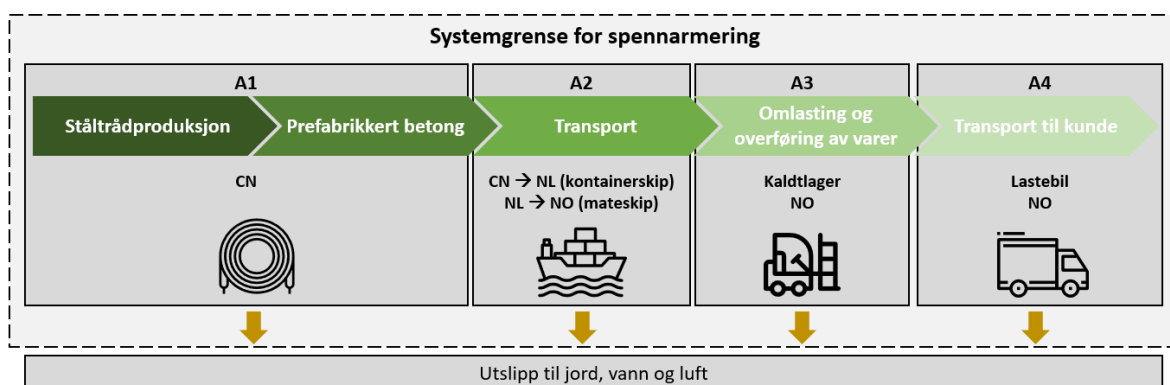
Flytskjema gir en systembeskrivelsen av de modulene som er inkludert i de ulike EPD-ene. Den stiplede linjen representerer systemgrensen for denne studien. Av Figur 3.9 kan en se inngangsfaktorene til venstre, som viser de elementene som trengs for å produsere betongelementene. Disse inngangsfaktorene, sement, aggregat, vann, kjemikalier og armering blir sendt til betongfabrikken. Hver av elementene har også sitt eget flytskjema hvor fase A4, transport til kunde, er transport til betongfabrikken. Fase A4 for de ulike inngangsfaktorene blir da fase 1, råvaremottak, i systemgrensen for betongelementene. Armeringen er en del av råvaremottaket da dette er et materiale som trengs for å lage betongelementene, men den er ikke en del av fasen for blanding av betong. Ved utstøping derimot er armeringen et inkludert element.



Figur 3.9 Flytskjema for betongelementer (Østfoldforskning AS, 2018)

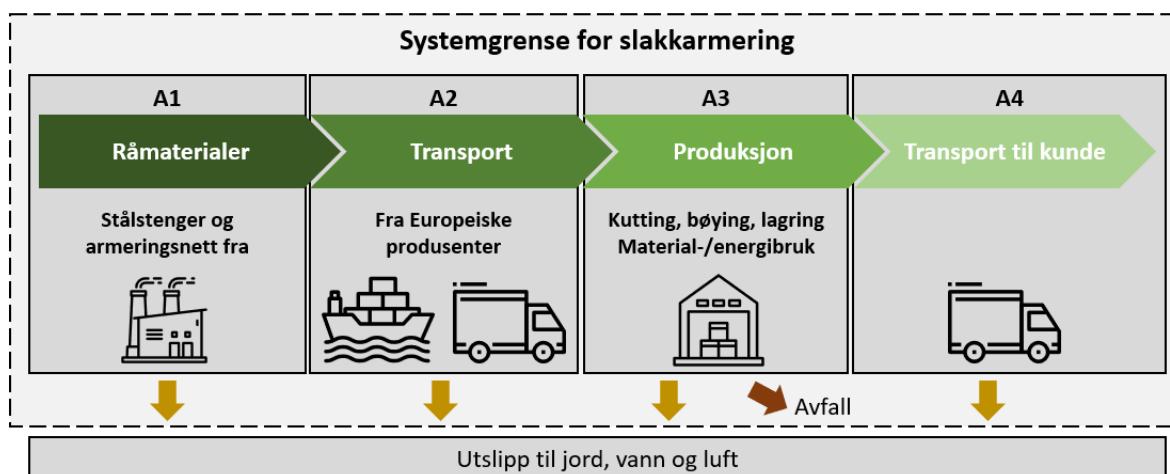
Armering er inkludert i EPD-ene til både hulldekker og bjelker. I EPD-en for hulldekkene er det lagt inn 1.39% armering, mens for bjelkene er det lagt inn 4.8% armering. I søylene er prosentandel armering på 5.76%. Prosentandel armering i EPD-en for bjelkene er større enn den prosentandelen som er nødvendig for å opprettholde kapasiteten i bjelkene. Det ble derfor unnlatt å legge til ekstra armering for bjelker i livsløpsvurderingen. Den verdien for bjelkearmering som var gitt i Mathcad-dokumentet ble dermed ikke regnet med. For hulldekkene derimot hadde noen elementstørrelser behov for mindre armering enn hva som allerede var regnet med i EPD-en, mens andre trengte mer. Der hulldekkene trenger mindre armering enn hva som ligger i EPD-en, blir det ikke lagt til ekstra armering for dekkene i livsløpsanalysen. I de tilfellene det er nødvendig med økt armeringsmengde sammenlignet med hva som ligger i EPD-en, blir differansen lagt til. Søylene hadde en relativ stor prosentandel armering som en del av elementet i EPD-en, likevel måtte en liten differanse legges til for å regne med all armeringen som var prosjektert for søyleelementene.

For ekstra armering i dekkene og søylene ble det brukt egne EPD-er for spenn- og slakkarmering. Flytskjema for spennarmering er gitt i Figur 3.10, mens for slakkarmering er gitt i Figur 3.11. Som forklart i avsnittet over vil fase A4 i systemgrensen til armeringen representerer transport fra armeringslager til råvaremottak for betongelementene.



Figur 3.10 Flytskjema for spennarmering (Fet, 2015a)

Av Figur 3.10 kan en se at produksjonen av spennkablene er produsert i Kina. Videre fraktes disse med båt via Nederland til Norge. Dette fører til økte transportutslipp sammenlignet med om produksjonen hadde foregått i Norge. Figuren viser også at det kommer utslipp ved hver fase, fra A1 til A4. Utslippene er ikke en del av systemgrensen, men påvirker miljøet.



Figur 3.11 Flytskjema for slakkarmering (Fet, 2015b)

Av Figur 3.11 kan en se at flytskjema for slakkarmering er relativt likt flytskjema for spennarmering. Fase A3 for slakkarmering har også noe avfall forbundet med prosessen, noe ikke spennarmering har. Dette kan komme av at spennarmering kommer i lange tau som kuttes ved produksjon av prefabrikkerte betongelementer, mens slakkarmering består av stenger og bøyer som må tilpasses mer før de sendes til produksjon av betong.

Flytskjemaene er hentet fra EPD-ene til de ulike produktene.

Hunton Silencio var beregnet å bruke som trinnlydplate, men siden det ikke er utarbeidet en EPD for dette materiale måtte et annet materiale og annen produsent velges (Skogstad, 2018). Det ble da valgt å benytte trinnlydplate fra Rockwool. Rockwool har en EPD som gjelder for alle isolasjonstyper de har. For å finne riktig verdi for det materialet en ønsker å bruke, kan en benytte en tabell i EPD-en hvor en finner en faktor for det gitte produktet. I tillegg må en gange opp med R-verdien for det gitte produktet. Ved å gange disse faktorene med verdiene gitt for de ulike systemgrensene vil en finne miljøpåvirkningen til de materialene. Hvilke faktorer som gjelder for hvilke produkter er gitt i Tabell 3.5.

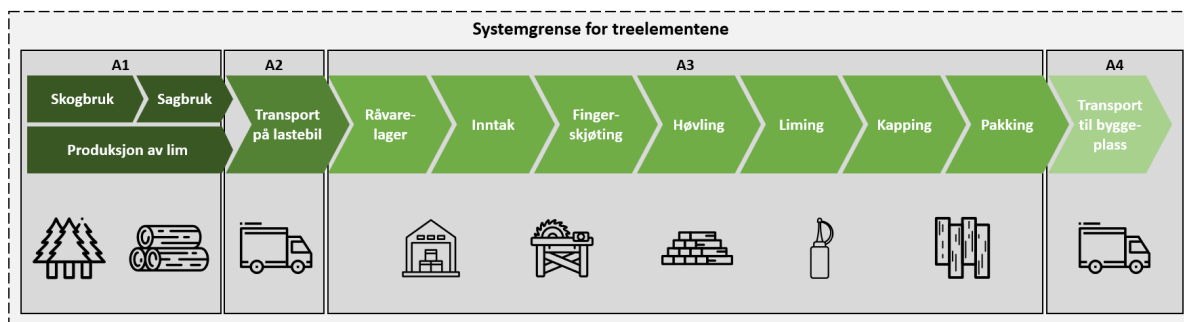
Tabell 3.5 Oversikt over faktorer for EPD av isolasjonstyper (Rockwool Nordic, 2019)

Type materiale	Tykkelse materiale	Skaleringsfaktor	R-faktor
Trinnlydplate	36 mm	5.7	0.972
	50 mm		1.35
Isolasjon	100 mm	1.1	2.7
	150 mm		4.05

EPD-ene for resterende materialer som legges til på grunn for krav til lyd i bærekonstruksjon i betong benyttes som normalt. Dette inkluderer parkett og sparkelavretting.

Trekonstruksjon

For trekonstruksjonen er det benyttet én EPD for massivtre og én for limtre. Felles for disse er flytskjemaet som vises i Figur 3.12. EPD-ene for massivtre og limtre inkluderer systemgrensen fra vugge til grav. Siden det i denne oppgaven er begrenset til å se på fasene A1 til A4, er ikke resterende faser inkludert i systemgrensen i figuren. Dette gjelder også ved beregning av miljøpåvirkningen. Da inkluderes også kun A1 til A4.



Figur 3.12 Flytskjema for treelementer (Tellnes, 2020)

I flytskjemaet kan en også se alle prosessene treet må gjennom fra det er hentet i skogen til det kan benyttes i bærekonstruksjonen. En mer illustrativ oversikt over disse er vist i Figur 2.4, Kretsløp for limtre.

Stål til knutepunkt i trekonstruksjonen er ikke en del av flytskjemaet for treelementene da det er antatt at forbindelser i trekonstruksjonen blir utført på byggeplass, som ikke er en del av systemgrensen for denne oppgaven. Miljøpåvirkningen for stål til knutepunkt er likevel beregnet, men ved bruk av egen EPD.

EPD-er for massivtre er av begrenset antall. På EPD-Norge sin hjemmeside ble det funnet tre ulike EPD-er som gjaldt massivtre. Felles for disse er at alle benytter grantre. I ett tilfelle kunne det også være furu. Felles for alle er en levetid på 60 år. Produksjonssted for de ulike bedriftene var Norge, Sverige og Latvia, men alle var tilrettelagt for levering i Norge. Siden alle produsentene hadde cirka lik miljøpåvirkning, ble bedriften med produksjonssted i Norge valgt.

For limtre er det flere alternativer å velge mellom for EPD-er. Det er valgt en EPD med limtre fra Moelven. Denne ble blant annet valgt fordi den hadde en verdi for miljøpåvirkning som var mellom verdi for miljøpåvirkning i de andre EPD-ene for limtre. I tillegg er produksjonen til Moelven på Østlandet, noe som er gunstig for å ha cirka lik tilnærming som de andre materialene.

For konstruksjonsvirke brukes en EPD med gyldighetsdato frem til 9 mars 2020. Siden dette var veldig nylig antas det at denne fortsatt kan benyttes da det kun er overslagsberegninger som er gjort i denne oppgaven. Konstruksjonsvirke brukes som tilfarere og disse ligger med en senteravstand på 600 millimeter. Dette justeres slik at dokumentet beregner hvor mye konstruksjonsvirke som trengs til tilfarere per kvadratmeter bruksareal. Måten dette justeres på er å beregne volum konstruksjonsvirke per tilfarer: $0.048 \text{ meter} \times 0.098 \text{ meter} \times 1 \text{ meter}$ og deretter gange opp med $\frac{1}{0.6} = 1.67$ stykk per meter. $\frac{1}{0.6}$ representerer en tilfarer per 0.6 meter. Dette gir en mengde på 0.00784 kubikkmeter konstruksjonsvirke per kvadratmeter bruksareal.

Det finnes ingen EPD for elastisk underlag. Det måtte derfor finnes et tilsvarende materiale. Det ble da brukt tilsvarende produkt som i Østfoldforskning sin rapport, en Icopal Primo fuktmembran. Østfoldforskning valgte dette produktet i sin studie som erstatte for elastisk underlag. I deres studie benyttet de samme løsning med tilfarer som lydkrav til trekonstruksjonen som i denne oppgaven, og det anses dermed at det tilsvarende produktet er en god erstatte.

En detaljer oversikt over alle EPD-er som ble benyttet for de ulike produktene samt tilhørende verdier er gitt i Vedlegg E. En kan også se deklarasjonsnummeret til hver EPD i Tabell 3.6

3.6.3. Beregning av klimapåvirkning

For å beregne størrelsen på miljøpåvirkningen for bærekonstruksjonene med tilhørende materialer for brann- og lydtiltak, ble det utarbeidet et Excel-dokument som samlet verdiene for de ulike systemgrensene for hvert materiale. Et utdrag av dette dokumentet vises i Tabell 3.6. Kolonnen helt til venstre, «Type materiale» viser hvilket materiale den enkelte raden gjelder for. «Enhet» viser til hvilken enhet dimensjonen som legges inn i «Menge av type materiale» må ha. Som en kan se, er det ulik farge på feltene for mengde av type materiale. De grønne feltene representerer verdier som er faste uavhengig av spennvidder. Disse avhenger kun av ekstra materiale for lydtiltak og beregnes utfra dimensjon på bygg samt antall etasjer. De gule feltene er mengder som fylles inn fra Mathcad og varierer ved ulike spennvidder. De neste feltene, A1-A4, viser verdien for klimapåvirkning regulert etter mengde av det gitte materiale. Deretter vises den totale klimapåvirkningen for det enkelte materialet. Til slutt oppgis deklarasjonsnummeret til EPD-en for de enkelte materialene. Den første tabellen gjelder bærekonstruksjon av tre med tilfarer som lydtiltak. Den midterste tabellen gjelder for en bærekonstruksjon av tre med påstøp som lydtiltak, mens den siste gjelder bærekonstruksjon av betong.

Tabell 3.6 Utdrag fra Excel-dokument for miljøpåvirkning

Type konstruksjon	L	B	Antall etasjer	Type materiale	Enhet	Mengde av type materiale	A1	A2	A3	A4	Total [kg CO2-eg]	Kilde
Tre - Tilfarer	54	40	1	CLT	m ³	259,20	-1,55E+05			7,49E+02	-1,54E+05	NEPD-2042-902-NO
				GL	m ³	29,13	-1,79E+04			2,06E+02	-1,77E+04	NEPD-1577-605-NO
				Branngips	m ²	4114,04	1,07E+04			1,40E+03	1,21E+04	NEPD-1264-406-EN
				Gips type A	m ²	2057,02	3,50E+03			5,97E+02	4,09E+03	NEPD-1260-406-EN
				Stål	kg	1602,15	3,52E+03			9,08E+01	3,62E+03	NEPD-402-281-EN
				Parkett 20 mm	m ²	2160	-3,02E+04			4,08E+02	-2,98E+04	NEPD-1578-604-NO
				Gulvgips 13 mm	m ²	2160	6,20E+03			8,99E+02	7,10E+03	NEPD-2139-966-EN
				Sponplate 22 mm	m ²	2160	-3,83E+04			8,03E+02	-3,75E+04	NEPD-2001-885-NO
				Isolasjon 100 mm	m ²	2160	7,06E+03			7,95E+02	7,85E+03	EPD-RWI-20190050-CBD1-EN
				Tilfarer	m ²	2160	-1,03E+04			1,93E+02	-1,01E+04	NEPD-308-179-NO
				Elastisk underlag	m ²	2160	2,31E+03			1,30E+02	2,44E+03	NEPD-207-260-NO
				SUM						-2,18E+05		
Tre - Påstøp				CLT	m ³	194,4	-1,16E+05			5,62E+02	-1,15E+05	NEPD-2042-902-NO
				GL	m ³	35,88	-2,21E+04			2,54E+02	-2,18E+04	NEPD-1577-605-NO
				Branngips	m ²	4717,60	1,23E+04			1,60E+03	1,39E+04	NEPD-1264-406-EN
				Gips type A	m ²	1251,76	2,13E+03			3,63E+02	2,49E+03	NEPD-1260-406-EN
				Stål	kg	1973,4	4,34E+03			1,12E+02	4,45E+03	NEPD-402-281-EN
				Påstøp 80 mm	m ²	172,8	3,70E+04	1,58E+03	5,34E+02	3,51E+02	3,94E+04	NEPD-1939-858-NO
				Trinnlydplate 50 mm	m ²	2160	1,83E+04			2,06E+03	2,03E+04	EPD-RWI-20190050-CBD1-EN
				Isolasjon 150 mm	m ²	2160	1,06E+04			1,19E+03	2,36E+04	EPD-RWI-20190050-CBD1-EN
				Gulvgips 26 mm	m ²	4320	1,24E+04			1,80E+03	1,42E+04	NEPD-2139-966-EN
				SUM						-4,12E+04	1,58E+03	5,34E+02
Betong - Hulldekke				Hulldekke	Tonn	572,48	6,07E+04	1,85E+03	3,09E+03	4,87E+03	7,05E+04	NEPD-14-317-NO
				Betong bjelke	Tonn	266,51	4,05E+04	4,69E+02	4,13E+02	1,13E+03	4,25E+04	NEPD-1637-656-NO
				Betong søyle	Tonn	116,6	1,87E+04	2,10E+02	1,81E+02	4,93E+02	1,95E+04	NEPD-1639-656-NO
				Spennarmering	kg		0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00	NEPD-326-206-EN
				Slakkammering	kg	660,44	2,15E+02			1,66E+00	2,16E+02	NEPD-347-238-EN
				Parkett 20 mm	m ²	2160	-3,02E+04			4,08E+02	-2,98E+04	NEPD-1578-604-NO
				Trinnlydplate 36 mm	m ²	2160	1,32E+04			1,49E+03	1,47E+04	EPD-RWI-20190050-CBD1-EN
				Sparkelavretting	m ²	36720	5,10E+03	1,27E+03	3,17E+00	2,05E+02	6,59E+03	NEPD-2086-944-NO
SUM						1,20E+05	2,53E+03	3,68E+03	6,49E+03	1,24E+05		

Videre ble de totale utslippene for hver spennvidde lagt inn i en tabell for en oversikt. Deretter ble verdiene delt på det samlede bruksarealet for alle etasjene. Disse tabellene vises i kapittel 4 Resultater.

