

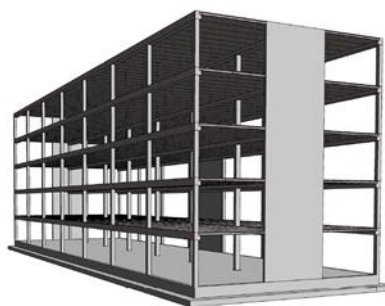
Rapport

SUSTAINABLE INNOVATION

Forfattere: Anne Rønning, Kjersti Prestrud, Lars G. F. Tellnes, Simon Saxegård, Simen S. Haave, Magne Lysberg

Rapportnr.: OR.26.19

ISBN: 978-82-7520-812-3



Klimagassregnskap av tre- og betongkonstruksjoner

Kontorbygning - 4, 8 og 16 etasjer

Rapportnr.: OR.26.19 **ISBN nr.:** 978-82-7520-812-3 **Rapporttype:**
ISSN nr.: 0803-6659 Oppdragsrapport

Rapporttittel:

Klimagassregnskap av tre- og betongkonstruksjoner

Kontorbygning - 4, 8 og 16 etasjer

Forfattere: Anne Rønning, Kjersti Prestrud, Lars G. Tellnes, Simon Saxegård, Simen S. Haave, Magne Lysberg

Prosjektnummer: 1953 **Prosjekttittel:** LCA av høyhus

Oppdragsgivere: **Oppdragsgivers referanse:**

Betongelementforeningen John Erik Reiersen

Emneord: **Tilgjengelighet:** **Antall sider inkl. bilag:**

- LCA
- KL-tre
- Betong
- EPD

Åpen

65

Godkjent:

Dato: 31.07.2019


Prosjektleder


Forskningsleder

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	1
1 Innledning	4
1.1 Bakgrunn for prosjektet	4
1.2 Formål og framgangsmåte	5
2 Metode og forutsetninger	7
2.1 Spesifikasjon av bygningene	7
2.1.1 Generelt om objektet	7
2.1.2 Seismikk	7
2.1.3 Brann	7
2.1.4 Akustikk	8
2.1.5 Deformasjoner i topp	10
2.1.6 Fundament	10
2.1.7 Betongkonstruksjoner	11
2.1.8 Trekonstruksjon	13
2.2 Materialmengder	17
2.2.1 Betongkonstruksjoner	17
2.2.2 Trekonstruksjon	17
2.2.3 Materialer til fundament	17
2.2.4 Materialer til branntiltak i trekonstruksjonene	17
2.2.5 Materialer til lydisolasjon i etasjeskiller for tre- og betongkonstruksjonene	18
2.2.6 Stål	18
2.3 Datagrunnlag for klimagassutslipp for byggevarer	19
2.3.1 EPD som datagrunnlag	19
2.3.2 Betongkonstruksjon	20
2.3.3 Trekonstruksjon	22
3 Resultater	24
3.1 Klimagassregnskap	24
3.2 Sammenligning av tre- og betongkonstruksjoner	24
3.3 Bruk av betongvarer med lave klimagassutslipp	25
3.4 Sammenligning trekonstruksjon og lavkarbonbetongkonstruksjon	26
4 Optimalisering av produkter og produksjonsprosesser	30
4.1 Innledning	30
4.2 Optimalisering av produksjonsprosessen for hulldekker	30
4.3 Ytelseskrav vs. materialkrav	31
5 Diskusjon og konklusjoner	34
6 Referanser	37
Vedlegg 1 Notat tredjeparts verifikasjon	39
Vedlegg 2 Masseoversikt betongkonstruksjon	42
Vedlegg 3 Masseoversikt trekonstruksjon	45
Vedlegg 4 Klimagassregnskap trekonstruksjon Kristiansand	48
Vedlegg 5 Klimagassregnskap betongkonstruksjon Kristiansand	51
Vedlegg 6 Klimagassregnskap trekonstruksjon Trondheim	57
Vedlegg 7 Klimagassregnskap betongkonstruksjon Trondheim	60

Sammendrag

I løpet av de siste 25 årene har livsløpsvurderinger (LCA) blitt anvendt i byggenæringen som et metodisk fundament for å vurdere miljøprestasjonen av byggematerialer. LCA-metodikken anvendes også til å vurdere miljøprofilen for hele bygget gjennom dets levetid, som igjen gjør det mulig å simulere hvilke konsekvenser ulike valg/endringer kan ha, sett i lys av ønsket om å redusere eller minimere miljøbelastninger. Gjennom hele denne perioden har det pågått en diskurs – både i byggebransjen, media og akademien – om hva som er det mest miljøriktige byggematerialet.

Med dette som bakteppe, ønsket Betongelementforeningen å få utført et klimagassregnskap av tre- og betongkonstruksjoner der en var spesielt opptatt av å sikre at konstruksjonene som sammenlignes tilfredsstillende samme funksjonskrav, som er et nødvendig premiss for sammenlignbarhet.

Formålet med denne studien var å utarbeide klimagassregnskap – basert på LCA-metodikk - for en kontorbygning med flate 50,4 x 15,9 m² i 4, 8 og 16 etasjer lokalisert enten i Kristiansand eller Trondheim. Beregningene omfatter følgende to alternative hovedmaterialer:

- 1) prefabrikkerte betongkonstruksjoner og
- 2) trekonstruksjoner.

De teoretiske beregningene omfattet materialmengder for ekvivalente funksjoner (dekke, lyd, brann). Analysen omfattet ikke klimaskall og fasadesystem, ikke-bærende skillevegger (cellestruktur i kontorarealene, skillevegger etc.) og tekniske fag (ventilasjon, varme, sanitær og elektro) da dette ansees å være uavhengig av type bærende konstruksjon.

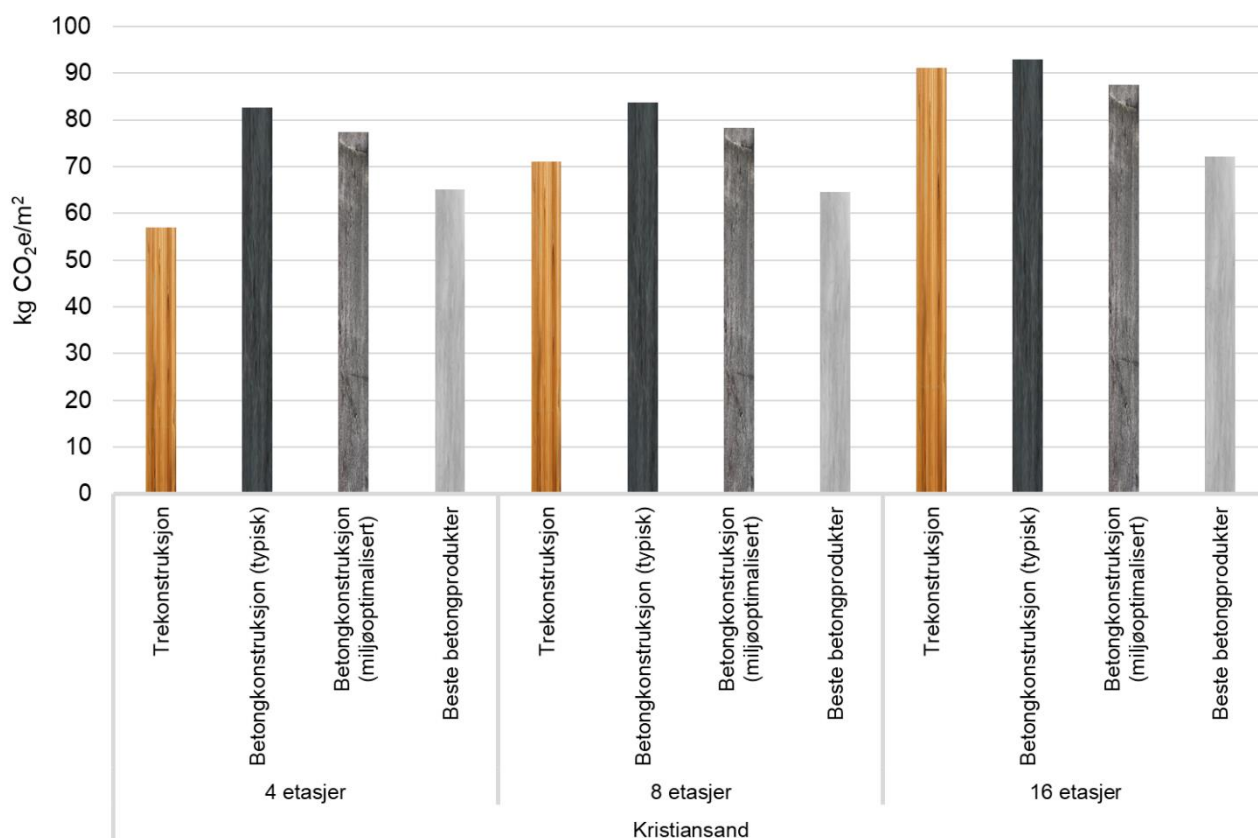
For å sikre at konstruksjonene er sammenlignbare med samme funksjon, dimensjonert i henhold til de krav som stilles og som representerer dagens praksis, ble Arcon Prosjekt AS engasjert til å utføre teoretiske beregninger av en kontorbygning i 4, 8 og 16 etasjer i hovedmaterialene tre og betong. Videre ble Østfoldforskning engasjert til å utføre klimagassberegninger basert på Arcon Prosjekts masseberegninger. Konstruksjonene ble antatt plassert både i Trondheim og Kristiansand for å synliggjøre i hvilken grad transport til byggeplass bidrar til klimagassregnskapet for konstruksjonene. Datagrunnlag for beregninger av klimagassutslipp var miljødeklarasjoner (Environmental Product Declarations – EPD) for de ulike materialene som inngikk i konstruksjonene.