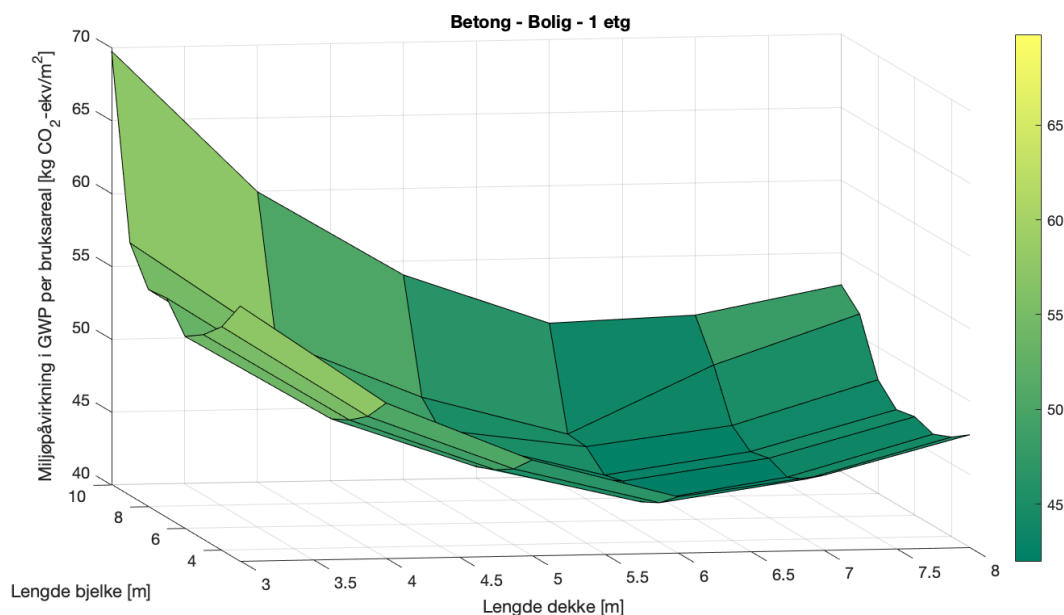
4. Resultater

Resultatene presenteres ved figurer og tabeller med tilhørende forklaringer. Figur 4.1 til Figur 4.16 viser miljøpåvirkningen for betong- og trekonstruksjon med etasjehøydene 1, 8 og 16 etasjer hver for seg. Det skilles også mellom bolig- og kontorbygg. Verdiene langs z-aksen er gitt av miljøpåvirkning i kg CO₂-ekvivalenter/m² bruksareal, mens i x- og y-retning oppgis spennvidde for bjelke og dekke i meter. Grafene er utformet for å gi et overordnet bilde over hvordan miljøpåvirkningen varierer utfra spennvidder på bjelker og dekker. En mer detaljert oversikt over eksakte tall vises i tabeller etter grafene i hvert sitt delkapittel. Grafene er basert på disse tabellene. Mellom hvert punkt er det trukket streker som en kan se på grafene. Dette er for at en lettere kan se utviklingen av miljøpåvirkningen, men gir ikke et faktisk bilde på hvordan miljøpåvirkningen varierer mellom heltallene for spennviddene. Enkelte grafer, spesielt de med 8 og 16 etasjer, er ikke fullstendig utfylt for de høyeste spennviddene. Dette begrunnes med at ved flere etasjer kan lasten bli så stor i de nederste søylene at de dimensjonene som er lagt inn i beregningsdokumentene ikke har kapasitet til å ta opp og videreføre lastene.

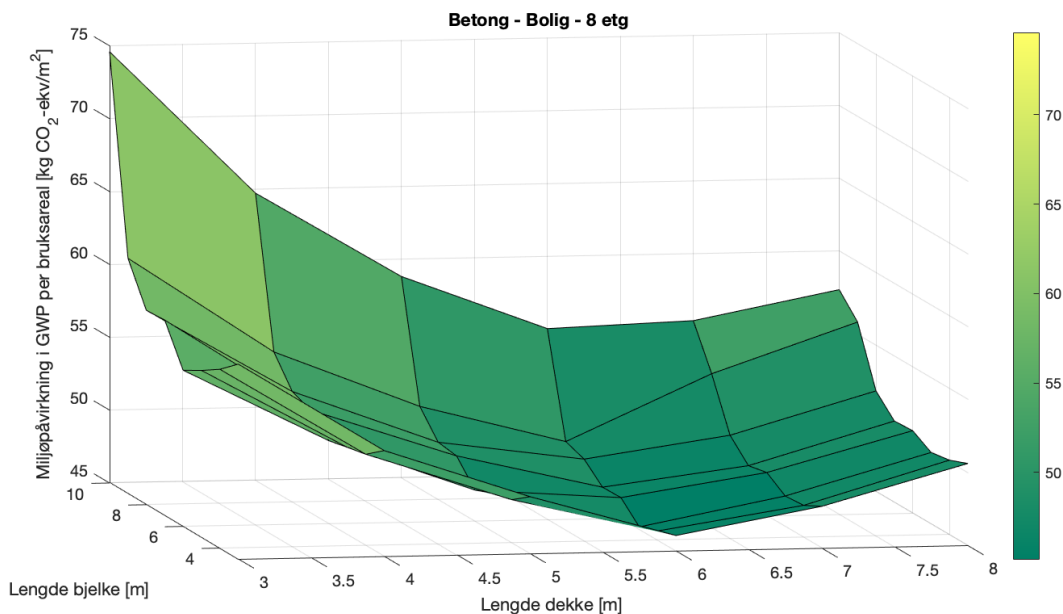
4.1. Boligbygg av prefabrikkert betong

4.1.1. Grafisk fremstilling 3-8 meter dekkespenn

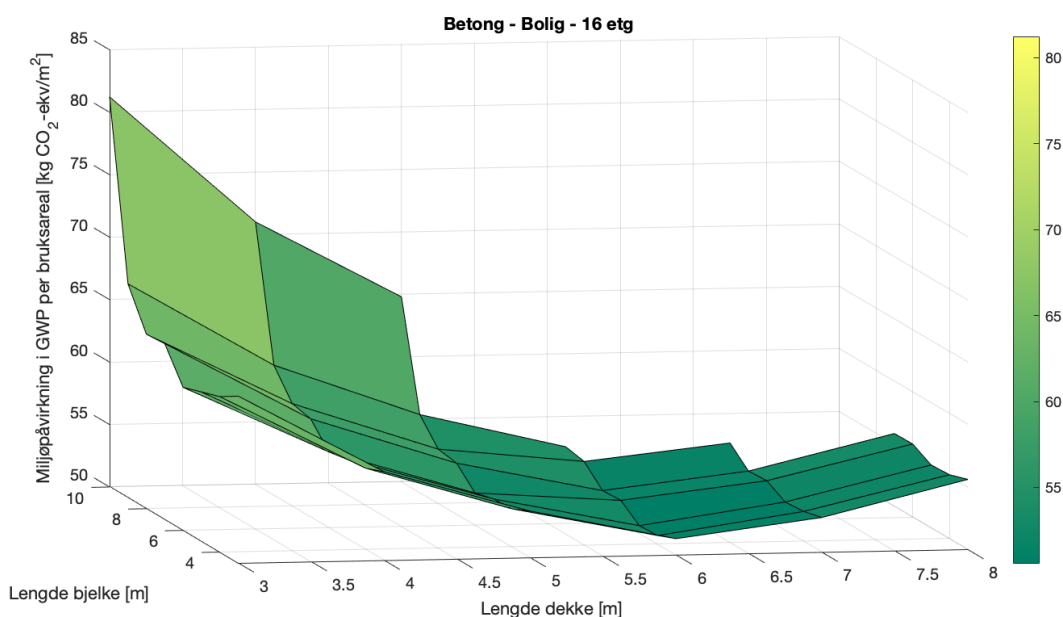
Miljøpåvirkningen fra materialene til boligbygg av prefabrikkert betong er gitt av Figur 4.1 til Figur 4.3.



Figur 4.1 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 3 til 8 meter



Figur 4.2 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 8 etasjer med dekkespenn på 3 til 8 meter



Figur 4.3 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 16 etasjer med dekkespenn på 3 til 8 meter

Bærekonstruksjonen i betong får en skålformet graf for miljøpåvirkning ved de ulike spennviddene av dekker og bjelker som en kan se av Figur 4.1, Figur 4.2 og Figur 4.3. Formen på grafen er relativt lik for 1, 8 og 16 etasjer, men ved flere etasjer kan en ikke bruke de største spennviddene da søylene lengre ned i bygget får så stor last at de ikke har kapasitet nok.

Som en kan se på grafene vil miljøpåvirkningen først bli mindre ved økt spennvidde og deretter øke. Dette gjelder både for bjelke- og dekkespenn. For økt bjelkelengde til 10 meter bli miljøpåvirkningen betydelig større sammenlignet med økningen i spennvidde fra for eksempel 7 til 8 meter for dekke. Utfra grafene kan en se at en får minst utslipp per

bruksareal ved en spennvidde på 6 meter for dekke og cirka 4 til 6 meter for bjelke ved én etasje. For bærekonstruksjonene på 8 og 16 etasjer er miljøpåvirkningen lavest ved 6 meter dekkespenn og 3 til 4 meter for bjelkespenn. Ved flere etasjer blir miljøpåvirkningen også større per kvadratmeter bruksareal som en kan se ved at verdien øker i takt med økning av antall etasjer ved de samme spennviddene. For eksempel er det høyeste utslippet ved én etasje cirka 70 kg CO₂-ekv/m², for åtte etasjer 75 kg CO₂-ekv/m² og for 16 etasjer ligger maksimum miljøpåvirkning på cirka 80 kg CO₂-ekv/m².

4.1.2. Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell

Av tabellene nedenfor kan en se at den minste verdien for miljøpåvirkning oppnås ved spennvidde på 6 meter for dekke og 5 meter for bjelke. Verdien for klimagassutslipp er da 42.0 kg CO₂-ekvivalenter/m² bruksareal for bygg med én etasje. Ved spennvidde på 6 meter for dekke og 3 til 9 meter for bjelke er klimagassutslippet relativt tilsvarende. I bærekonstruksjonene med 8 og 16 etasjer er også den laveste verdien for miljøpåvirkning ved samme spennvidder som ved en-etasjers bygg, men verdien øker med antall etasjer.

Tabell 4.1 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 3 til 8 meter

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	57.5	55.3	54.0	53.2	55.1	54.9	57.4	69.8
4	50.7	49.0	48.0	47.3	48.7	48.6	50.5	59.9
5	46.6	45.2	44.4	43.9	44.9	44.9	46.4	54.0
6	43.9	42.7	42.0	42.7	42.4	43.6	43.7	50.6
7	45.1	44.1	43.5	44.1	43.8	44.8	48.2	50.9
8	47.7	46.8	46.3	46.7	46.5	47.8	51.6	52.8

Tabell 4.2 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 8 etasjer med dekkespenn på 3 til 8 meter

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	58.4	57.3	56.4	55.7	58.4	58.3	61.2	74.6
4	52.3	51.3	51.0	50.7	52.0	52.6	54.6	64.7
5	48.9	48.0	47.7	47.1	48.7	48.9	50.6	58.8
6	46.1	45.6	45.2	46.4	46.4	47.6	48.0	55.0
7	47.9	47.2	47.1	48.0	47.7	49.0	52.5	55.4
8	50.6	50.1	49.9	50.7	50.6	51.9	55.9	57.4

Tabell 4.3 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 16 etasjer med dekkespenn på 3 til 8 meter

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	63.4	62.4	62.0	61.4	64.1	64.0	67.1	81.2
4	57.1	56.5	56.3	56.1	57.9	58.2	60.4	71.0
5	53.7	53.0	53.0	52.6	54.1	54.3	56.2	64.8
6	51.3	50.7	50.6	51.8	51.7	53.1	53.4	
7	52.8	52.4	52.3	53.1	53.0	54.4		
8	55.6	55.1	55.0	55.8	55.8			

Differansen på verdien for miljøpåvirkning ligger rundt 5 kg CO₂-ekvivalenter/m² bruksareal mellom hver etasjehøyde som er vist i de ulike tabellene. Ved de korteste spennviddene for 1 og 8 etasjer derimot er differansen mindre, men øker i takt med økt spennvidde. En kan også se at økningen i miljøpåvirkning er litt større fra 8 til 16 antall etasjer enn den er fra 1 til 8 antall etasjer.

4.1.3. Variasjon av mengde betong og armering i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder

Mengde betong er oppgitt i tonn, mens mengde armering er oppgitt i kg. Siden både betong og armering varierer med spennvidde er det laget tabeller både på tonn betong og kilogram stål per bruksareal for etasjehøydene på 1, 8 og 16 etasjer. En kan se av tabellene at vekten for betong i dekkene er den samme uavhengig av spennvidde. Dette kommer av at den minste tykkelsen for hulldekker kan holde spenn opp til og med 10 meter. Ved armering av dekkene derimot øker nødvendig armering ved økning av spennvidde, noe som er naturlig da momentet i dekkene blir større ved større spennvidder og samme størrelse for påførte laster ellers. Verdien vist for armering i dekkene er den som må legges til i tillegg til den armeringen som allerede ligger i EPD-en for hulldekkene. Armeringsmengden som allerede er lagt inn i EPD-ene for hulledekker holder for dekkespenn fra 3 til 6 meter, som en kan se i Figur 4.5, Figur 4.7 og Figur 4.9 ved at verdiene er 0. For 7 og 8 meters spenn av hulldekker må det derimot legges til henholdsvis 1.194 og 2.688 kilogram spennarmering per kvadratmeter bruksareal.

Av tabellene kan en også se at det skålformede utseende på grafene kommer fra mengden til betongen og armeringen i søylene, bjelkene og knutepunktene. For hver spennvidde av dekkene reduseres først mengden betong i bjelkene og søylene og deretter øker mengden ved både 1, 8 og 16 etasjers bygg. Ved hvilket bjelkespenn bunnpunktet for mengde materiale skjer varierer utfra dekkespennet. Jo lengre dekkespenn jo tidligere nås bunnpunktet. I tillegg minsker mengden betong for økt dekkespenn, men med likt bjelkespenn for de ulike antall etasjene.

Ved bygg på én etasje reduseres armeringsmengden med økt spennvidde for bjelker, mens ved økning av dekkespenn øker også armeringsmengden. Ved bygg på 8 og 16 etasjer øker også armeringsmengden med økt dekkespenn, men ved økt bjelkespenn synker først armeringsmengden og deretter øker den igjen. Bunnpunktet for armeringsmengden i søyler og knutepunkt ved 8 og 16 etasjer ligger ved 7 til 9 meter bjelkespenn.

Tabell 4.4 Variasjon av mengde [tonn/m²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 1 etasje

[tonn/m ²]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.265	0.177	0.165	0.157	0.152	0.164	0.163	0.179	0.256
4	0.265	0.135	0.125	0.119	0.115	0.124	0.124	0.136	0.195
5	0.265	0.110	0.102	0.097	0.094	0.100	0.100	0.110	0.158
6	0.265	0.093	0.086	0.082	0.086	0.084	0.092	0.093	0.136
7	0.265	0.081	0.075	0.071	0.075	0.073	0.080	0.101	0.118
8	0.265	0.072	0.066	0.063	0.066	0.065	0.073	0.096	0.104

Tabell 4.5 Variasjon av mengde [kg/m²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 1 etasje

[kg/m ²]	Dekker	Søyler og knutepunkt							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.000	0.306	0.255	0.224	0.203	0.189	0.178	0.169	0.163
4	0.000	0.325	0.286	0.262	0.247	0.235	0.227	0.220	0.215
5	0.000	0.385	0.353	0.333	0.320	0.311	0.304	0.299	0.295
6	0.000	0.474	0.447	0.430	0.419	0.412	0.406	0.401	0.407
7	1.194	0.589	0.565	0.551	0.541	0.534	0.529	0.534	0.530
8	2.688	0.728	0.706	0.693	0.685	0.679	0.683	0.679	0.675

Tabell 4.6 Variasjon av mengde [tonn/m²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 8 etasjer

[tonn/m ²]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.265	0.183	0.176	0.171	0.167	0.184	0.183	0.201	0.285
4	0.265	0.145	0.139	0.137	0.135	0.144	0.147	0.160	0.223
5	0.265	0.124	0.118	0.116	0.113	0.123	0.124	0.135	0.186
6	0.265	0.106	0.103	0.101	0.108	0.108	0.116	0.119	0.162
7	0.265	0.097	0.093	0.092	0.098	0.096	0.104	0.126	0.144
8	0.265	0.089	0.086	0.084	0.089	0.089	0.097	0.122	0.131

Tabell 4.7 Variasjon av mengde [kg/m²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 8 etasjer

[kg/m ²]	Dekker	Søyler og knutepunkt							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.000	0.327	0.301	0.281	0.264	0.268	0.259	0.260	0.277
4	0.000	0.363	0.340	0.333	0.326	0.315	0.320	0.317	0.328
5	0.000	0.440	0.418	0.411	0.398	0.402	0.400	0.399	0.408
6	0.000	0.526	0.516	0.505	0.508	0.507	0.501	0.504	0.514
7	1.194	0.654	0.638	0.635	0.633	0.627	0.629	0.636	0.637
8	2.688	0.796	0.784	0.779	0.777	0.775	0.780	0.781	0.782

Tabell 4.8 Variasjon av mengde [tonn/m²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 16 etasjer

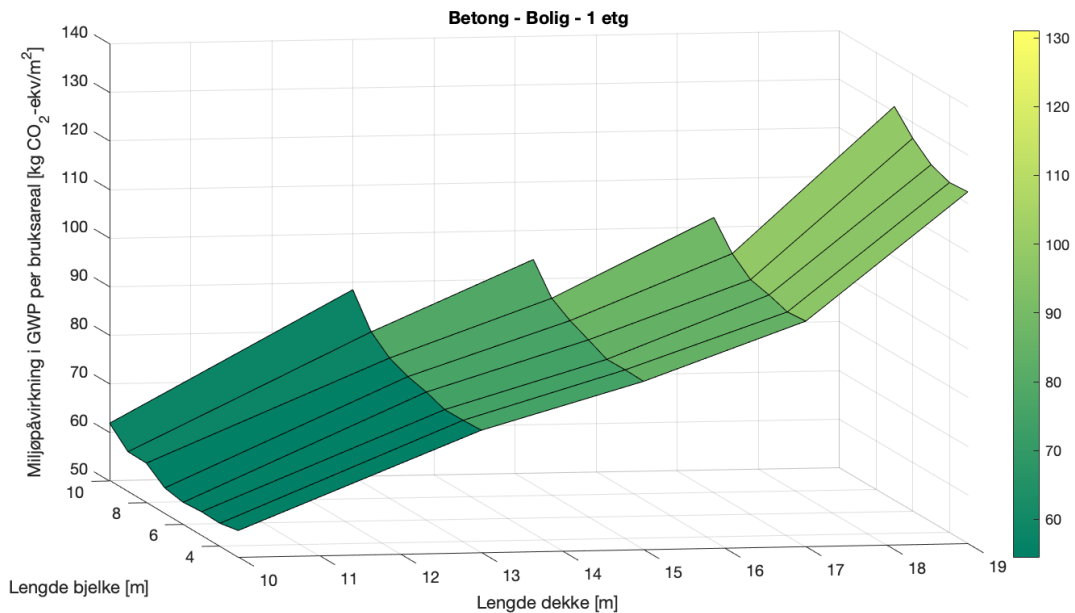
[tonn/m ²]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.265	0.212	0.207	0.204	0.201	0.217	0.217	0.236	0.324
4	0.265	0.173	0.170	0.169	0.167	0.178	0.180	0.194	0.260
5	0.265	0.152	0.148	0.148	0.145	0.155	0.156	0.168	0.222
6	0.265	0.137	0.133	0.133	0.140	0.140	0.149	0.151	
7	0.265	0.126	0.124	0.123	0.128	0.128	0.136		
8	0.265	0.118	0.115	0.115	0.120	0.120			

Tabell 4.9 Variasjon av mengde [kg/m²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 16 etasjer

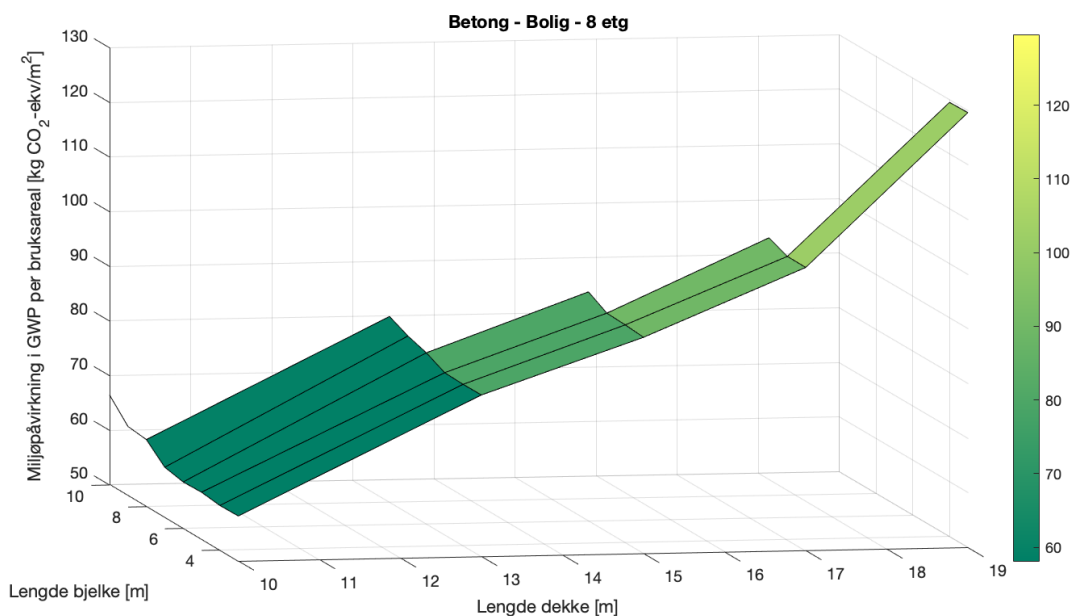
[kg/m ²]	Dekker	Søyler og knutepunkt							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.000	0.445	0.423	0.412	0.400	0.403	0.393	0.401	0.434
4	0.000	0.478	0.464	0.460	0.454	0.453	0.454	0.455	0.478
5	0.000	0.555	0.538	0.536	0.527	0.529	0.528	0.532	0.550
6	0.000	0.651	0.636	0.634	0.634	0.632	0.633	0.633	
7	1.194	0.770	0.761	0.759	0.756	0.753	0.756		
8	2.688	0.915	0.903	0.901	0.901	0.900			

4.1.4. Grafisk fremstilling 10-19 meter dekkespenn

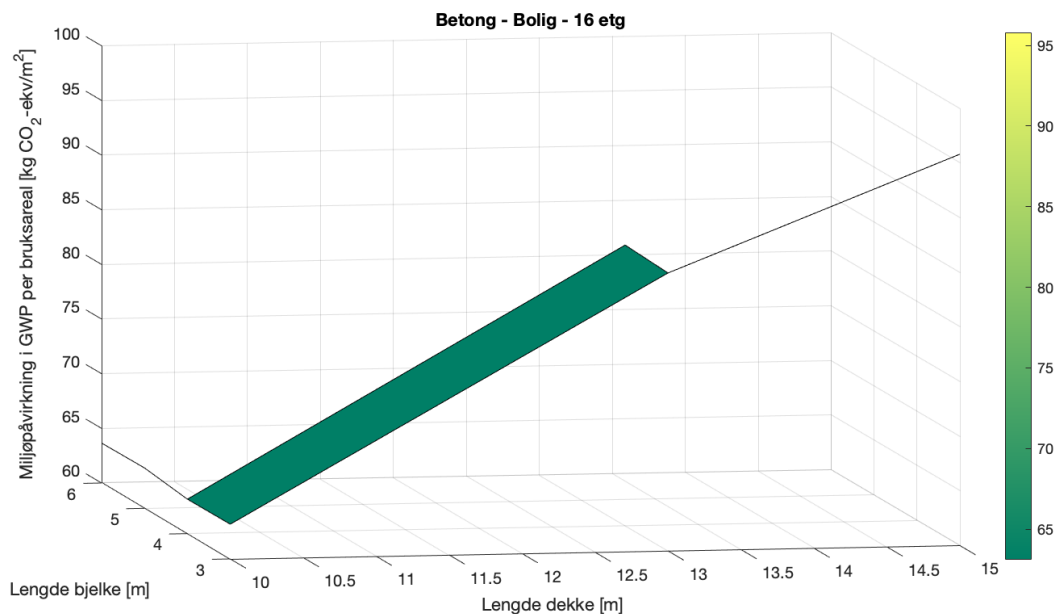
Siden betong har mulighet for større dekkespenn enn 8 meter viser Figur 4.4 til Figur 4.6 miljøpåvirkningen for materialene til boligbygg av prefabrikkert betong med dekkespenn fra 10 til 19 meter. Legg her merke til at inputverdiene for dekkespenn går fra 10 til 13 meter og deretter med 2 meters spennvariasjon, altså 13 til 15, 15 til 17 og 17 til 19 meter. Verdiene mellom disse spennviddene er ikke representativ for utviklingen av miljøpåvirkning, men er inkludert for å forbedre det visuelle uttrykket og øke lesbarheten.



Figur 4.4 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 10 til 19 meter



Figur 4.5 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 8 etasjer med dekkespenn på 10 til 19 meter



Figur 4.6 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 16 etasjer med dekkespenn på 10 til 19 meter

Ved større spennvidder for dekkene i et bæresystem av betong øker miljøpåvirkningen i samsvar med økning av spennvidde for både bjelke og dekke. En kan se at økningen av miljøpåvirkningen kan se ut som en fortsettelse av skallformen vist i Figur 4.1. I tillegg kan en se av Figur 4.4 til Figur 4.6 at antall spennvidder det er mulig å benytte synker da lastene påført søylene blir større ved flere etasjer. Derfor er det få av spennviddene som er mulig å benytte ved et 16 etasjers bygg med bærekonstruksjon av betong ved store spennvidder og mange etasjer. En kan også se av figurene at økt dekkespenn gir økt utslipp, mens økt bjelkespenn holder en relativt stabil miljøpåvirkning uavhengig av spennvidde frem til cirka 7 meters bjelkespenn.

4.1.5. Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell

Av tabellene under kan en se et tydeligere bilde over hvordan variasjonen av bjelkespennene påvirker CO₂-utslippet fra bærekonstruksjonen. Som forklart ved grafene, gir kortest dekkespenn minst utslipp per bruksareal, mens for bjelkene vil en spennvidde på 6 meter ved én etasje være mest gunstig for miljøet som en kan se av tabellene under. Ved antall etasjer på 8 og 16 meter er miljøpåvirkningen lik ved 3 og 4 meters bjelkespenn, og det er også her miljøpåvirkningen har lavest verdi.

Tabell 4.10 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 10 til 19 meter

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
10	55.4	54.7	54.8	54.5	55.3	58.1	58.3	61.9
13	75.2	75.0	75.0	76.3	77.3	78.9	82.0	88.5
15	84.6	84.8	84.7	86.5	88.2	90.6	96.3	
17	96.4	96.1	97.3	98.2	101.4	106.6		
19	122.4	122.1	123.5	126.7	131.1			

Tabell 4.11 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 8 etasjer med dekkespenn på 10 til 19 meter

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
10	58.2	58.2	58.6	58.5	59.2	62.3	62.7	66.5
13	79.6	79.5	79.7	81.3	82.4	84.0		
15	89.6	89.8	90.0	91.9				
17	101.8	101.8	103.3					
19	129.6	129.5						

Tabell 4.12 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av betong på 16 etasjer med dekkespenn på 10 til 19 meter

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
10	63.2	63.2	63.7	63.7				
13	85.4	85.7						
15	95.8							
17								
19								

4.1.6. Variasjon av mengde betong og armering i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder

Av tabellene under kan en se at mengde dekke øker med økt spennvidde. Dette kommer av valgene med å se på minste mulige tykkelse på dekke med tilhørende lengste mulige spenn. Ved lengde spenn trengs tykkere dekke for å opprettholde kapasiteten for lastene som blir påført. Mengde armering i dekkene øker på samme måte som mengde dekke. Begrunnelsen er samme som ved 3-8 meters dekkespenn, at momentet blir større ved lengre spenn. En kan også se at mengde betong i dekkene er betydelig større enn mengden betong i bjelker og søyler.

For bjelker og søyler vil mengde betong med økende spennvidde for bjelker holdes relativt stabilt frem til 7 meter bjelkespenn. Deretter øker mengden betong i større grad.

Verdiene for mengde armering i søyler og knutepunkt reduseres med økt dekkespenn. Ved noen spennvidder vil armeringsmengden likevel gå opp igjen. Siden bygget med 16 etasjer ikke kan ha større spennvidder enn 6 meter for bjelker, vil armeringsmengden kun reduseres ved økt bjelkelengde til 6 meter.

Selv om armeringen i dekkene har en annen flytegrense enn armeringen i søylene og knutepunktene, kan en se at det trengs betydelig større mengder armering i dekkene sammenlignet med armeringsmengden i søylene og knutepunktene sammenlagt.

Tabell 4.13 Variasjon av mengde [tonn/m²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 1 etasje

[tonn/m ²]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
10	0.265	0.059	0.055	0.056	0.054	0.058	0.077	0.077	0.100
13	0.377	0.047	0.046	0.046	0.055	0.061	0.071	0.091	0.131
15	0.428	0.042	0.043	0.043	0.054	0.065	0.080	0.116	
17	0.510	0.040	0.038	0.046	0.052	0.072	0.105		
19	0.693	0.042	0.040	0.049	0.069	0.096			

Tabell 4.14 Variasjon av mengde [kg/m²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 1 etasje

[kg/m ²]	Dekker	Søyler og knutepunkt							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
10	6.272	1.071	1.053	1.042	1.035	1.038	1.020	1.029	1.032
13	9.128	1.499	1.484	1.483	1.476	1.476	1.472	1.452	1.450
15	10.593	1.710	1.705	1.695	1.694	1.680	1.674	1.675	
17	11.314	1.900	1.885	1.882	1.870	1.865	1.853		
19	12.464	2.264	2.257	2.247	2.239	2.235			

Tabell 4.15 Variasjon av mengde [tonn/m²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 8 etasjer

[tonn/m ²]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
10	0.265	0.075	0.075	0.078	0.077	0.082	0.101	0.104	0.127
13	0.377	0.073	0.073	0.074	0.084	0.091	0.101		
15	0.428	0.071	0.073	0.074	0.086				
17	0.510	0.072	0.073	0.082					
19	0.693	0.084	0.084						

Tabell 4.16 Variasjon av mengde [kg/m²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 8 etasjer

[kg/m ²]	Dekker	Søyler og knutepunkt							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
10	6.272	1.137	1.136	1.132	1.129	1.132	1.132	1.135	1.140
13	9.128	1.603	1.592	1.595	1.594	1.598	1.593		
15	10.593	1.827	1.826	1.822	1.824				
17	11.314	2.028	2.022	2.023					
19	12.464	2.435	2.432						

Tabell 4.17 Variasjon av mengde [tonn/m²] betong for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 16 etasjer

[tonn/m ²]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
10	0.265	0.105	0.105	0.108	0.108				
13	0.377	0.108	0.110						
15	0.428	0.108							
17	0.510								
19	0.693								

Tabell 4.18 Variasjon av mengde [kg/m²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved boligbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 16 etasjer

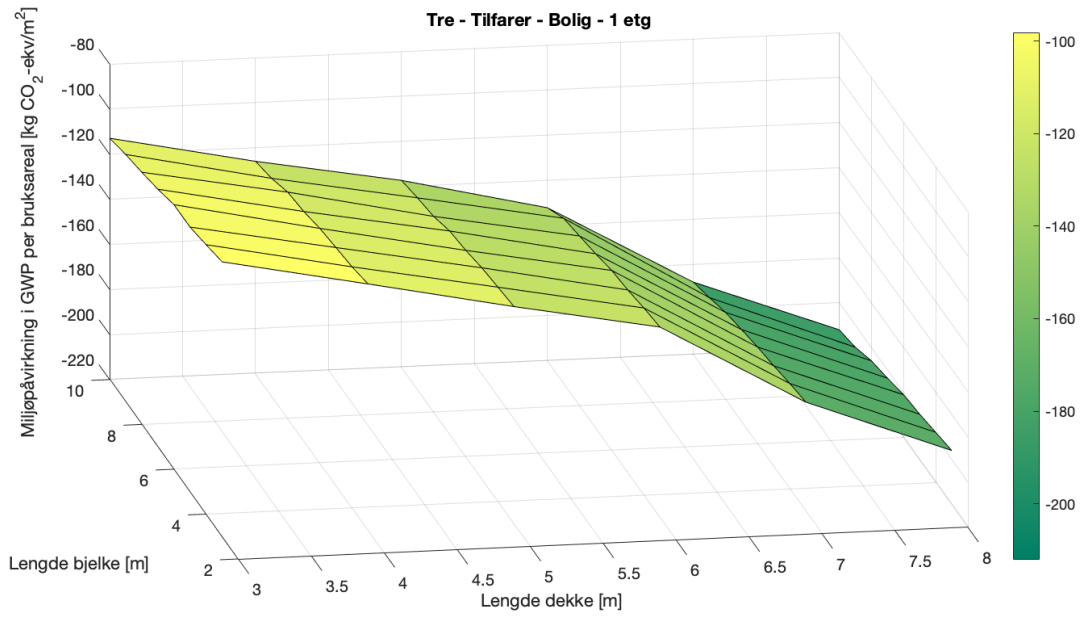
[kg/m ²]	Dekker	Søyler og knutepunkt							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke		3	4	5	6	7	8	9	10
10	6.272	1.255	1.254	1.252	1.251				
13	9.128	1.742	1.738						
15	10.593	1.975							
17	11.314								
19	12.464								

4.2. Boligbygg av tre med tilfarer som lydtiltak

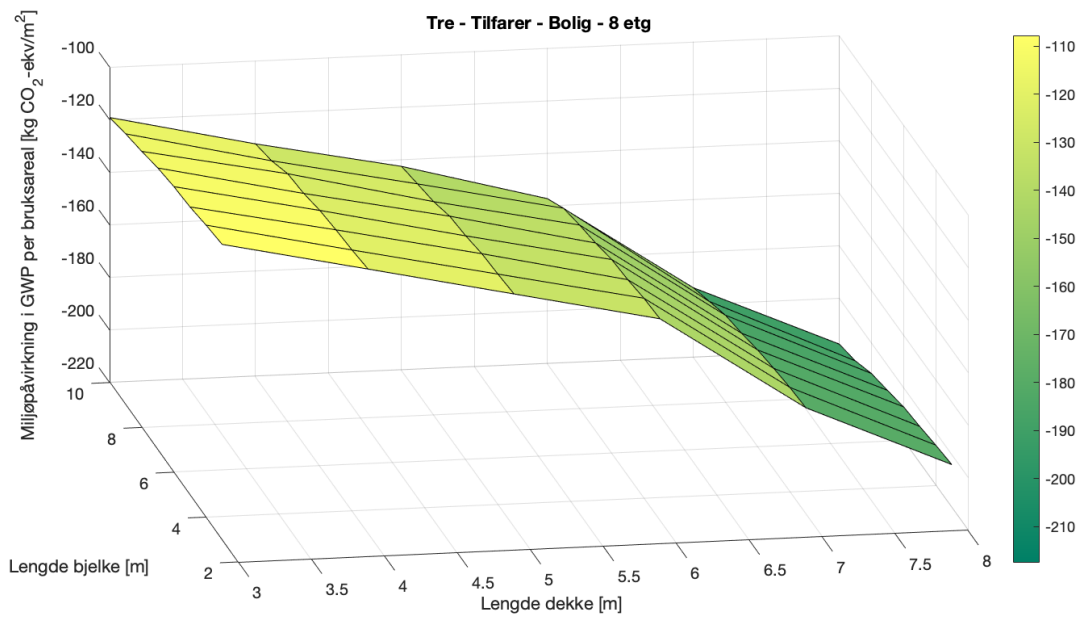
Miljøpåvirkningen for bæresystem i tre med tilfarer som lydtiltak har en negativ verdi. Den negative verdien skyldes treets evne til å ta opp CO₂ som beskrevet i kapittel 2.5 Tre. At ny voksende skog tar opp CO₂ fra lufta og omdanner dette til biomasse er dermed en forutsetning for den negative verdien.

4.2.1. Grafisk fremstilling

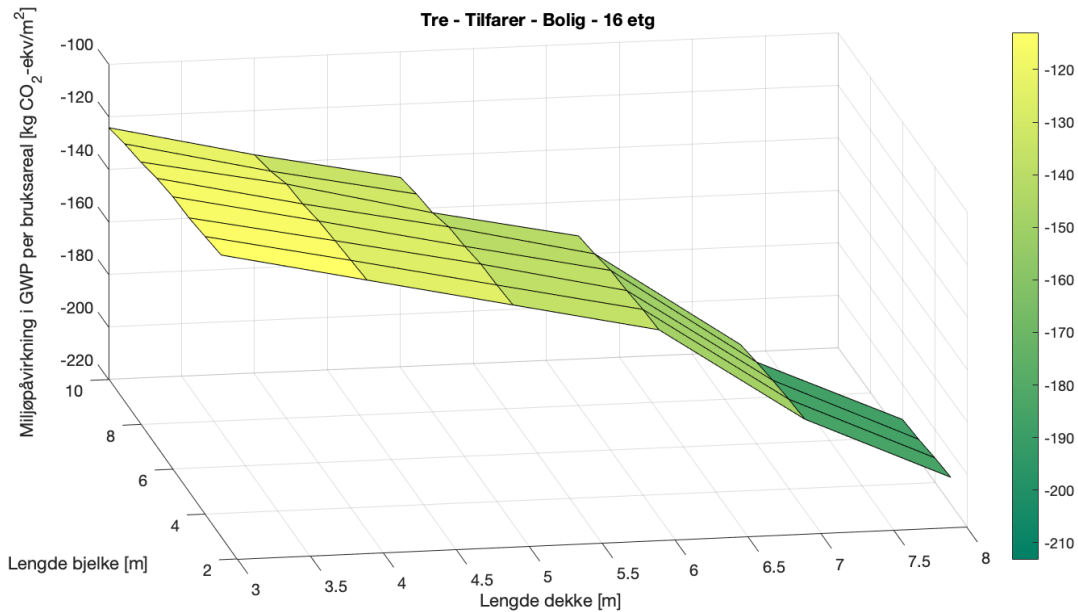
Figur 4.7 til Figur 4.9 viser variasjonen av miljøpåvirkning ved de ulike spennene for boligbygg av tre med tilfarer som lydtiltak.



Figur 4.7 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med tilfarer som lydtiltak



Figur 4.8 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 8 etasjer med tilfarer som lydtiltak



Figur 4.9 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 16 etasjer med tilfarer som lydtiltak

Av figurene over kan en se at endring i spennvidde for dekkene har betydelig større innvirkning på klimagassutslippet sammenlignet med endring av spennvidde for bjelkene som en kan se på grafen ved at kurven er betydelig brattere i retning lengde dekke sammenlignet med lengde bjelke. Ved flere antall etasjer får miljøpåvirkningen også en større negativ verdi som følger av mer tremateriale i konstruksjonen.

Ved 16 etasjer blir lasten for stor ved spennvidde over 5 meter for dekke og mellom 7 og 10 meter for bjelkene. En bedre oversikt over dette kan en se i Tabell 4.21. Av grafen kan en også se at økningen av negativt utslipp har en relativ lineær tilnærming ved økt spennvidde for dekker, men at den får en liten knekk fra 6 til 7 meters dekkespenn. En vil dermed ha en større fordel ved å øke dekkespennvidden fra 6 til 7 meter enn ved andre tilfeller.