Klimagassberegningene ble utført i to faser der betongelementprodusentene bidro med data ved bruk av deres EPD-generator.

1. Fire betongelementprodusenter leverte EPDer for de produktene som ble spesifisert av Arcon Prosjekt (Block Berge Bygg, Contiga, Loe Betong, Spenncon). Basert på data fra disse fire produsentenes produkter ble det utviklet et gjennomsnitt for «typiske betongprodukter» der en nødvendigvis ikke har et miljøkrav til leveransen.
2. I fase to ble produsentene mer involvert i prosjektet og gjennom dialog om hvordan de kunne levere produkter med lavere klimagassutslipp ble det utarbeidet et optimalisert klimagassregnskap. Dette blir senere i rapporten omtalt som «miljøoptimaliserte» produkter.

Treprodusenter, ferdigbetongprodusenter og andre byggevareprodusenter bidro ikke direkte i prosjektet, kun ved at deres publiserte EPDer ble anvendt som datagrunnlag.

Resultatene fra klimagassberegningene viser at for de lave konstruksjonene (4 etasjer) er utslippsnivået knyttet til trekonstruksjonene lavere enn for betongkonstruksjonene, men at forskjellene avtar med byggehøyde. Ved 16 etasjers konstruksjoner er utslippsnivået å anse som relativt likt. Dette er med utgangspunkt i gjennomsnittsdata fra EPDer for betongprodukter fra fire produsenter. Hvis en derimot sammenligner med de beste betongproduktene med hensyn på lave klimagassutslipp, har den beste betongkonstruksjonen lavere utslipp enn trekonstruksjonen på 16 etasjer lokalisert både i Kristiansand og Trondheim. For byggehøyde 8 etasjer er utslippsnivået til den beste betongkonstruksjonen lavere enn utslippsnivået for trekonstruksjonen lokalisert i Kristiansand og tilnærmet likt nivå for konstruksjonene lokalisert i Trondheim. For byggehøyden 4 etasjer er utslippsnivået for trekonstruksjonen lavere enn for den beste betongkonstruksjonen lokalisert hhv. i Kristiansand og Trondheim.



Figur Sammenligning med trekonstruksjon med ulike betongkonstruksjoner, Kristiansand

Kan man trekke noen generelle konklusjoner basert på denne studien?

Det er viktig å merke seg at resultatene i denne rapporten ikke er generaliserbare til alle typer bygningsformål eller bygningsdeler. Hva som regnes som de mest miljøvennlige valgene avhenger bl.a. av konteksten for hvert enkelt bygg; i vår studie ble det valgt et høyt og slankt bygg (relativt sett) der planet er utformet slik at forskjellen mellom byggehøyde og minste bredde er stort. Det ga igjen klare føringer for de dimensjonerende parameter som ble lagt til grunn (løft som

dimensjonerer), og som stilte gitte krav til materialtyper og -mengder. Bygg som er bredere enn de er høye, vil ikke være like utsatte for vind og således kreve andre materialtyper og -mengder.

Dette er et eksempel som viser at når man sammenligner resultatene mellom flere LCA-rapporter må det også fokuseres på de dimensjonerende forutsetningene og ikke bare LCA-metodiske forutsetninger og beregninger oppgitt i de ulike rapportene. Studien viser at både måten en dimensjonerer bygget på og datagrunnlaget har betydning for klimagassregnskapet. Det er ikke empirisk grunnlag for å hevde generelt at tre er mer miljøvennlig enn betong

Bestillerfunksjonen viktig

Det er gjennom utøvelse av bestillerfunksjonen at man må være åpne for at leverandørene selv blir stimulert til å finne de optimale løsningene uansett valg av byggemateriale. Man bør stille krav på en slik måte at det gir grunnlag for innovasjon heller enn at en har konkludert at en skal benytte det ene materialet foran et annet.

På generell basis kan man si at tiltak rettet mot reduksjon av totalt materialforbruk for hele leveransen ser ut til å være minst like effektive som tiltak ensidig rettet mot bruk av materialer med lave klimagassutslipp. Med andre ord er det stor klimaeffekt av å utfordre bestillere til å benytte optimale konstruksjoner som gir maksimal bæring og bruksegenskaper med minimum mengde materialer enten det gjelder betong, tre eller andre materialer. På denne måten blir byggevarereprodusentenes kompetanse utnyttet ved at de tillegges ansvar for å finne de optimale løsningene med lavest mulig klimagassutslipp, og dermed blir tidlig involvert i byggeprosjekter. Etterspørsel av ytelse framfor separate materialkrav vil bidra til innovasjon og utvikling, og komme alle norske byggevarereprodusenter til nytte gjennom like konkurransevilkår.

Konklusjoner:

Det er ikke empirisk grunnlag for å hevde generelt at tre er mer miljøvennlig enn betong. Avhengig av kontekst og ulike løsninger en finner i konkrete prosjekter, vil en kunne redusere klimagassutslippene uavhengig av materialvalg. Dette kan fremmes ved å la produsenter og andre utførere få større frihet til å benytte sin kompetanse og praktiske kunnskap for å utvikle innovative løsninger.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for prosjektet

I løpet av de siste 25 årene har livsløpsvurderinger (LCA) blitt anvendt i byggenæringen som et metodisk fundament for å vurdere miljøprestasjonen av byggematerialer. LCA-metodikken anvendes også til å vurdere miljøprofilen for hele bygget gjennom dets levetid, som igjen gjør det mulig å simulere hvilke konsekvenser ulike valg/endringer kan ha, sett i lys av ønsket om å redusere eller minimere miljøbelastninger. Gjennom hele denne perioden har det pågått en diskurs – både i byggebransjen, media og akademien – om hva som er det mest miljøriktige byggematerialet (Rønning, 2017). I løpet av 2017/2018 ble dette på nytt et tema i media der LCA-studier som sammenligner bygg i tre mot betong lå til grunn for diskusjoner om hva som er det beste byggematerialet (bl.a. flere artikler i Aftenposten, Teknisk Ukeblad, Byggeindustrien, www.bygg.no).

Østfoldforskning ble i 2017 engasjert av Betongelementforeningen til å gjøre en enkel gjennomgang av studiene medieomtalen refererte til enten direkte eller indirekte (Rønning og Tellnes, 2018). I gjennomgangen av studiene det ble referert til, viste noen til at bygg i tre gir betydelig lavere klimapåvirkninger enn bygg i betong, noen konkluderte med at betong og tre gir omtrent samme resultat for klimagassutslipp, mens andre viste til store potensielle forbedringer for klimagassutslipp knyttet til betongbygg hvis man tar i bruk oppdaterte verdier i beregningene. Et fellestrekk er at studiene var knyttet til konkrete bygg hvor man ønsket å vurdere avgrensede problemstillinger, enten å se på effekt av ulike LCA-metodiske valg på virkning på konklusjonene mellom tre- eller betongkonstruksjoner eller dokumentere klimagassregnskap for den konstruksjonen en allerede hadde valgt sammenlignet med et referansebygg.

Det ble tidlig klart at det var grunnlag for å stille spørsmål ved valg av design av konstruksjonene som ble sammenlignet. Flere av disse studiene valgte å sammenligne en optimalisert trekonstruksjon med en betongkonstruksjon som det var liten sannsynlighet for ville blitt oppført. Dette medførte at man mest sannsynlig anvendte for høye betongmengder eller ikke-optimal betongkvalitet. I tillegg ble det påpekt beregningsfeil og uriktig datagrunnlag. Det vises til rapporten for flere detaljer (Rønning og Tellnes, 2018).