4.2.2. Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell

Tabell 4.19 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med tilfarer som lydtiltak

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	-98.1	-100.4	-102.6	-102.6	-105.7	-108.1	-110.2	-112.9
4	-110.7	-113.1	-114.5	-115.9	-118.4	-119.7	-123.6	-126.0
5	-123.6	-124.9	-126.3	-128.5	-129.8	-133.3	-135.0	-137.2
6	-135.5	-136.9	-138.9	-140.2	-142.7	-144.8	-146.9	-152.2
7	-171.6	-173.3	-175.4	-177.0	-179.2	-181.5	-184.9	-188.0
8	-195.9	-197.7	-199.6	-200.9	-203.6	-205.8	-209.7	-211.9

Tabell 4.20 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 8 etasjer med tilfarer som lydtiltak

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	-107.7	-109.0	-110.6	-111.4	-112.8	-115.0	-116.9	-119.2
4	-119.5	-120.8	-121.7	-122.8	-124.9	-125.9	-129.5	-131.6
5	-131.4	-132.4	-133.2	-134.9	-135.9	-138.9	-140.7	-142.6
6	-143.3	-144.0	-145.4	-146.3	-148.6	-150.2	-152.4	-157.3
7	-179.5	-180.3	-181.6	-183.1	-185.3	-187.0	-190.3	-193.5
8	-203.5	-204.6	-206.0	-207.1	-209.4	-211.5	-215.2	-217.4

Tabell 4.21 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 16 etasjer med tilfarer som lydtiltak

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	-112.9	-114.4	-115.9	-116.4	-117.9	-120.2	-121.8	-124.2
4	-124.9	-125.9	-126.9	-128.0	-130.0	-131.0	-134.6	-136.9
5	-136.7	-137.7	-138.2	-140.0	-141.1	-144.3	-145.7	-147.9
6	-148.6	-149.4	-150.7	-151.6	-153.8	-155.5		
7	-185.0	-185.9	-187.3	-188.9	-190.8			
8	-209.5	-210.6	-212.1	-213.1				

Av tabellene ovenfor, som gir mer eksakte tall enn fremstillingen vist i grafene, kan en se at ved 1 og 8 etasjer vil et dekkespenn på 8 meter og bjelkespenn på 10 meter være det mest optimale for konstruksjonen med tanke på miljøpåvirkning. Ved et bygg på 16 etasjer vil et dekkespenn på 8 meter og bjelkespenn på 6 meter være mest gunstig for miljøet. Som nevnt i kapittel 4.2.1 og som en kan se av tabellene, vil en få mer ut av å øke spennvidden på dekket enn på bjelkene.

Differansen mellom verdiene i de ulike tabellene er på cirka 6-9 kg CO₂-ekvivalenter/m² bruksareal mellom 1 og 8 etasjer, og rundt 5 kg CO₂-ekvivalenter/m² bruksareal mellom 8 og 16 etasjer. Dette gjelder der hvor spennvidden for både dekke og bjelke er den samme for alle etasjene. For eksempel ligger miljøpåvirkningen ved en spennvidde på 3 meter for dekke og bjelke på -98.1 kg CO₂-ekvivalenter/m² bruksareal ved 1 etasjers bygg, -107.7 kg CO₂-ekvivalenter/m² bruksareal for 8 etasjers bygg og -112.9 kg CO₂-ekvivalenter/m² bruksareal for 16 etasjers bygg. Dette gjenspeiler seg gjennom hele tabellen for hver av byggene med ulikt antall etasjer.

4.2.3. Variasjon av mengde tre i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder

Mengde tre er oppgitt som volum og gitt ved kubikkmeter. Tabell 4.22, Tabell 4.23 og Tabell 4.24 viser hvordan volum per bruksareal for dekke, og søyler og bjelker sammenlagt varierer med spennvidder for dekke og bjelker. Som en kan se av tabellene, vil volumet per kvadratmeter bruksareal for dekkene være det samme uavhengig av antall etasjer da dekker og bjelker ikke blir påført mer last ved flere etasjer. Dette vil også si at variasjonen av verdien for bjelke- og søylevolumet per kvadratmeter bruksareal kommer av søylene.

Økningen av volum for dekkene tilsvarer tykkelsen på dekket. Ved økning av spennvidde fra 3 til 4, 4 til 5, og 5 til 6 meter øker volumet med 0.02 m³ for hver m² bruksareal. Ved

neste økning av spennviddene derimot økes volumet med $0.06 \text{ m}^3/\text{m}^2$, mens den siste økningen, fra 7 til 8 meter, økes volumet med $0.04 \text{ m}^3/\text{m}^2$. For bjelkene er økningen mellom hvert spenn betydelig mindre, men øker ved økt spennvidde for bjelken. Også her øker volumet mer ved de høyeste verdiene for spennviddene.

Tabell 4.22 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med tilfarer som lydtiltak og 1 etasje

[m^3/m^2]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.12	0.013	0.015	0.017	0.017	0.021	0.025	0.029	0.034
4	0.14	0.011	0.014	0.015	0.016	0.021	0.022	0.030	0.034
5	0.16	0.012	0.012	0.013	0.017	0.018	0.025	0.028	0.032
6	0.18	0.010	0.011	0.014	0.015	0.019	0.023	0.027	0.037
7	0.24	0.010	0.011	0.014	0.016	0.021	0.025	0.031	0.038
8	0.28	0.010	0.012	0.014	0.016	0.021	0.026	0.033	0.038

Tabell 4.23 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med tilfarer som lydtiltak og 8 etasjer

[m^3/m^2]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.12	0.022	0.023	0.026	0.027	0.030	0.034	0.038	0.042
4	0.14	0.021	0.022	0.024	0.026	0.030	0.032	0.039	0.043
5	0.16	0.020	0.021	0.022	0.026	0.028	0.034	0.037	0.041
6	0.18	0.019	0.020	0.023	0.024	0.029	0.032	0.037	0.047
7	0.24	0.020	0.021	0.024	0.027	0.031	0.034	0.041	0.048
8	0.28	0.020	0.022	0.025	0.027	0.032	0.036	0.044	0.048

Tabell 4.24 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med tilfarer som lydtiltak og 16 etasjer

[m^3/m^2]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.12	0.032	0.034	0.036	0.037	0.040	0.044	0.047	0.052
4	0.14	0.031	0.032	0.034	0.036	0.040	0.042	0.049	0.054
5	0.16	0.030	0.032	0.032	0.036	0.038	0.045	0.047	0.052
6	0.18	0.030	0.031	0.033	0.035	0.040	0.043		
7	0.24	0.031	0.033	0.035	0.038	0.042			
8	0.28	0.032	0.034	0.037	0.039				

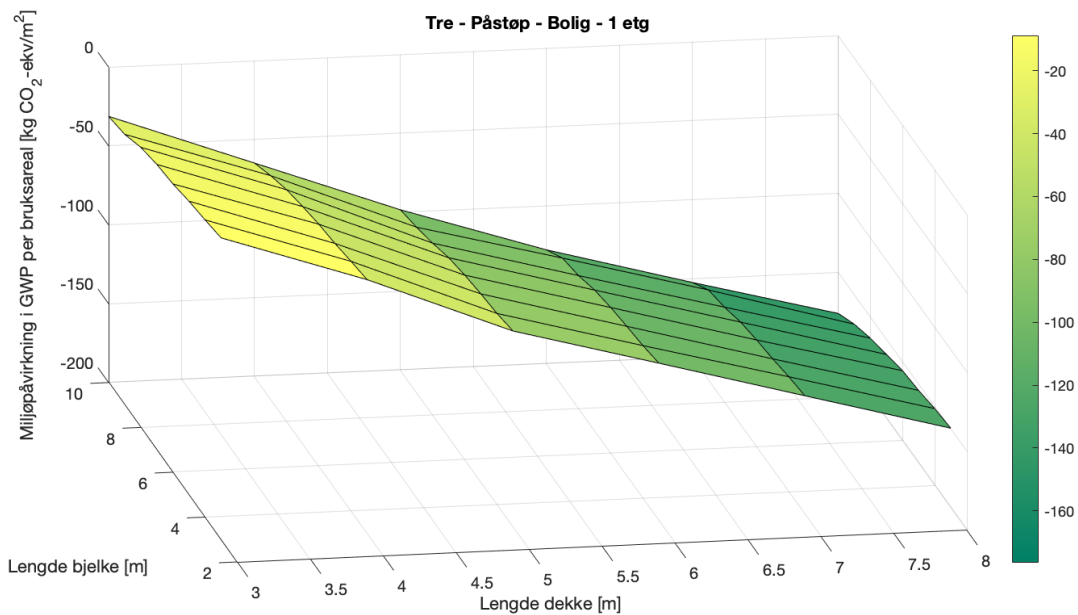
Av den siste tabellen kan en se at det ikke vises verdi for de største spennviddene både for dekker og bjelker. Dette er på grunn av for høye laster i søylene slik at gitte dimensjoner i beregningsdokumentet ikke har nok kapasitet som forklart i starten av kapittel 4.

4.3. Boligbygg av tre med påstøp som lydtiltak

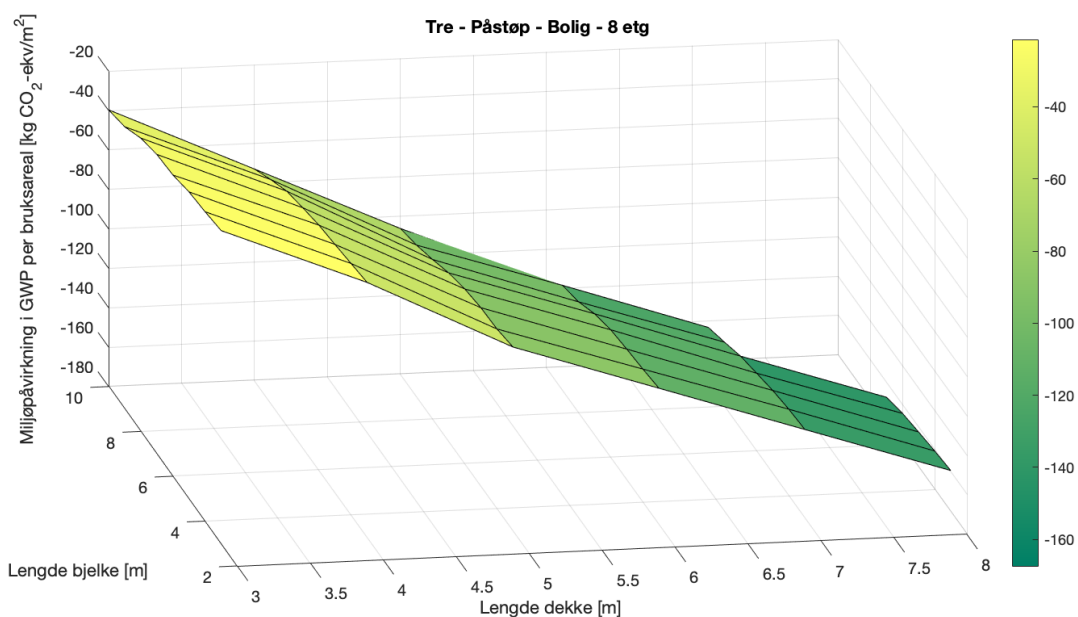
Boligbygg av tre med påstøp som lydtiltak har negativ verdi for miljøpåvirkning. Bakgrunnen og forutsetningen for den negative verdien er den samme som for trekonstruksjonen med tilfarer som lydtiltak, treets evne til å ta opp CO₂.

4.3.1. Grafisk fremstilling

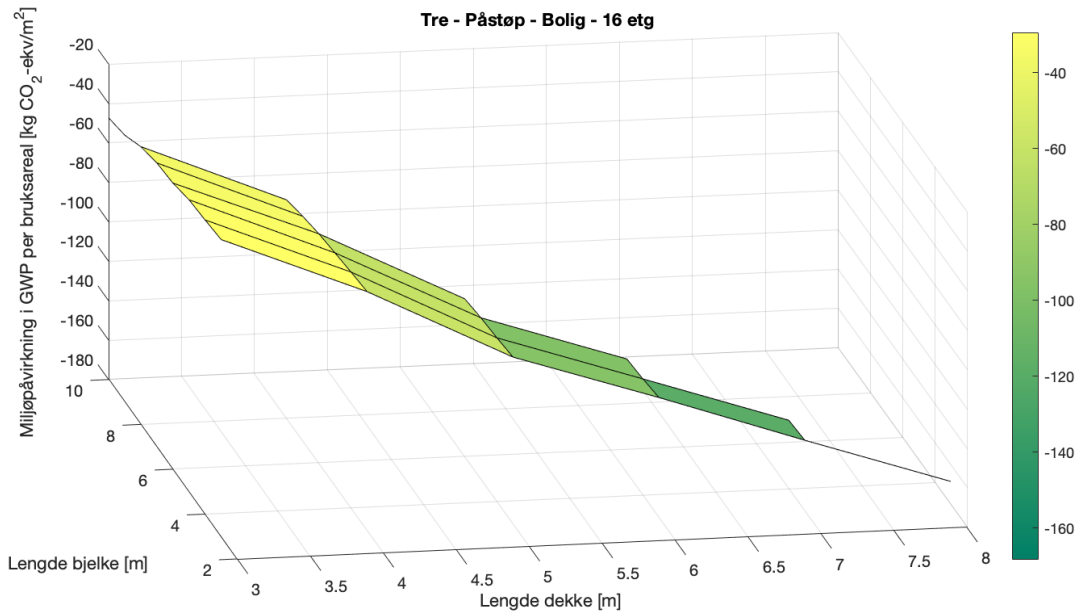
Miljøpåvirkningen fra materialene til boligbygg av tre med påstøp som lydtiltak er gitt av Figur 4.10 til Figur 4.12.



Figur 4.10 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med påstøp som lydtiltak



Figur 4.11 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 8 etasjer med påstøp som lydtiltak



Figur 4.12 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 16 etasjer med påstøp som lydtiltak

Et boligbygg med tre som bærekonstruksjonsmateriale og påstøp som lydtiltak har en relativt lineær økning av negativt klimagassutslipp ved økt spennvidde for dekke. Den øker også smått i negativ retning ved økt spennvidde for bjelker, men dette er betydelig mindre sammenlignet med dekkene. For alle ulike antall etasjer får diagrammet mellom 4 og 5 meters dekkespennvidde en brattere kurve. Det samme gjelder for økning av bjelkespenn fra 9 til 10 meter ved 1 etasjes bygg og over 5-6 meter dekkespenn. Dette kan komme av at søylene trenger større volum for å kunne holde lastene ved gitte spennvidder. En kan også se av figurene at ved økte spennvidder og etasjehøyder minsker mulighetene for de største spennviddene da lasten blir for stor for søylene i de nederste etasjene.

4.3.2. Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell

Tabell 4.25 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med påstøp som lydtiltak

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	-8.8	-11.6	-14.0	-17.2	-19.1	-22.4	-28.4	-31.2
4	-39.3	-41.9	-44.8	-46.8	-49.8	-53.4	-58.6	-64.9
5	-75.8	-78.9	-80.7	-83.1	-86.2	-91.2	-95.3	-98.5
6	-100.2	-103.3	-105.3	-107.6	-110.8	-115.8	-118.9	-127.9
7	-124.9	-127.1	-129.9	-132.2	-135.1	-139.8	-143.1	-152.6
8	-149.5	-151.2	-153.9	-155.7	-159.6	-163.5	-168.8	-176.2

Tabell 4.26 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 8 etasjer med påstøp som lydtiltak

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	-21.3	-23.1	-24.4	-27.2	-28.1	-31.2	-36.9	-39.7
4	-50.8	-52.6	-54.2	-55.8	-58.4	-61.4	-66.8	-72.9
5	-86.8	-89.0	-89.6	-91.4	-94.7	-99.2	-103.3	-106.3
6	-110.9	-112.5	-113.8	-115.3	-118.6	-123.9	-126.9	-136.1
7	-135.0	-136.1	-137.9	-140.6	-143.3	-147.5	-151.5	
8	-159.0	-160.5	-162.2	-164.2	-167.3			

Tabell 4.27 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 16 etasjer med påstøp som lydtiltak

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	-29.4	-30.8	-31.9	-34.9	-36.0	-39.1	-44.7	-47.2
4	-59.0	-60.4	-62.1	-63.8	-66.3	-69.4		
5	-95.4	-97.0	-98.2	-100.0				
6	-119.1	-121.0	-122.3					
7	-144.0	-145.2						
8	-168.1							

Ved en mer detaljert oversikt over eksakte tall for grafene kan en se av Tabell 4.25, Tabell 4.26 og Tabell 4.27 at utslippet får en høyere negativ verdi for hver økning av antall etasjer men med samme spennvidder. For eksempel ved 3 meters spenn for både dekker og bjelker er verdien -8.8 kg CO₂-ekvivalenter/m² for 1 etasje, -21.3 kg CO₂-ekvivalenter/m² for 8 etasjer og -29.4 kg CO₂-ekvivalenter/m² ved 16 etasjer. Her er differansen mellom etasjene +/- 10 kg CO₂-ekvivalenter/m² bruksareal og dette er noe som gjentar seg gjennom hele tabellen i alle tabellene. En kan også se at økningen er større fra 1 til 8 etasjer sammenlignet med 8 til 16 etasjer.

For en bærekonstruksjon av tre med påstøp som lydtiltak og én etasje, vil den mest gunstige spennvidden, med tanke på miljøpåvirkning for dekke, være 8 meter og bjelke 10 meter. For et bygg på 8 etasjer vil et dekkespenn på 8 meter og bjelkespenn på 7 meter være mest gunstig, mens for bygg på 16 etasjer gjelder dette ved dekkespenn på 8 meter og bjelkespenn på 3 meter. For bygg på 16 etasjer er det ikke mulig med større bjelkespenn enn 3 meter ved dekkespenn på 8 meter grunnet for høy last på søylene. Dette gjelder også andre spennvidder som en kan se av de blanke rutene i Tabell 4.26 og Tabell 4.27.

4.3.3. Variasjon av mengde tre i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder

Av tabellene nedenfor kan en se at volumet for dekket i en bærekonstruksjon av tre med påstøp som lydtiltak vil ha en relativt lineær økning av volum per bruksareal ved økning av spennvidde. For bjelkelengde på 3 og 4 meter reduseres volumet for bjelker og søyler sammenlagt, mens for 5 og 6 meters spennvidde for bjelkene er volumet omtrent likt uavhengig av lengde på dekkene. Ved spennvidde for bjelke på 7 meter og oppover øker volumet i samsvar med lengde på dekkene. På samme måte som bærekonstruksjon av tre

med tilfarer som lydtiltak vil også her økningen og reduksjonen av volum for bjelker og søyler per økning av antall etasjer være basert på søylene.