Hensikten med å analysere byggeprosjekter ved bruk av LCA er ofte at man ønsker å identifisere den optimale kombinasjonen av ulike byggematerialer som gir lavest mulig total miljøpåvirkning for spesifikke bygg gjennom dets levetid. Derfor er tilgjengelig kunnskap om konstruksjoner, objektet som skal vurderes, en forutsetning for gode LCA-studier. LCA-studien må inkludere de tekniske og taktiske vurderinger av designet slik at en kan optimalisere bygget, også når det gjelder klimagassutslipp. Det er liten tvil om at kompetanse om bygningskonstruksjon er særs viktig for å utforme relevante LCA-studier. Hva som regnes som de mest miljøvennlige valgene avhenger både av konteksten for hvert enkelt bygg, og hvordan beregningene gjøres.

Med dette som bakteppe, ønsket Betongelementforeningen å få utført et klimagassregnskap av tre- og betongkonstruksjoner der en var spesielt opptatt av å sikre at konstruksjonene som ble sammenlignet tilfredsstilte samme funksjonskrav. Som det framkom i forprosjektet, er det ikke rett fram å si noe spesifikt om hvert enkelt materiale uten å være mer konkret i forhold til det gitte

prosjektet. Dette støttes av Asplan Viak som i artikkelen i bygg.no trekker fram følgende (Skullerud et al., 2017):

Vi ønsker å trekke debatten videre i retningen artikkelen på bygg.no også er inne på, nemlig at hva som regnes som de mest miljøvennlige valgene avhenger både av konteksten for hvert enkelt bygg, og hvordan beregningene gjøres.

Derfor ble det valgt å se på konstruksjoner der ulike byggehøyde og lokasjoner ble inkludert. For å sikre at konstruksjonene er sammenlignbare med samme funksjon, dimensjonert i hhv. til de krav som stilles og som representerer dagens praksis, ble Arcon Prosjekt AS engasjert til å utføre teoretiske beregninger av en kontorbygning i 4, 8 og 16 etasjer i hovedmaterialene tre og betong. Videre ble Østfoldforskning engasjert til å utføre klimagassberegninger basert på Arcons masseberegninger.

1.2 Formål og framgangsmåte

Formålet med denne studien er å utarbeide klimagassregnskap – basert på LCA-metodikk - for en kontorbygning med flate 50,4 x 15,9 m² i 4, 8 og 16 etasjer lokalisert enten i Kristiansand eller Trondheim. Beregningene omfatter to alternative hovedmaterialer:

- 1) prefabrikkerte betongkonstruksjoner og
- 2) trekonstruksjoner.

De teoretiske beregningene omfatter materialmengder for ekvivalente funksjoner (dekke, lyd, brann):

- Like arealer, like «universelt»
- Lydtiltak
- Branntiltak
- Lik kapasitet til å ta laster

Analysen omfatter ikke klimaskall og fasadesystem, ikke-bærende skillevegger (cellestruktur i kontorarealene, skillevegger etc.) og tekniske fag (ventilasjon, varme, sanitær og elektro) da dette ansees å være uavhengig av type bærende konstruksjon. Figur 1-1 viser en skisse av de to bærende konstruksjonene.



Figur 1-1 Illustrasjon av konstruksjonene i hovedmaterialene massivtre (venstre) og prefabrikkert betong (Høyre).

Det ble foretatt en tredjeparts verifisering av de teoretiske beregningene av Aas-Jakobsen Trondheim AS og endelig rapport ble revidert i forhold til kommentarer fra kontrollen. Rapporten fra Aas-Jakobsen er gitt i Vedlegg 1. I dette vedlegget vises det til hvilke dokumenter som er gjennomgått. Vi bekrefter at alle data gitt i de refererte dokumentene er gjengitt i denne rapport.

Klimagassberegningene ble gjennomført av Østfoldforskning. Klimagassregnskapet inkluderte klimagassutslipp knyttet til utvinning av primærressurser og produksjon av råvarer til henholdsvis tre- og betongkonstruksjonene og andre nødvendige byggematerialer som av stål, isolasjonsprodukter m.m., produksjon av disse materialene, samt utslipp knyttet til alle transportaktiviteter og oppføring av konstruksjonene¹. Konstruksjonene ble antatt plassert både i Trondheim og Kristiansand for å synliggjøre i hvilken grad transport til byggeplass bidrar til klimagassregnskapet for konstruksjonene.

Konstruksjonene med deres byggevarer er dimensjonert for like lang levetid, være vedlikeholdsfrie i levetiden og vil ikke påvirke andre driftsmessige forhold. Bruksfasen er derfor ikke inkludert i analysen (modul B). End-of-life (riving og avfallshåndtering) er heller ikke inkludert (modul C). Til dette var datagrunnlaget ufullstendig.