Tabell 4.28 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med påstøp som lydtiltak og 1 etasje

[m^3/m^2]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.09	0.017	0.020	0.021	0.027	0.028	0.035	0.046	0.051
4	0.14	0.015	0.017	0.020	0.024	0.028	0.035	0.045	0.057
5	0.20	0.014	0.017	0.020	0.023	0.029	0.038	0.046	0.053
6	0.24	0.014	0.017	0.020	0.024	0.029	0.040	0.045	0.064
7	0.28	0.014	0.016	0.021	0.025	0.030	0.039	0.046	0.065
8	0.32	0.014	0.016	0.021	0.024	0.031	0.039	0.050	0.065

Tabell 4.29 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med påstøp som lydtiltak og 8 etasjer

[m^3/m^2]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.09	0.031	0.033	0.035	0.040	0.042	0.048	0.060	0.065
4	0.14	0.029	0.031	0.034	0.038	0.043	0.049	0.060	0.072
5	0.20	0.029	0.033	0.034	0.037	0.044	0.053	0.061	0.067
6	0.24	0.029	0.032	0.034	0.037	0.044	0.055	0.061	0.080
7	0.28	0.029	0.031	0.035	0.040	0.046	0.054	0.063	
8	0.32	0.030	0.032	0.036	0.040	0.046			

Tabell 4.30 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved boligbygg i tre med påstøp som lydtiltak og 16 etasjer

[m^3/m^2]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.09	0.046	0.048	0.050	0.056	0.058	0.064	0.075	0.081
4	0.14	0.045	0.047	0.050	0.054	0.059	0.065		
5	0.2	0.046	0.049	0.051	0.055				
6	0.24	0.045	0.049	0.052					
7	0.28	0.048	0.050						
8	0.32	0.048							

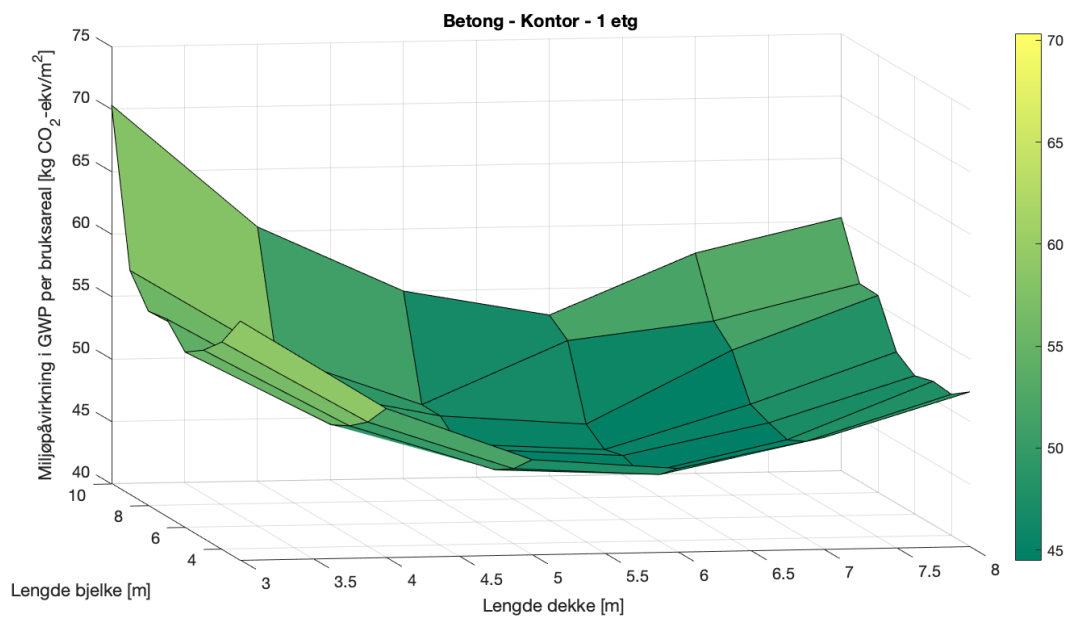
Av Tabell 4.29 og Tabell 4.30 kan en se hvilke spennvidder som ikke er mulig å oppnå grunnet for høy last i søylene.

4.4. Kontorbygg av prefabrikkert betong

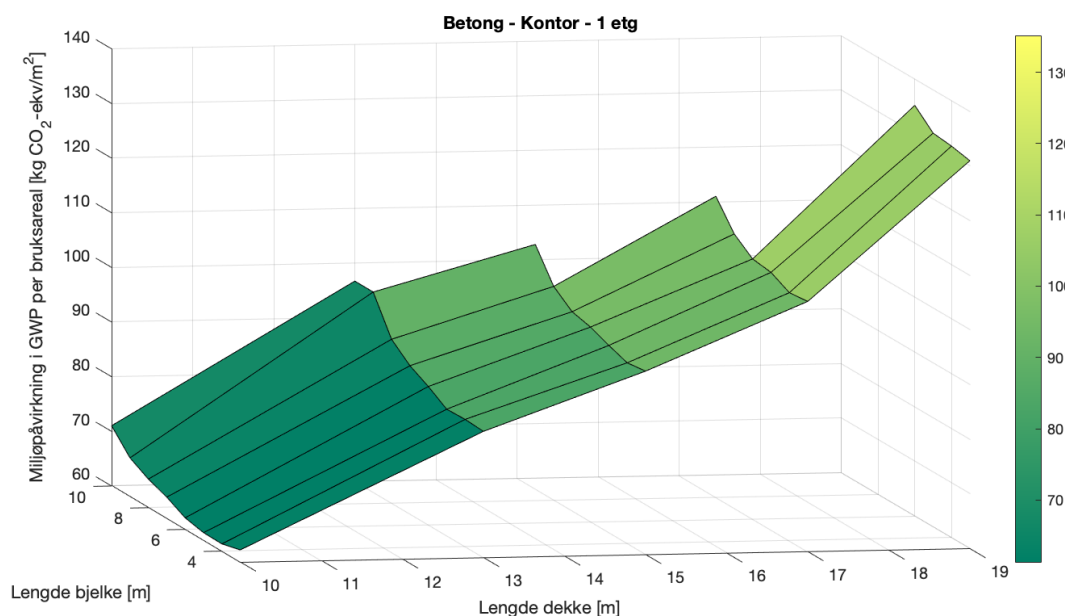
For å kunne sammenligne bolig- og kontorbygg er også miljøpåvirkningen for én etasje med kontorbygg beregnet. Her vises bærekonstruksjon i betong for kontorbygg.

4.4.1. Grafisk fremstilling 3 til 8 og 10 til 19 meter dekkespenn

Miljøpåvirkningen fra materialene til kontorbygg av prefabrikkert betong for dekkespenn fra 3 til 8 meter er gitt i Figur 4.13, mens dekkespenn fra 10 til 19 meter er gitt i Figur 4.14.



Figur 4.13 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i kontorbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 3 til 8 meter



Figur 4.14 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i kontorbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 10 til 19 meter

Av Figur 4.13 og Figur 4.14 kan en se et miljøpåvirkningen ved de ulike dekkespennene fra 3 til 8 meter vil ha en form som en skål. Ved dekkespenn på 6 meter er miljøpåvirkningen minst per kvadratmeter bruksareal. Bjelkelengden er her cirka 5 til 7 meter. Fra 6 meters dekkespenn øker miljøpåvirkningen, og denne økningen kan man se at fortsetter fra 10 til 19 meters spennvidder for dekkene. Endringen av bjelkespenn har betydelig mindre påvirkning på miljøet enn variasjon av dekkespenn har, bortsett fra ved 10 meter bjelkespenn. Der er miljøpåvirkningen betydelig større enn ved andre bjelkespenn. Ved økt dekkespenn fra 15 meter vil de største dimensjonene for bjelkespenn ikke være mulig å benytte da lasten i søylene blir for stor.

4.4.2. Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell

Av Tabell 4.31 og Tabell 4.32 kan en se en detaljert verdifremstilling av resultatene vist i grafene over. En kan her se at den minste verdien for miljøpåvirkning per kvadratmeter bruksareal er ved dekkespenn på 6 meter og bjelkespenn på 5 og 7 meter. Ved bjelkespenn fra 3 til 8 meter er ikke miljøpåvirkningen særlig mye større. Det samme gjelder for dekkespenn +/- 1 meter.

Tabell 4.31 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i kontorbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 3 til 8 meter

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	59.1	56.6	55.1	54.0	55.8	55.6	58.0	70.3
4	51.9	50.0	48.8	48.0	49.3	49.2	51.0	60.4
5	47.6	46.0	45.0	45.8	45.4	46.8	46.8	55.0
6	46.7	45.3	44.5	45.1	44.7	45.9	51.7	52.9
7	48.9	47.8	47.0	47.5	48.1	51.6	53.1	57.6
8	52.4	51.3	51.5	51.1	52.1	55.8	55.8	60.3

Tabell 4.32 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i kontorbygg av betong på 1 etasje med dekkespenn på 10 til 19 meter

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
10	62.2	61.3	61.4	62.1	63.9	65.2	67.1	71.0
13	83.1	83.3	83.2	85.3	87.2	90.0	96.7	96.7
15	93.6	93.1	94.3	95.7	96.5	99.1	104.8	
17	105.8	105.4	107.1	107.6	110.2	115.1		
19	131.0	131.7	132.0	135.2				

4.4.3. Variasjon av mengde betong og armering i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder

For dekkelengde mellom 3 og 8 meter vil mengde betong i hulldekkene være den samme. Armeringsmengden derimot øker i takt med spennvidden. For dekkespenn opp til 8 meter vil mengde bjelker og søyler først reduseres og deretter øke ved økt bjelkelengde. Dette gjelder også for dekkespenn på 10, 15 og 17 meter. For dekkespenn på 13 og 19 meter øker mengden i bjelkene og søylene i samsvar med økning av bjelkespenn.

Tabell 4.33 Variasjon av mengde [tonn/m²] betong for dekker, bjelker og søyler ved kontorbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 1 etasje

[tonn/m ²]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.265	0.187	0.172	0.163	0.157	0.168	0.167	0.182	0.260
4	0.265	0.142	0.131	0.124	0.119	0.128	0.127	0.138	0.197
5	0.265	0.116	0.106	0.101	0.106	0.103	0.112	0.112	0.164
6	0.265	0.098	0.090	0.085	0.089	0.087	0.094	0.131	0.138
7	0.265	0.085	0.078	0.074	0.077	0.081	0.103	0.112	0.141
8	0.265	0.076	0.069	0.071	0.068	0.075	0.098	0.098	0.126

Tabell 4.34 Variasjon av mengde [kg/m²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved kontorbygg i betong med spennvidde 3 til 8 meter og 1 etasje

[kg/m ²]	Dekker	Søyler og knutepunkt							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.000	0.365	0.305	0.268	0.244	0.227	0.214	0.204	0.196
4	0.000	0.391	0.345	0.317	0.299	0.285	0.275	0.268	0.262
5	0.000	0.466	0.428	0.405	0.390	0.379	0.371	0.365	0.374
6	0.719	0.577	0.544	0.525	0.512	0.503	0.496	0.504	0.498
7	2.309	0.719	0.690	0.673	0.662	0.654	0.661	0.654	0.649
8	4.144	0.890	0.864	0.849	0.839	0.844	0.837	0.831	0.835

Tabell 4.35 Variasjon av mengde [tonn/m²] betong for dekker, bjelker og søyler ved kontorbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 1 etasje

[tonn/m ²]	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
10	0.265	0.062	0.057	0.058	0.062	0.074	0.082	0.094	0.118
13	0.377	0.050	0.051	0.051	0.064	0.076	0.094	0.136	0.136
15	0.428	0.048	0.045	0.053	0.061	0.067	0.083	0.119	
17	0.510	0.049	0.047	0.058	0.061	0.077	0.108		
19	0.693	0.046	0.051	0.053	0.073	0.000			

Tabell 4.36 Variasjon av mengde [kg/m²] armering for dekker, søyler og knutepunkt ved kontorbygg i betong med spennvidde 10 til 19 meter og 1 etasje

[kg/m ²]	Dekker	Søyler og knutepunkt							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
10	8.547	1.312	1.291	1.278	1.281	1.273	1.275	1.270	1.235
13	11.862	1.783	1.778	1.765	1.764	1.735	1.734	1.737	1.707
15	13.518	2.025	2.007	2.003	1.985	1.976	1.978	1.954	
17	14.236	2.202	2.193	2.179	2.170	2.155	2.152		
19	15.321	2.568	2.554	2.548	2.535				

I tabellene for armeringsmengde kan en se at mengde spennarmering øker med økt dekkespenn. Dette samsvarer med økt moment ved økt spennvidde. Dette gjelder også

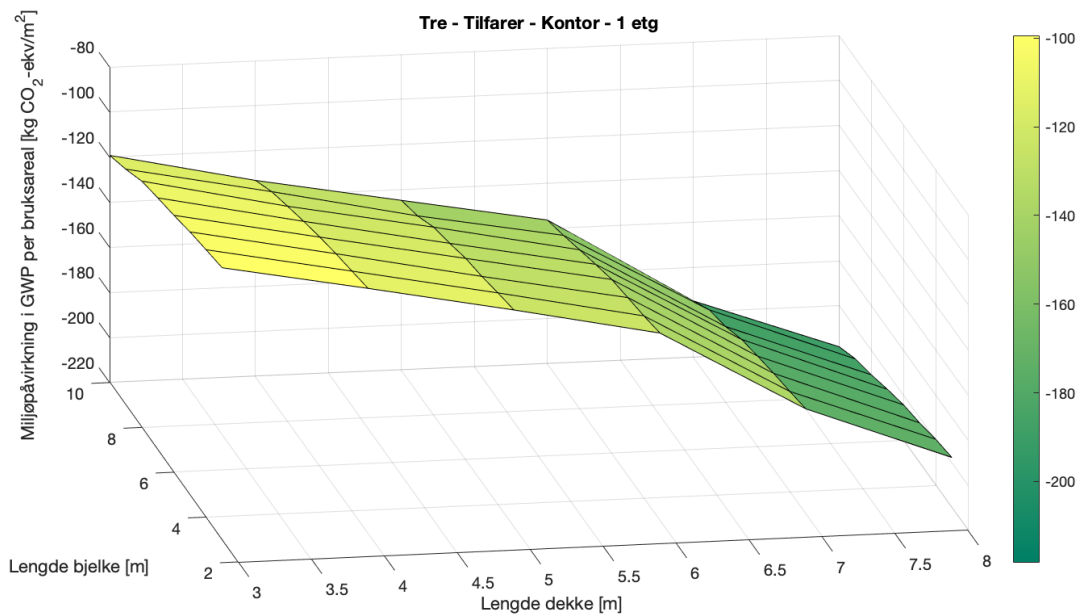
for slakkarmering. Ved økning i bjelkespenn derimot, reduseres armeringsmengden. Av de to siste tabellene kan en se de tomme rutene som representerer de spennviddene som gir for høy last for søylene.

I tillegg kan en se at det ikke er behov for mer armering utover hva som allerede ligger i EPD-en for hulldekker ved dekkespenn fra 3 til 5 meter.

4.5. Kontorbygg av tre med tilfarer som lydtiltak

4.5.1. Grafisk fremstilling

Figur 4.15 viser utviklingen av miljøpåvirkning for mengdene i et kontorbygg med bærekonstruksjon av tre og med tilfarer som lydtiltak.



Figur 4.15 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med tilfarer som lydtiltak

Av figuren kan en se at endringen i miljøpåvirkning er betydelig større ved økt dekkespenn sammenlignet med økt bjelkespenn. Fra 6 til 7 meter dekkespenn blir endringen i miljøpåvirkningen per kvadratmeter bruksareal en del større enn ved andre variasjoner for dekkespenn. Dette kan skyldes at betongdekkene trengte en større økning i tykkelse ved denne økningen av dekkespenn enn ved andre økninger av spennvidder.

4.5.2. Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell

Tabell 4.37 viser at de mest gunstige spennviddene for miljøpåvirkning er ved dekkespenn på 8 meter og bjelkespenn på 10 meter. Det er her miljøpåvirkningen har størst negativ verdi for utslipp.

Tabell 4.37 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med tilfarer som lydtiltak

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	-99.4	-101.4	-103.4	-106.0	-108.2	-110.7	-115.3	-119.2
4	-111.4	-113.7	-115.9	-118.5	-121.4	-124.7	-128.1	-133.1
5	-123.8	-126.1	-128.8	-130.7	-134.0	-136.8	-141.7	-144.8
6	-136.8	-139.1	-141.0	-142.9	-146.1	-149.6	-153.1	-156.3
7	-173.3	-175.5	-177.4	-179.7	-182.2	-186.5	-189.1	-195.0
8	-197.6	-199.5	-202.2	-204.1	-207.2	-210.7	-213.6	-218.1

4.5.3. Variasjon av mengde tre i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder

Av Tabell 4.38 kan en se at volum dekke øker ved økt spennvidde og at økningen i tykkelse er betydelig større fra 6 til 7 meters dekkespenn. For bjelkespenn fra 3 til 4 meter vil mengde bjelker og søyler bli mindre per kvadratmeter bruksareal for økning av dekkespenn. Ved bjelkespenn fra 5 meter og oppover vil volum bjelker og søyler både øke og minke litt med økt dekkespenn, men holdes relativt stabil. Ved bjelkespenn på 10 meter er variasjonen av volum bjelker og søyler noe større enn ved de andre størrelsene for bjelkespenn.

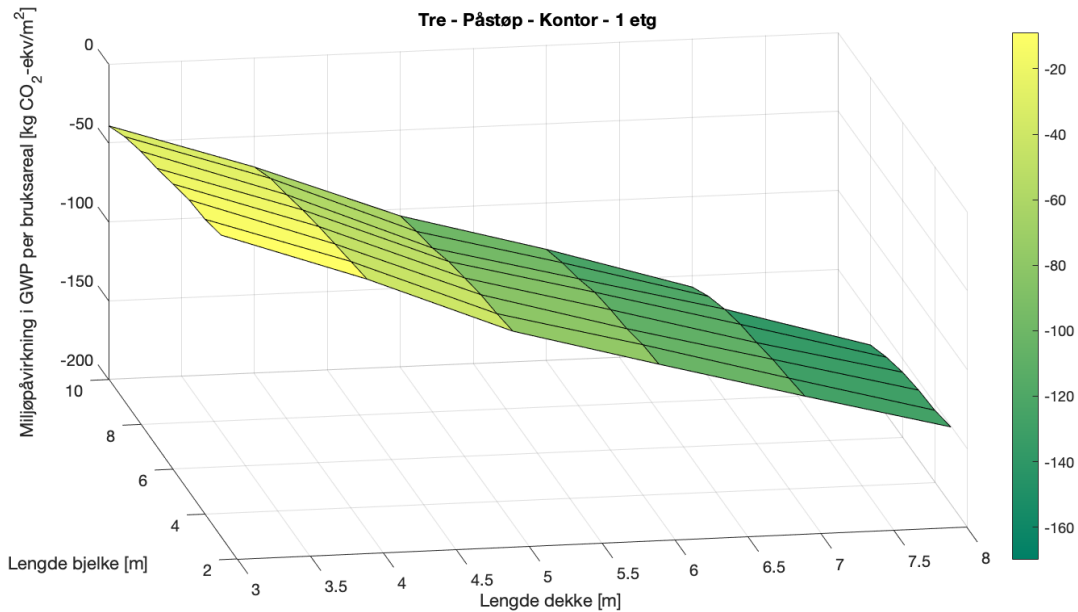
Tabell 4.38 Variasjon av mengde [m³/m²] tre for dekker, bjelker og søyler ved kontorbygg i tre med tilfarer som lydtiltak og 1 etasje

[m ³ /m ²]	Dekker	Bjelker og søyler							
Lengde dekke [m]		Lengde bjelke [m]							
		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.12	0.020	0.020	0.021	0.024	0.027	0.030	0.039	0.046
4	0.14	0.016	0.016	0.019	0.022	0.027	0.032	0.039	0.049
5	0.16	0.014	0.016	0.018	0.021	0.026	0.032	0.041	0.047
6	0.18	0.014	0.016	0.017	0.020	0.026	0.033	0.040	0.046
7	0.24	0.013	0.015	0.018	0.021	0.026	0.035	0.040	0.052
8	0.28	0.014	0.015	0.019	0.023	0.028	0.035	0.041	0.050

4.6. Kontorbygg av tre med påstøp som lydtiltak

4.6.1. Grafisk fremstilling

Figur 4.16 viser utviklingen av miljøpåvirkning for mengdene i et kontorbygg med bærekonstruksjon av tre og med påstøp som lydtiltak.



Figur 4.16 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med påstøp som lydtiltak

Grafen har en relativt lineær utvikling for miljøpåvirkning, men med et lite knekk ved 5 meter dekkespenn. Variasjonen av dekkespenn har større betydning for miljøpåvirkning enn variasjon av bjelkespenn har. Den mest optimale spennvidden med tanke på miljøpåvirkning er for dette tilfellet 8 meters dekkespenn. Hvilken lengde en velger for bjelker har ikke mye å si for miljøpåvirkningen.

4.6.2. Fremstilling av miljøpåvirkning ved tabell

I Tabell 4.39 kan en se at bjelkespenn på 8 meter gir en større negativ verdi for miljøpåvirkning enn 3 meters bjelkespenn gir ved dekkespenn på 8 meter. I tillegg kan en se at det ikke vil være mulig å benytte bjelkespenn på 9 og 10 meter ved dekkespenn på 8 meter. I tabellen vises det også bedre hvordan variasjonen av spennvidde påvirker klimagassutslippet.

Tabell 4.39 Miljøpåvirkning for bærekonstruksjon i boligbygg av tre på 1 etasje med påstøp som lydtiltak

[kg CO ₂ -ekv/m ²]	Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]	3	4	5	6	7	8	9	10
3	-8.9	-13.1	-15.0	-19.2	-23.4	-26.8	-31.8	-39.1
4	-40.9	-43.9	-47.0	-50.1	-53.8	-58.4	-62.3	-69.3
5	-77.9	-81.0	-83.1	-86.8	-90.6	-96.2	-99.9	-104.3
6	-102.8	-104.6	-108.7	-110.9	-114.0	-119.7	-123.8	-129.5
7	-127.0	-129.8	-132.1	-135.8	-138.4	-142.9	-149.0	-157.4
8	-150.6	-154.2	-155.7	-158.5	-163.3	-169.7		

4.6.3. Variasjon av mengde tre i dekker, bjelker og søyler ved ulike spennvidder

Tabell 4.40 Variasjon av mengde [m^3/m^2] tre for dekker, bjelker og søyler ved kontorbygg i tre med påstøp som lydtiltak og 1 etasje

$[m^3/m^2]$	Dekker	Bjelker og søyler							
		Lengde bjelke [m]							
Lengde dekke [m]		3	4	5	6	7	8	9	10
3	0.09	0.021	0.024	0.025	0.030	0.038	0.043	0.053	0.068
4	0.14	0.020	0.021	0.026	0.030	0.037	0.045	0.052	0.067
5	0.20	0.018	0.021	0.024	0.030	0.037	0.048	0.056	0.065
6	0.24	0.019	0.020	0.026	0.030	0.036	0.047	0.056	0.067
7	0.28	0.018	0.022	0.025	0.032	0.037	0.046	0.058	0.075
8	0.32	0.017	0.022	0.024	0.029	0.038	0.052		

Av Tabell 4.40 kan en se at volum materiale i dekkene er betydelig større enn volum materiale i bjelker og søyler sammenlagt. Ved bjelkespenn på 3 meter, vil volum bjelker og søyler reduseres i takt med økt dekkespenn. Fra 4 til 7 meters bjelkespenn holdes volumet bjelker og søyler relativt stabilt ved økt dekketykkelse, mens ved bjelkespenn fra 8 til 10 meter øker volumet i samsvar med økt dekkelengde. Tabellen viser også at en får minst volum tre i bærekonstruksjonen dersom man velger både bjelke og dekkespenn på 3 meter. Størst volum får man ved dekke- og bjelkespenn på 8 meter. Det er da lagt sammen volum for både dekkene og bjelker og søyler.

5. Drøfting av miljøpåvirkningen

Fase 4 av livsløpsvurderingen er tolkningsfasen. Det er her det diskuteres hva som har kommet ut av livssyklusanalysen og hva man har oppnådd av mål satt for analysen. I dette tilfellet var det å undersøke klimapåvirkningene til bærekonstruksjon i tre og betong ved ulike spennvidder som var målet, og nå må resultatene studeres i forhold til hverandre.

For å kunne drøfte resultatene oversiktlig, er dette kapitlet delt opp i ulike underkapitler for hovedfaktorer å diskutere. Ved sammenligning av en bærekonstruksjon i tre og betong kommer trekonstruksjonen betydelig best ut med tanke på klimagassutslipp da trekonstruksjonen uavhengig av spennvidde alltid vil ha opptak av CO₂. For en bærekonstruksjon av betong derimot, vil det totale utslippet være positivt uavhengig av spennvidde. Det er flere faktorer som fører til disse resultatene, og i tillegg kan andre faktorer påvirke hvilket materiale som vil være mest gunstig for miljøet å bruke i bærekonstruksjonen. For å undersøke denne miljøpåvirkningen oppgir da underkapitlene ulike faktorer som påvirker det totale utslippet og som kan være av betydning for valg av materiale til bærekonstruksjonen.

5.1. Mengde materiale

Fordi antall dekker, bjelker og søyler er regnet som forklart i kapittel 3.5 Prosjektering av bærekonstruksjonene: 3.5.1 Generelt, vil antall bjelker reduser med økt lengde på dekke. Dette fordi større dekkelengde fører til at en trenger færre rekker med bjelker. Det samme gjelder for søyler. Ved færre bjelker vil en også få færre sammenkoblinger av bjelker og dermed færre søyler. Dette kan både resultere i større og mindre mengde materiale for bjelker og søyler. Dersom lengden på dekket er lengre vil lasten bli større og dermed må bjelkene ha større volum, men forholdet mellom økt mengde bjelker og reduksjon av antall bjelker er ikke nødvendigvis tilsvarende og en kan derfor både få økning og reduksjon av total mengde bjelker. Det samme gjelder for søyler.

5.1.1. Betong

Som en kan se i kapittel 4.1, vil betongkonstruksjonen ha en kurvet form for miljøpåvirkning ved dekkespenn mellom tre og åtte meter. Dette er tilsvarende for mengde betong og armering. Som forklart lengere ned, i kapittel 5.4.1, vil miljøpåvirkningen fra lydtiltak være konstant og ikke endre seg med ulike spennvidder. Derfor er det mengde betong og armering som påvirker formen på denne kurven. Grunnen til at grafen får denne formen kan forklares med total mengde elementer i forhold til antall av hver elementtype. For eksempel kan dimensjonen på én søyle brukes ved flere etasjer i bygget. Dersom én søyle har en kapasitet på 2000 kN, mens en dimensjon større gir en kapasitet på 2500 kN, kan den minste dimensjonen ha kapasitet nok til både en last på 1700 kN og 1950 kN. Ved økning av spennvidde blir lasten større, men antall søyler mindre. Dersom en ved begge lastene kan benytte samme dimensjon, vil en ved økt spennvidde få mindre total materialmengde. Dette kan da føre til at betongkonstruksjonen får den formen som er vist i Figur 4.1 til Figur 4.3.

Ved dekkespenn på 10 til 19 meter kan en av Figur 4.4 til Figur 4.6 se at miljøpåvirkningen øker med økt spennvidde. Siden dette er sammenhengende med mengde materiale, vil også materialmengden øke med økt spennvidde. I tillegg kan en se at økningen av materialmengde per økning av spennvidde blir større og større. For eksempel er økningen i materialmengde mindre fra 13 til 15 meter enn den er fra 17 til 19 meter. Dette kan

komme av at en får mer ut av økning av dimensjon ved mindre dimensjoner enn større dimensjoner.

Mengde spennarmering øker med økt dekkelengde. Dette gir mening da armeringsmengden er beregnet utfra momentet på dekket, og momentet alltid vil øke ved økt lengde på elementet dersom lastene per kvadratmeter er de samme. For mengde slakkarmering derimot kan en se at verdien minker ved økt dekke- og bjelkespenn. Dette gjelder både for bolig- og kontorbygg. Siden mengde slakkarmering kommer fra armering i søyler og knutepunkt vil endringen av tallene kunne representere endring av mengde armering i søylene. Dette er fordi armeringen i knutepunktene er en prosentverdi av armeringen i dekkene og vil dermed ha en konstant verdi ved samme dekkelengde uavhengig av bjelkelengde. Siden armeringen i søylene ikke påvirkes av størrelsen på lasten, men av størrelsen på søyletverrsnittet, vil mengde armering endre seg på samme måte som mengde betong i søylene. Dette kan da også brukes til å se hvordan mengde betong i søylene forandrer seg. Grunnen til at mengde armering, og da også betong, blir mindre ved økt spennvidde, kan komme av at den økte mengden materialer på grunn av økt last ikke er tilsvarende antall færre søyler på grunn av økte spennvidder. For søyledimensjonene vil det altså ved én etasjes bygninger være gunstig med større spennvidder for å redusere materialbruken. Ved 8 og 16 antall etasjer vil utviklingen av søylemengde, både i form av armering og betong, gjenspeile den kurvede funksjonen for miljøpåvirkning hvor mengden først blir mindre ved økt spennlengde og deretter større. Dette kan komme av at en lenger ned i etasjene får såpass store laster og dermed større dimensjoner at en ikke vil ha gevinsten av færre søyler lenger.

5.1.2. Tre

Av tabellene og figurene i kapittel 4.2 Boligbygg av tre med tilfarer som lydtiltak og 4.3 Boligbygg av tre med påstøp som lydtiltak kan en se at miljøpåvirkningen, volumet og dimensjonene for spennvidder for dekker og bjelker henger sammen. Ved økt spennvidde får både dekke og bjelke økt nødvendig volum tre i bærekonstruksjonen, og man får samtidig en økt negativ miljøpåvirkning.

Som beskrevet tidligere, kommer dette av at treet tar opp CO₂, noe som fører til negativt utslipp. En vil da få større negativt utslipp ved mer bruk av tremateriale, noe som stemmer overens med økte spennvidder og etasjer hvor det da trengs mer materiale per bruksareal for å opprettholde kapasiteten til de økte lastene påført bærekonstruksjonen.

Av tabellen gitt i kapittel 4.2.2 og kapittel 4.3.2 kan en også se at differansene av miljøpåvirkningene mellom spennviddene til dekkene er betydelig større enn ved variasjon av spennvidde for bjelkene. Bakgrunnen for dette kan forklares som vist i tabellene i kapittel 4.2.3 og kapittel 4.3.3 som viser mengde materiale for dekkene, bjelkene, søylene. Tabellen viser at mengde dekke per bruksareal er betydelig større enn mengde bjelke og søyle, og vil derfor være dominerende.

I figurene som viser miljøpåvirkningen ved de ulike spennviddene (Figur 4.7 til Figur 4.12), kan en se at grafene noen steder går litt brattere enn andre. For trekonstruksjonen med tilfarer som lydtiltak skjer dette ved dekkespenn mellom seks og syv meter. For trekonstruksjonen med påstøp som lydtiltak skjer dette mellom fire og fem meter dekkespenn. Bakgrunnen for dette kan forklares i at det her blir påført såpass stor last at dimensjonene på dekkene må økes mer enn ellers. Dette kan en se i tabellene for volum

som viser at volum dekke per kvadratmeter bruksareal øket mer fra seks til syv meter ved tilfarer enn ved de andre variasjonene av dekkespenn. Tilsvarende gjelder for tiltak med påstøp.

5.1.3. Sammenligning av betong og tre

Miljøpåvirkningen for både betongkonstruksjonen og trekonstruksjonen varierer i samme takt som materialmengden. Forskjellen er at i trekonstruksjonen øker mengden bjelker og søyler med økt bjelkespenn, mens for betongkonstruksjonen blir mengden betongmateriale først mindre og deretter større ved økt bjelkespenn. Antall dekker, bjelker og søyler vil være likt ved hver spennvidde både for tre- og betongkonstruksjonen. Derfor kommer denne mengdevariasjonen av ulike dimensjoner på elementene. For eksempel vil økningen av mengde tre i de ulike elementene da være større enn reduksjon av mengde tre på grunn av færre bjelker og søyler. For betongkonstruksjonen derimot, vil økningen av dimensjonene på betongelementene være mindre enn reduksjon av antall bjelker og søyler ved spennvidde opp til 5 meter for bjelker og 6 meter for dekker. Etter disse spennviddene vil økningen av dimensjonene på bjelkene og søylene øke mer enn antallet reduseres.

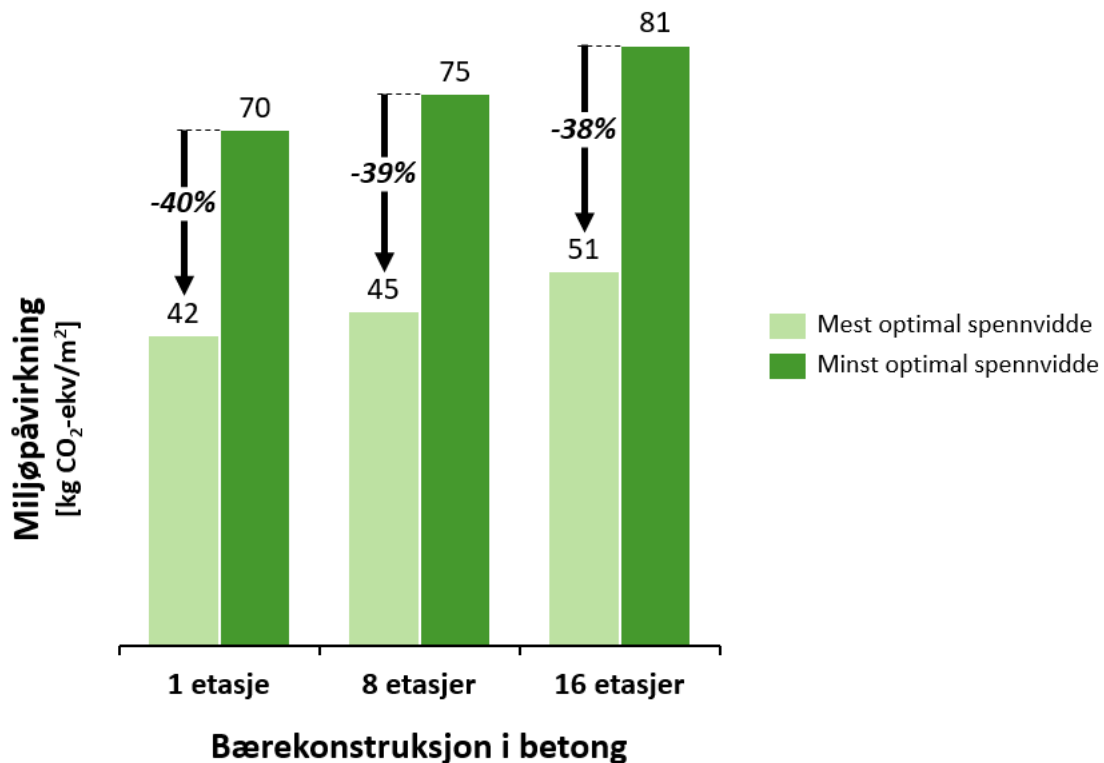
5.2. Reduksjon av klimagassutslipp ved optimale spennvidder

Ut fra tabellene gitt i kapittel 4 Resultater kan en se forskjellen i miljøpåvirkning for de ulike spennviddene. Det er i dette delkapittelet laget diagrammer utfra resultatene i tabellene i kapittel 4 for å vise hvor store forskjellene er. Det er da laget stolpediagram for boligbygg med betong og tre, hvor det for trekonstruksjonen også er delt mellom tilfarer og påstøp som lydtiltak.

5.2.1. Betongkonstruksjoner

Siden det i betongkonstruksjonene er mest optimalt med minimum materialmengde, vil også en lavere verdi for miljøpåvirkning være mest gunstig. Av Figur 5.1 kan en se at alle miljøutslippene er av positiv verdi, men at det er mulig å spare opp til 40% klimagassutslipp ved å benytte de mest optimale spennviddene fremfor de minst optimale spennviddene. Både ved 1, 8 og 16 antall etasjer vil det være cirka like mye å spare.

Fordi miljøpåvirkningen for betongkonstruksjonene har en skålformet graf, se Figur 4.1, vil den mest optimale verdien for miljøpåvirkning være midt i grafen, mens den minst optimale verdien er ved dekkespenn på 3 meter og bjelkespenn på 10 meter. Alle disse spennviddene er mulig å oppnå både for 1, 8 og 16 antall etasjer. Siden økningen av miljøpåvirkningen mellom etasjene er relativt like, vil også differansen mellom mest og minst optimale spennvidder være relativt likt for alle antall etasjer.

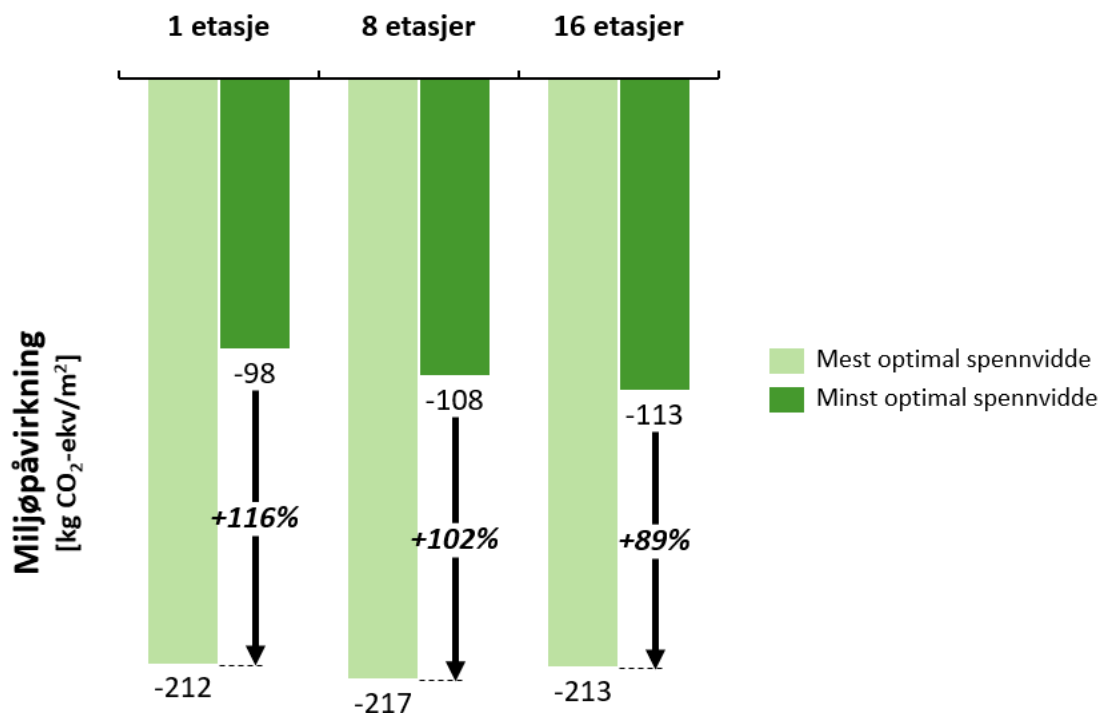


Figur 5.1 Differansen mellom laveste og høyeste miljøpåvirkningen for bæresystem i betong

5.2.2. Trekonstruksjoner

Siden trekonstruksjonene har negativ verdi for miljøpåvirkning vil en se på hvor mye en kan øke opptaket av CO₂ fremfor hvor mye man kan spare av utslipp. Dette fordi treet tar opp CO₂, og det er en større fordel for miljøet og drivhuseffekten å øke opptaket av klimagasser.

Figur 5.2 viser differansen mellom opptaket av CO₂ for en trekonstruksjon med tilfarer som lydtiltak. Som en kan se i Figur 5.2, vil en i en bærekonstruksjon i tre med tilfarer som lydtiltak kunne øke opptaket med opp til 116% ved å bruke de mest optimale spennviddene for dekkene og bjelkene. Ved 16 antall etasjer er det ikke mulig å benytte de største spennviddene som en kan se i Tabell 4.21, og derfor er det høyeste opptaket av CO₂ lavere for bygget på 16 etasjer fremfor byggene på 1 og 8 antall etasjer. Dersom en hadde økt dimensjonene på søylene i beregningsprogrammet og dermed fått dimensjonert med de største spennviddene også for 16 antall etasjer, kunne differansen vært større mellom minst og mest optimale spennvidder for bærekonstruksjon i tre med tilfarer som lydtiltak og 16 antall etasjer.

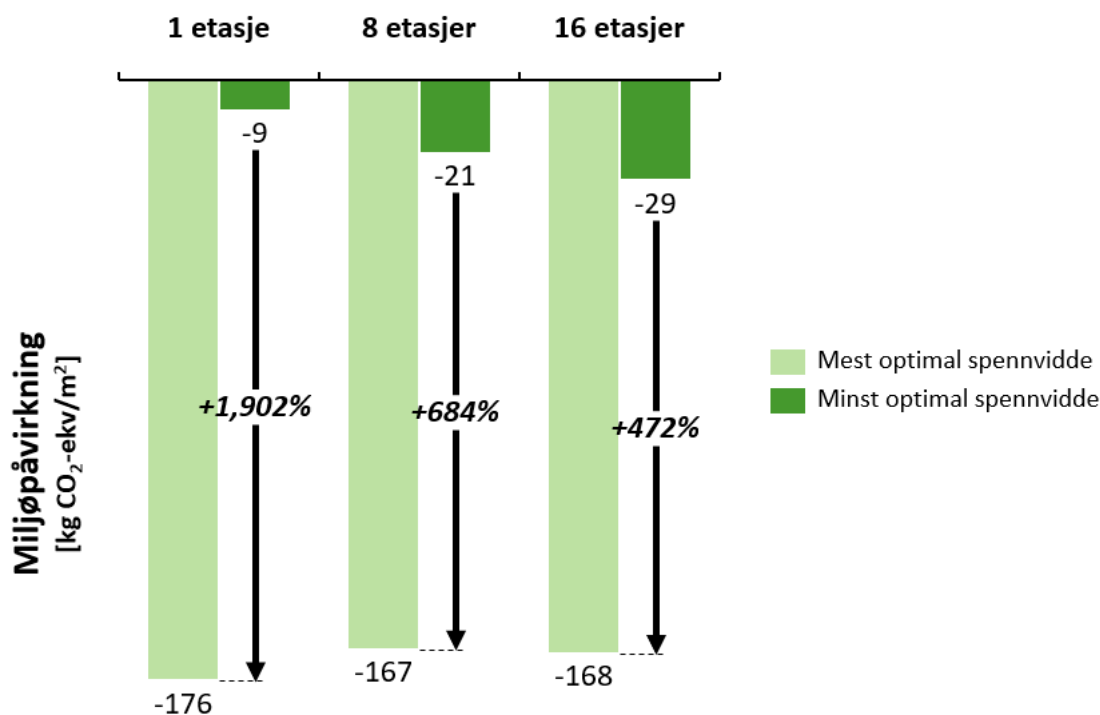


Bærekonstruksjon i tre med tilfarer som lydtiltak

Figur 5.2 Differansen mellom laveste og høyeste miljøpåvirkningen for bæresystem i tre med tilfarer som lydtiltak

Figur 5.3 viser differansen mellom opptaket av CO₂ ved minst og mest optimale spennvidder for en bærekonstruksjon i tre med påstøp som lydtiltak. Av figuren kan en se at økningen i opptaket av CO₂ er veldig stort. Ved bygg på én etasje kan en øke opptaket av CO₂ med 1902% dersom en benytter de mest optimale spennviddene. Bakgrunnen for dette er fordi påstøp gir en positiv verdi for miljøpåvirkning i denne bærekonstruksjonen. Mengden betong er like stor uavhengig av spennvidder. Derfor vil forholdet mellom betong og tre være større når det er mindre mengder tre, på grunn av kortere spennvidder. Betongen gjør altså slik at bærekonstruksjonen totalt sett ikke tar opp like mye CO₂ som en bærekonstruksjon i tre med tilfarer som lydtiltak. Derimot når en øker spennviddene for dekker og bjelker, øker også materialbruken av tre som en kan se blant annet i Tabell 4.25. Da vil forholdet mellom betong og tre være mye mindre, og dermed vil en få et mye større opptak av CO₂ ved de mest optimale spennviddene. Verdien for de minst optimale spennviddene øker med økning av antall etasjer fordi det trengs ekstra tremateriale i søylene ved flere antall etasjer på grunn av økte laster. Forskjellen er derimot ikke like stor mellom miljøpåvirkningen for minst optimale spennvidder ved ulikt antall etasjer som forskjellen mellom minst og mest optimale spennvidder for hver etasje er.

Fordi det ikke er mulig å benytte de største spennviddene ved 8 og 16 antall etasjer, som en kan se i Tabell 4.26 og Tabell 4.27, vil verdiene for miljøpåvirkningen ved de mest optimale spennviddene være lavere ved 8 og 16 antall etasjer enn for én antall etasje. Dersom det hadde vært mulig å benytte større spennvidder for 8 og 16 antall etasjer også, ville verdien for miljøpåvirkning ved mest optimal spennvidde vært større og dermed også differansen større. Likevel er det ikke sikkert differansen ville blitt større enn den er ved én antall etasje.



Bærekonstruksjon i tre med påstøp som lydtiltak

Figur 5.3 Differansen mellom laveste og høyeste miljøpåvirkningen for bæresystem i tre med påstøp som lydtiltak

5.2.3. Sammenligning av betong og tre

Figur 5.1, Figur 5.2 og Figur 5.3 viser at det har stor betydning for miljøpåvirkningen hvilke spennvidder man velger for dekker og bjelker i bærekonstruksjonen. Ved å sammenligne Figur 5.1, Figur 5.2 og Figur 5.3 kan en se at en øker opptaket av CO₂ i større grad ved bærekonstruksjoner i tre med påstøp som lydtiltak ved å benytte de mest optimale spennviddene fremfor de minst optimale spennviddene. Likevel vil en få et høyere opptak av CO₂ i en bærekonstruksjon i tre med tilfarer som lydtiltak. Selv om betongkonstruksjonen ikke kan ta opp CO₂, vil en kunne spare større mengder klimagassutslipp ved å benytte optimale spennvidder dersom en ønsker å bygge bærekonstruksjonen i betong.

5.3. Økonomi

Økonomi er antatt å henge sammen med mengde materiale. Det er her ikke gjort egne beregninger for kostnader, men det er gjort en vurdering av påvirkningen dette kan ha på valg av byggemateriale til bærekonstruksjonen.

Selv om det for miljøet i trekonstruksjonen er mest gunstig med størst mulige dimensjoner på dekker, bjelker og søyler, vil dette gi økt volum og dermed økte kostnader. I praktisk sammenheng vil man minimere kostnadene for et prosjekt. For økonomien sin del vil det dermed være mer gunstig med kortere spenn som da resulterer i mindre volum. Likevel bør man også tenke på utforming av bygget. Ved for små spennvidder kan utnyttelsen av byggene bli dårligere.

For betongkonstruksjonen derimot vil den mest gunstige løsningen for miljøpåvirkning også gi den mest gunstige løsningen for økonomi da det er ved disse spennviddene at materialmengden blir minst.

Transport kan både virke inn på miljøet og økonomien. I fase A4 i EPD-ene til hulldekkene og massivtreelementene (Vedlegg E), kan en se at hullelementene har større miljøpåvirkning enn massivtreelementene. Dette kan komme av at treelementene har lavere tetthet enn betong, noe som fører til at drivstoffbruken blir mindre. Dersom en skulle sett på transportlengdene for ulike prosjekter i hele Norge kan betong likevel ha en fordel da det finnes flere produsenter av prefabrikkert betong spredd over landet enn produsenter for treelementer. Selv om transportlengden er korrigert for lengre distanser for trekonstruksjonen er det ikke gitt at trekonstruksjonen vil ha lavere utslipp enn betongkonstruksjonen uavhengig av hvor i landet en bygger. Men siden det i denne oppgaven ble lagt fokus på EPD-er fra Østlandet, antas det at verdiene er relevant for denne studien. Ved et faktisk prosjekt kan det være nyttig å se nærmere på virkningen av transport utfra hvor i landet man ønsker å bygge. I tillegg kan transportlengdene være av betydning for kostnader dersom det trengs større distanser for transport, noe som kan være fordelaktig for betong dersom produksjonsstedene ligger mye nærmere byggeplass. I tillegg kan frakting av spennarmering fra Kina til Norge, som vist i flytskjema i Figur 3.10, gi en større innvirkning på økonomien.

5.4. Lyd

Siden både betong- og trekonstruksjonen behøvde ekstra tiltak for å oppnå krav til lyd i byggteknisk forskrift er dette en faktor som kan påvirke miljøpåvirkningen.

5.4.1. Betong

Bærekonstruksjonen i betong er kun sjekket for én type lydtiltak grunnet betongens gode lydegenskaper fra før. De ekstra materialene som ble lagt på dekkene, parkett, trinnlydplate og sparkelavretting, vil ha en konstant påvirkning på klimagassutslippet vist i Figur 4.1 til Figur 4.6. Disse vil altså ikke påvirke variasjonen av miljøpåvirkningen for hver ulike spennvidde, men gi en konstant redusert verdi for hele grafen. Grunnen til at miljøpåvirkningen får en redusert verdi er fordi parketten er laget av tre og har dermed et negativt utslipp som er større enn det positive utslippet fra trinnlydplate og sparkelavretting. Men som en kan se av grafen vil utslippet fra betong og armering ha en mye større verdi for miljøpåvirkning enn materialene for lydtiltak, så dermed vil den totale miljøpåvirkningen fortsatt ha positivt utslipp. Dersom en ikke hadde lagt til materialer for lydtiltak, ville det totale utslippet for betongkonstruksjonene hatt en større verdi for miljøpåvirkning. Dersom en hadde brukt et annet materiale for gulvbelegg enn parkett, ville utslippet blitt enda større.

Som en kan se av Tabell 2.4 gjelder valgt løsning for lydtiltak for hulldekker med 200 millimeter tykkelse. Dersom tykkelsen hadde vært større kan det tenkes at lydegenskapene hadde vært bedre, men dette vil mest sannsynlig ikke påvirke utslippet i særlig stor grad.

5.4.2. Tre

Også for trekonstruksjonen vil det valgte lydtiltaket gi en konstant påvirkning til miljøet uavhengig av spennvidde for dekker og bjelker. Derimot vil en få en ulike miljøpåvirkning utfra hvilken type lydtiltak en velger.

Ved å sammenligne Figur 4.7 til Figur 4.9 med Figur 4.10 til Figur 4.12 kan en se at en bærekonstruksjon i tre med tilfarer som lydtiltak får en større negativ verdi for miljøpåvirkning for hver etasje sammenlignet med påstøp som lydtiltak. Dette kommer hovedsakelig av betongen til påstøp har en såpass stor miljøpåvirkning, mens tilfarerne har en større negativ verdi. I tillegg kan en se av Tabell 3.6 at alle ekstramaterialene som trengs ved påstøp som lydtiltak har positiv verdi for miljøpåvirkning, mens for tilfarer som lydtiltak er det generelt overvekt av negativ verdi for de ulike ekstramaterialene.

5.4.3. Sammenligning av betong og tre

Ved sammenligning av miljøpåvirkningen ved ulike lydtiltak for betong og tre kan en se av Tabell 3.6 at trekonstruksjon med tilfarer vil gi størst negativ verdi for utslipp. Det totale utslippet for lydtiltak for betongkonstruksjonen er også av negativ verdi, men noe mindre enn ved tilfarer. Det kan derfor vært mer gunstig for betongkonstruksjonen å benytte lydtiltak med mer tremateriale som for tilfarer dersom en ønsker å få en lavere verdi for miljøpåvirkningen. Tallene oppgitt i de gule feltene i Tabell 3.6 er verdier som varierer utfra spennvidde. I Tabell 5.1 vises de sammenlagte verdiene, hentet fra Tabell 3.6, for miljøpåvirkning av materialene til bærekonstruksjon og lydtiltak for de ulike tilfellene av lydtiltak. En kan her se at verdien for miljøpåvirkning til bærekonstruksjonen er betydelig større enn for lydtiltak. Likevel vil valg av lydtiltak påvirke miljøet i relativt stor grad som en kan se av tabellen. Verdiene i tabellen gjelder for dekke- og bjelkespenn på 3 meter og boligbygg med én etasje.

Tabell 5.1 Sammenlagt miljøpåvirkning for materiale til bærekonstruksjon og lydtiltak

Type konstruksjon og lydtiltak	Miljøpåvirkning for	Sammenlagt verdi [kg CO ₂ -ekv]
Trekonstruksjon med tilfarer	Bærekonstruksjon	-1.52E+05
	Lydtiltak	-6.00E+04
Trekonstruksjon med påstøp	Bærekonstruksjon	-1.17E+05
	Lydtiltak	9.75E+04
Betongkonstruksjon	Bærekonstruksjon	1.33E+05
	Lydtiltak	-8.58E+03

5.5. Brann

5.5.1. Betong

Som nevnt i kapittel 3.4.3 Brann, kan en regulere brannegenskapene til betong ved overdekning. Ulempen med økt overdekning er at dette også fører til økt mengde nødvendig armering. Dette er fordi momentarmen (z) blir mindre dersom en flytter armeringen lenger inn i elementet, og dermed vil formelen for nødvendig armering få en høyere verdi. Formelen er gitt i kapittel 3.5.3. Ved høyere brannmotstand må overdekningen være større og dermed gi en større mengde armering. Dette fører også til en høyere verdi for miljøpåvirkning da en større mengde armering fører til mer utslipp. Branntiltak for betong vil dermed være av betydning for miljøpåvirkningen.

5.5.2. Tre

For trekonstruksjonen kan man, som nevnt i kapittel 2.5.4 Brann, enten benytte en større dimensjon på bjelker og søyler eller beskytte elementene med gips. Økning av dimensjonene på elementene vil gi økt volum tre og dermed en større negativ verdi for

utslipp. Dette vil være mest gunstig for miljøpåvirkningen da gips her har en positiv verdi. Å øke dimensjonen kan også være gunstig dersom en ønsker synlig tre i konstruksjonen. En ulempe med synlig tre er at deler av dette vil forkalles under et brannforløp, og det kan dermed være det trengs ekstra tiltak for å fikse dette i etterkant av et brannforløp. Derimot kan gips gi en fullstendig beskyttelse av treelementene ved brann, men som nevnt vil disse ha en positiv verdi for miljøpåvirkning i tillegg til at de gjemmer bort treet i konstruksjonen.

5.5.3. Sammenligning av betong og tre

Tiltak for å oppnå krav til brann kan for trekonstruksjonen både gi positiv og negativ miljøpåvirkning. For betongkonstruksjonen derimot vil den bidra til økt utslipp.

5.6. Type bygg

Om bygget en prosjekterer skal være et bolig- eller kontorbygg vil også påvirke miljøutslippet. I kontorbygg er både nyttelasten og høyden for hver etasje større. Dette fører til økt materialbruk både i dekker, bjelker og søyler for bærekonstruksjon i tre og betong. Valg av type bygg er som regel gjort før et prosjekteringsprosjekt starter, men likevel er det interessant å se på forskjellene her.

5.7. Andre faktorer

I tillegg til elementene det er prosjektert med i denne oppgaven, vil også andre elementer i konstruksjonen være med på å velge hvilket materiale som vil være mest gunstig med tanke på miljøpåvirkningen. For at et bygg skal stå stødig og kunne føre lastene fra bærekonstruksjonen og videre til grunnen, må også fundament og avstivning medregnes. Fordelen med tre er at det er et lettere materiale enn betong med tanke på tetthet og dette fører til at fundamenteringen også kan bli lettere dersom volum tre ikke er tilsvarende større enn volum betong. For fundamenteringen vil det være mer gunstig med mindre volum tre i konstruksjonen da dette gir mindre vekt og dermed mindre belastning for fundamentet. For materiale til fundamentering er tre et lite egnet materiale da jorden er fuktig, og trematerialet kan råtne. Siden lavest mulig vekt er en fordel med tanke på mengde materiale i fundamentet, vil de optimale spennviddene for miljøpåvirkning og materialbruk i betongkonstruksjonen også være det mest optimale med tanke på fundament. Dersom trekonstruksjonen fortsatt veier mindre enn betongkonstruksjonen, kan trekonstruksjonen være mer gunstig for å minimere materialbruken og dermed også miljøpåvirkningen i fundamentet.

For avstivning av bygget derimot trenger man mer materiale i bærekonstruksjonen av tre da den lave tettheten til tre kan føre til at det svaier mye i vinden. Dette er ikke gått inn på i denne oppgaven, men dette er en faktor det vil være viktig å ta hensyn til ved prosjektering av et helt bygg.

For energibruk i bygninger kan bruk av betong i bærekonstruksjonen, og spesielt i dekkene, være en fordel. Siden betong har en god evne til å lagre varme har en dermed mulighet for å redusere energibruken til blant annet oppvarming eller avkjøling. Tre har ikke like gode egenskaper for lagring av varme, men har en bedre isolasjonsevne. Dette er dermed en faktor som kan være av betydning dersom en også ser på energibruken i bygget under bruksfasen (B).

For å redusere utslipp, avfall, råvare- og energiforbruk vil det være gunstig med en god sirkulær økonomi for de ulike materialene. Gjenbruk og gjenvinning er ikke en del av systemgrensene for denne studien, men faktorer som kan bidra positivt til miljøpåvirkningen ved at en unngår deler av utslippet forbundet med produksjon og tilvirkning av nye materialer. Dette vil virke mer positivt for betong enn tre da trematerialene har negativ verdi for miljøpåvirkning. Likevel vil det være en fordel å utnytte materialene etter byggets levetid. Trematerialer er blant annet gunstig å bruke som biobrensel da den kan erstatte fossilt brensel. I tillegg vil en for materiale av betong kunne spare utslipp forbundet med kalsineringsprosessen ved produksjon av sement dersom man kan gjenvinne betongen. En vil da få mindre utslipp forbundet med neste generasjons betong.

6. Konklusjon

Resultatene fra denne studien tilsier at den beste løsningen med tanke på miljøpåvirkning er et bæresystem av tre med tilfarer som lydtiltak. Dette bæresystemet vil gi et negativt utslipp av klimagasser uavhengig av spennvidder, og dermed være den beste løsningen for klimaet. I tillegg til at denne løsningen totalt sett ikke slipper ut CO₂, vil den også kunne bidra positivt til å senke drivhuseffekten. En forutsetning for den negative verdien for miljøpåvirkning er at ny skog vokser opp og dermed kan omdanne CO₂ til biomasse.

Likevel er det andre faktorer som kan spille inn på valg av materiale til bærekonstruksjonen. For bærekonstruksjon i tre vil det være mer gunstig for miljøet jo mer tremateriale man bruker da mer tremateriale gir større mengder tre som da gir en større negativ verdi for miljøpåvirkning. En bærekonstruksjon i tre vil ha større volum tre ved større spennvidder for både dekker og bjelker. Økningen er relativt lineær, men brattere for spennvidder i dekker enn bjelker. Det vil si at man får en større økning i mengde tre ved å øke dekkespennet én meter enn å øke bjelkespennet én meter. Dersom en benytter de mest optimale spennviddene for trekonstruksjon med tilfarer som lydtiltak, kan man øke opptaket av CO₂ med opp til 116%. Men selv om man totalt sett får en høyere negativ verdi vil det også slippes ut mer CO₂ fra blant annet transport grunnet frakting av mer materiale. I tillegg vil økt volum gi mer utslipp på byggeplass da det kreves mer maskinkraft til å løfte alt på plass. En må da vurdere om man ønsker å se på det store bildet hvor nye trær som vokser opp kan ta opp mer CO₂ fra atmosfæren, eller om en ønsker å redusere den CO₂-en som blir sluppet ut under produksjon og bygging. I tillegg vil økt mengde av materialer også gi økte kostnader. For kostnader vil et minimalt volum tre være mer gunstig, noe som kan oppnås ved spennvidde på 3 meter for både dekker og bjelker. Dette er dermed noe som må vurderes for hvert enkelt prosjekt; hvilke faktorer en ønsker å ha fokus på og hvilke muligheter man har.

Dersom en likevel skulle ønske en bærekonstruksjon i betong, vil det for miljøpåvirkningen være mest gunstig å benytte en spennvidde for dekkene på 6 meter og bjelkene på 5 meter. En bærekonstruksjon i betong har en positiv verdi for miljøpåvirkning uavhengig av spennviddene, men ved disse dimensjonene vil en oppnå de minste mulige verdiene for klimagassutslippene. Man kan spare opp til 40 % av klimagassutslippene forbundet med bærekonstruksjonen dersom en benytter disse spennviddene fremfor de minst optimale spennviddene, som gir størst utslipp. Siden miljøpåvirkningen henger sammen med materialmengde, vil det også for de mest optimale spennviddene være mest optimalt med tanke på økonomi da det er ved disse spennviddene man oppnår lavest mulig materialmengde for bærekonstruksjon i betong. Fra dekkespenn på 6 meter og bjelkespenn på 5 meter har bærekonstruksjonen i betong en skålformet utvikling av miljøpåvirkning. Ved større eller mindre spennvidde enn 5 og 6 meter for henholdsvis bjelkene og dekkene, vil materialmengden øke, og dermed også klimagassutslippet bli større. Dette gjelder både for boligbygg med 1-, 8-, og 16 etasjer i tillegg til kontorbygg med 1 etasje.

Ved flere antall etasjer vil totalmengden for materialene i bygget øke. Mengde dekker og bjelker er likt for hver etasje uavhengig av antall etasjer, og vil dermed ikke påvirke materialmengden, og dermed også miljøpåvirkningen, per kvadratmeter bruksareal. Derimot vil søylene trenge større dimensjoner ved flere antall etasjer da de vil bli påført en større last, noe som fører til økt materialbruk og dermed økt verdi for miljøpåvirkning.

For trekonstruksjonen betyr dette en høyere negativ verdi, mens for betongkonstruksjonen vil det være en høyere positiv verdi for miljøpåvirkning.

For lyd og brann har betongkonstruksjonen relativt gode egenskaper. De få tiltakene som kreves vil til sammen gi en negativ verdi for miljøpåvirkning og dermed virke positivt for det totale miljøpåvirkningen til betongkonstruksjonen. En bærekonstruksjon i tre trenger større tiltak for både lyd og brann. For lydtiltak vil det for miljøet være mest gunstig med bruk av tilfarer fremfor påstøp som ekstra materiale for å oppnå krav i TEK17. Ved bruk av tilfarer vil man få en negativ verdi for miljøpåvirkning, mens påstøp gir en positiv verdi. Likevel kan en ved å benytte påstøp som tiltak også kunne bedre egenskapene til massivtredekker med tanke på vibrasjoner, noe som også kan føre til at en kan benytte mindre volum massivtre. I tillegg vil påstøp gi mer tyngde i bærekonstruksjonen, noe som kan være gunstig med tanke på svingninger ved vind. Påstøp kan også være gunstig for brannbeskyttelse av massivtreelementene, men tredekkene vil allerede ha god utnyttelse ved et brannforløp da de er dimensjonerende for bruksgrense og ikke bruddgrense. Dermed trengs ikke ekstra materiale for branntiltak i massivtredekkene. Derimot for trebjelker og -søyler trengs det ved noen dimensjoner ekstra tiltak for brann. En kan da velge mellom å øke tykkelsen på elementene slik at de har nok ekstra dimensjon til forkulling, eller så kan de gipses. Ved å øke dimensjonene på treelementene vil en kunne øke den negative verdien for utslipp i trekonstruksjonen, mens ved bruk av gips vil miljøpåvirkningen for hele bæresystemet til tre få en mindre negativ verdi. Økonomi og ønske om synlig tre i konstruksjonen er blant faktorene som kan avgjøre om en ønsker å øke tykkelsen på elementene eller kle i gips for å oppnå krav til brann.

7. Videre arbeid

For å komme i mål med oppgaven måtte, som nevnt tidligere, begrensninger gjøres. I tillegg har det under arbeidet dukket opp ideer om andre ting som kan være interessant å se på i sammenheng med denne studien. Dette er både ekstra elementer som kunne vært interessant å se på, samt forbedringer ved de ulike materialene og faktorene brukt i denne studien.

Avstivning

En av hovedavgrensningene i denne studien var kun å se på bærekonstruksjonen i form av dekker, bjelker og søyler og at vindlasten ble tatt opp av veggskiver, noe som ble utelatt i denne oppgaven. Det kunne dermed vært interessant å sett på miljøpåvirkningen til disse veggskivene, eventuelt også hvordan resultatene hadde forandret seg dersom selve bærekonstruksjonen skulle tatt opp vindlasten, samt ulike løsninger for avstivning av bygget.

Andre type elementer

Da det i denne oppgaven ble begrenset til å se på hulldekker og massivtreelementer for dekkekonstruksjon, kunne det vært interessant også å se på andre løsninger. For eksempel kan det være nyttig å gjøre lignende studie på flatdekker av betong hvor en ikke benytter bjelker, men kun dekker og søyler. I tillegg er disse mer gunstig for strengere lavkarbonklasser enn hva hulldekker er.

Faser i systemgrensen i livsløpsvurdering

Siden det i denne oppgaven ble avgrenset til å se på fase A1 til A4 kunne det vært interessant å se på virkningen av klimagassutslipp dersom en hadde inkludert alle fasene fra vugge til grav, A1 til D. Det ville også vært interessant å se på fasene fra vugge til vugge og da inkludert virkningen av sirkulærøkonomi.

Kostnader

For å få et bedre bilde av hvordan forskjellen i kostnadene er for de ulike bærematerialene og de ulike spennviddene, kunne det vært interessant å gjøre en dypere kostnadsberegning. Det kunne her også vært interessant å se på pris for CO₂-kvoter, klimakvoter eller lignende for å inkludere klimapåvirkningen i det totale regnskapet. En kan da finne den totale kostnaden for hvert av bæresystemene etter man har kompensert for klimakvoter. For eksempel dersom bærekonstruksjonen i betong er billigere enn bærekonstruksjonen i tre, men at man ved betongkonstruksjonen må legge til pris for klimakvoter for å kompensere for klimagassutslippet, mens man i trekonstruksjonen får betalt for å fange opp mer CO₂ fra atmosfæren. Det kan da være at kostnadsregnskapet vil se annerledes ut.

Løsninger for å oppnå større spenn i trekonstruksjonen

Massivtredekker har begrensede verdier for dimensjoner på spennvidder. Det kunne dermed vær spennende å se på ulike løsninger/metoder for å oppnå større spennvidder for tredekker for å se hvilken virkning dette ville gitt på miljøet. I Mjøstårnet på Brumunddal ble tre8-elementer benyttet. Disse skal kunne gi større spennvidder enn massivtreelementer. I tillegg vil disse antageligvis bruke mindre materiale da de er bygget opp som et bjelkelag hvor bjelkene er av limtre med et lag LVL-plater oppå. Disse

elementene blir blant annet kalt trekonstruksjonens hulldekker. Det kunne dermed vært interessant å se på virkningen av mengde volum og miljøpåvirkning disse har.

Løsninger for å redusere stålmengder i treforbindelser

Miljøpåvirkningen for trekonstruksjonen får en lavere negativ verdi grunnet stålet som trengs i knutepunktene. Det kunne derfor vært nyttig å se på ulike løsninger for å minske bruken av stål i forbindelser og lage mer generaliserte løsninger for dette.

8. Bibliografi

- Andersen Even** [Internett]. - Sweco, 3 april 2017. - 20 januar 2020. - https://www.limtreforeningen.no/images/bilder/Fullstendig_brannforlop_i_limtrekonstruksjoner.pdf.
- Anne Rønning Kjersti Prestrud, Simon Saxegård, Simen S. Haave, Magne Lysberg** Klimagassregnskap av tre- og betongkonstruksjoner [Rapport]. - [s.l.] : Østfoldforskning, 2019.
- Bergene Holm AS** Ny internasjonal standard for fingerskjøting av trelast [Internett]. - 20 januar 2020. - <https://www.bergeneholm.no/om-oss/sagbruk-hoevleri/avd.-haslestad/ny-internasjonalt-standard-for-fingerskjoeting-av-trelast-bergene-holm-as-foerste-godkjente-bedrift-i-norge>.
- Brenna Sindre Østby Stub & Kristin Antonsen** Slik kutter vi energibruken i bygg [Internett]. - august 2017. - 23 januar 2020. - <https://zero.no/wp-content/uploads/2017/08/Energisparing-i-bygg-1-1.pdf>.
- Byggforskserien** 421.431 Lydisolering av gjennomføringer [Rapport]. - [s.l.] : Byggforskserien. SINTEF, 2002.
- Byggforskserien** 470.101 Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper [Rapport]. - [s.l.] : Byggforskserien. SINTEF, 2014a.
- Byggforskserien** 470.102 Metodisk valg og problemstillinger ved livsløpsvurdering (LCA) [Rapport]. - [s.l.] : Byggforskserien. SINTEF, 2015c.
- Byggforskserien** 470.103 Miljødeklarasjoner (EPD) av byggevarer [Rapport]. - [s.l.] : Byggforskserien. SINTEF, 2014b.
- Byggforskserien** 471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer [Rapport]. - [s.l.] : Byggforskserien. SINTEF, 2003.
- Byggforskserien** 471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler [Rapport]. - [s.l.] : SINTEF byggforskserien, 2013.
- Byggforskserien** 520.222. Bjelker av tre. Dimensjonering [Rapport]. - [s.l.] : SINTEF Byggforskserien, 2011.
- Byggforskserien** 520.321 Brannmotstand for etasjeskillere [Rapport]. - [s.l.] : Byggforskserien. SINTEF., 2008.
- Byggforskserien** 520.323 Brannmotstand for bjelker og søyler av betong, mur og tre [Rapport]. - [s.l.] : SINTEF byggforskserien, 2009a.
- Byggforskserien** 522.514 Lydisolerende, tunge etasjeskillere. Konstruksjonseksempler [Rapport]. - [s.l.] : SINTEF byggforskserien, 2015a.
- Byggforskserien** 522.891. Etasjeskillere i massivtre [Rapport]. - [s.l.] : SINTEF Byggforskserien, 2009b.
- Byggforskserien** 571.523 Trevirke. Treslag og materialeegenskaper [Rapport]. - [s.l.] : Byggforskserien. SINTEF., 2015b.
- DIBK § 11-1.** Sikkerhet ved brann [Internett] // Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. - 2017b. - 6 februar 2020. - <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-1/>.
- DIBK § 11-2.** Risikoklasser [Internett] // Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. - 2017e. - 6 februar 2020. - <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-2/>.
- DIBK § 11-3.** Brannklasser [Internett] // Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. - 2017d. - 6 februar 2020. - <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-3/>.

DIBK § 11-4. Bæreevne og stabilitet [Internett] // Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. - 2017c. - 6 februar 2020. - <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/ii/11-4/>.

DIBK § 12-7. Krav til rom og annet oppholdsareal [Internett]. - 2017f. - 4 februar 2020. - <https://dibk.no/byggeregler/tek/3/12/ii/12-7/>.

DIBK § 13-6. Lyd og vibrasjoner [Internett] // Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. - 2017a. - 5 februar 2020. - <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/13/iv/13-6/>.

Dragland Åse Bygg står for 40% av verdens utslipp - slik skal det reduseres [Internett] // Teknisk ukeblad. - 4 juni 2015. - 20 januar 2020. - <https://www.tu.no/artikler/bygg-star-for-40-av-verdens-utslipp-slik-skal-det-reduseres/223922>.

Fet Michael Myrvold Jenssen & Annik Magerhold Ribbed reinforcement bars. NEPD-347-238-EN [Rapport]. - EPD Norge : The Norwegian EPD Foundation, 2015b.

Fet Michael Myrvold Jenssen & Annik Magerholm Prestressed steel for reinforcement of concrete, PC Strand. NEPD-326-206-EN [Rapport]. - EPD Norge : The Norwegian EPD Foundation, 2015a.

FN-sambandet FN-sambandet [Internett]. - 5 oktober 2018. - 21 januar 2020. - (<https://www.fn.no/Tema/Klima-og-miljoe/Klimaendringer>).

Fufa Selamawit Mamo ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - Glava glassull [Rapport]. - www.EPD-Norge.no : EPD Norge, 2019.

Glasø Geir Tre og brann [Internett] // Trefokus. - februar 2012. - 28 januar 2020. - <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/37-Tre-og-brann.pdf>.

Glasø Geir Tre og lyd [Internett] // Trefokus. - januar 2011b. - 28 januar 2020. - <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/36-Tre-og-lyd.pdf>.

Glasø Jarle Aarstad & Geir Massivtre [Internett] // Trefokus. - 2011a. - 29 januar 2020. - <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf>.

La Raskiftet leve [Internett]. - 21 januar 2020. - (<http://www.laraskiftetleve.com/240978770>).

Limmesand Brekke og Strand AS. Per Kåre Ny NS 8175 - konsekvenser for konstruksjoner. - 2019.

Moelven Gran og furu - våre råvarer [Internett] // Moelven. - <https://www.moelven.com/no/produkter-og-tjenester/gran-og-furu--vare-ravarer/>.

NIBIO Treslag i Norge [Internett]. - 28 januar 2020. -

<https://www.nibio.no/tema/skog/skoggenetiske-ressurser/treslag-i-norge>.

Nordland betongelement AS Miljøvenlig byggemetode [Internett] // Nordland betongelement AS. - februar 2020. - <https://nordland-betongelement.no/produkt/miljovenlig-byggemetod>.

Norsk limtreprodusenters forening Limtreboka [Internett]. - 2015. - 27 januar 2020. - https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf.

Norsk limtreprodusenters forening Limtreforeningen [Internett]. - 28 januar 2020. - <https://www.limtreforeningen.no>.

Norsk Treteknisk Institutt Håndbok - bygge med Massivtreelementer - Hefte 5 - Lyd [Rapport]. - Blinderen, Oslo : Treteknisk, 2016.

Rockwool Isolasjon og brann [Internett] // Rockwool. - 22 mai 2020. - <https://www.rockwool.no/verdt-a-vite/brannsikkerhet-inneklima/brannsikkerhet/isolasjon-og-brann/>.

Rockwool Nordic ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - ROCKWOOL stone wool thermal insulation [Internett]. - 17 april 2019. - 28 mai 2020. -

<https://www.rockwool.no/syssiteassets/o2-rockwool/dokumentasjon-og-sertifikater/dokumentasjon/epd-miljodeklarasjon/epd-miljodeklarasjon.pdf>.

Sørensen Svein Ivar Betongkonstruksjoner. Beregning og dimensjonering etter Eurokode 2 [Bok]. - [s.l.] : Fagbokforlaget, 2013. - Vol. 2017.

Skaug Eivind Trevirkets oppbygging og egenskaper [Internett]. - 23 januar 2020. - <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/40-Trevirkets-oppbygging-og-egenskaper.pdf>.

Skogstad Hans Boye Teknisk godkjenning Etasjeskiller med Hunton Silencio 36/ Hunton Silencio Thermo [Rapport]. - Gjøvik : SINTEF/Hunton Fiber AS, 2018.

Standard Norge Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-1 : Almenne laster. Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger [Rapport]. - Lysaker : Standard Norge, 2019.

Standard Norge Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-3: Almenne laster. Snølaster [Rapport]. - Lysaker : Standard Norge, 2018a.

Standard Norge Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-4: Almenne laster. Vindlaster [Rapport]. - Lysaker : Standard Norge, 2009.

Standard Norge Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Almenne regler og regler for bygninger [Rapport]. - Lysaker : Standard Norge, 2018b.

Standard Norge Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger [Rapport]. - Lysaker : Standard Norge, 2010b.

Standard Norge Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner. Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering [Rapport]. - Lysaker : Standard Norge, 2010a.

Standard Norge NS 8175:2019 Lydforhold i bygninger. Lydklasser for ulike bygningstyper [Rapport]. - Lysaker : Standard Norge, 2016a.

Standard Norge NS-EN 14080:2013+NA:2016 Trekonstruksjoner. Limtre og limt laminert heltre. Krav [Rapport]. - Lysaker : Standard Norge, 2016c.

Standard Norge NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [Rapport]. - 2016d.

Standard Norge NS-EN 338:2016 Konstruksjonstrevirke Fasthetsklasser [Rapport]. - Lysaker : Standard Norge, 2016b.

Stora Enso Calculatis [Internett] // Stoa Enso. - Stora Enso. - 14 mai 2020. - <https://calculatis.storaenso.com/>.

Stora Enso The Stora Enso CLT design software user manual [Internett] // Stora Enso. - 15 januar 2016. - 13 mai 2020. - https://calculatis.storaenso.com/Dokumentation/CLT-Engineer_Manual.pdf.

Store Norske Leksikon Trekonstruksjoner [Internett]. - 15 februar 2009. - 22 januar 2020. - <https://snl.no/trekonstruksjon>.

Svanæs Jarle Tre og miljø [Internett] // Trefokus. - desember 2004. - 23 januar 2020. - <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/8-Tre-og-miljo.pdf>.

Tellnes Lars G.F. Prosjektlimtre. NEPD-1577-605-NO [Rapport]. - epd-norge.no : EPD Norge, 2020.

Thue Jan Vincent Betong [Internett]. - Store Norske Leksikon, 2007. - 21 januar 2020. - <https://snl.no/betong>.

Thue Jan Vincent Hus [Internett]. - Store Norske Leksikon, 15 februar 2019. - 21 januar 2020. - <https://snl.no/hus>.

Trefokus Veileder for bruk av tre - By og tettstedsutvikling [Internett]. - 31 januar 2020. - <http://www.trefokus.no/resources/Veileder-bruk-av-tre-by-og-tettstedsutvikling.pdf>.

Vinje Leidulf Bind A - Bygging med betongelementer [Internett] // Betongelementboken. - Betongelementforeningen, mai 2010. - 10 mars 2020. -

<https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookA.asp?isSearch=0&liID=Forord&DocumentId=BindA/Forord.pdf&BookId=A>.

Vinje Leidulv Bind D - Brannmotstand, bestandighet og tetting [Internett] //

Betongelementboken. - Betongelementforeningen, 2017. - 30 mars 2020. -

<http://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookD.asp?isSearch=0&liID=Forord&DocumentId=BindD/Forord.pdf&BookId=D>.

Østfoldforskning AS Betongbjelke slakkarmert - B45 M45. NEPD-1637-656-NO [Rapport]. - Oslo : Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner, 2018.

Østreng Kai Werner E10 Betongelementer [Bok]. -

betongelementboka.betongelement.no : Betongelementforeningen, 2008.

Øvrum Audun Nr. 43 Konstruksjonsvirke [Rapport]. - Oslo : Trefokus, 2012.