Datagrunnlag for beregninger av klimagassutslipp var miljødeklarasjoner (Environmental Product Declaration – EPD) for de ulike materialene som inngikk i konstruksjonene.

Klimagassberegningene ble utført i to faser der betongelementprodusentene bidro med data ved bruk av deres EPD-generator:

1. Fire betongelementprodusenter leverte EPDer for de produktene som ble spesifisert av Arcon Prosjekt (Block Berge Bygg, Contiga, Loe Betong, Spenncon). Basert på data fra disse fire produsentenes produkter ble det utviklet et gjennomsnitt for «typiske betongprodukter» der en nødvendigvis ikke har et miljøkrav til leveransen.
2. I fase to ble produsentene mer involvert i prosjektet og gjennom dialog om hvordan de kunne levere produkter med lavere klimagassutslipp ble det utarbeidet et optimalisert klimagassregnskap. Dette blir senere i rapporten omtalt som «miljøoptimaliserte» produkter.

Treprodusenter, ferdigbetongprodusenter og andre byggevareprodusenter bidro ikke direkte i prosjektet, kun ved at deres publiserte EPDer ble anvendt som datagrunnlag.

¹ Modulene A1-A5 er inkludert i klimagassberegningene.

2 Metode og forutsetninger

2.1 Spesifikasjon av bygningene

2.1.1 Generelt om objektet

Objektet i prosjektet er et kontorbygg med flate 50,4 x 15,9 m (801 m²) i 4, 8 og 16 etasjer. Etasjehøyden er satt til 3,3 m. Alternativene med 16 etasjer vil ha én kjelleretasje. Beregningene omfatter to alternative hovedmaterialer; prefabrikkerte betongkonstruksjoner og trekonstruksjoner.

Utgangspunktet for beregningene av naturlastene og seismiske laster er satt til Namsos kommune. Lastberegninger omfatter på egenvekt (omfatter teknisk inventar samt lydisolerende sjikt), vindlast, snølast, nyttelast, seismiske laster, skjevstilling og svinntøyninger.

For klimaregnskapet er det tatt utgangspunkt i to lokasjoner for kontorbygget; Trondheim og Kristiansand.

2.1.2 Seismikk

Seismiske parametere som danner grunnlaget for den seismiske påvirkningen har sitt opphav fra NS-EN 1998, tilnærmet Namsos kommune. Seismiske parametere er avhengig av hvor bygget settes opp. Dette gjelder også for naturlaster som snø og vind. Namsos ble valgt som følge av at kommunens lastbestemmelser ikke er så langt unna et gjennomsnitt for Norge både når det gjelder naturlaster og seismiske laster. Følgende grunnforholdsverdier ble brukt:

- Grunnforhold type B
- $S = 1,25$
- $T_B = 0,1 \text{ s}$
- $T_C = 0,3 \text{ s}$
- $T_D = 1,5 \text{ s}$
- $q = 1,5$
- $\xi = 0,05$
- $a_{g,40 \text{ Hz}} = 0,43 \text{ m/s}^2$

Utelatelseskriteriet for seismisk påvirkning, NS-EN 1998 punkt NA 3.2.1 (5), tillater å utelate seismikk for alternativene med 4 og 8 etasjer.

2.1.3 Brann

Det er ikke foretatt annen brannvurdering enn forskriftene gitt i TEK17; § 11.3 tabell 1 og § 11.4 tabell 1. Forskriftene vurderer konstruksjonen til å være i risikoklasse 2, uavhengig av antall etasjer, gitt at alle etasjer benyttes som kontorlokaler. Branndimensjonering av betong-alternativet vil være uproblematisk opp til R120. Derimot vil bygg av tre stille krav til dimensjonering og tiltak. Relevante utdrag fra forskriftene er gjengitt nedenfor i Tabell 2-1.

Tabell 2-1 Relevante utdrag fra forskriftene ang brannkrav.

Brann, risikoklasse 2			
	4 etasjer	8 etasjer	16 etasjer
Brannklasse	BKL 2	BKL 3	BKL 3
Ytelseskrav			
Hovedbæresystem	R60 [B60]	R90	R90
Sekundære, etasjeskiller og takkonstruksjoner	R60 [B60]	R60	R60
Brennbart	Ja	Nei	Nei

Det konkluderes med at for alternativet i tre vil det være tilstrekkelig å dimensjonere konstruksjonen med 4 etasjer ved å benytte en beregnet forkullingshastighet, og at for trekonstruksjonene med 8 og 16 etasjer kreves det tiltak. Forkullingsdybden for R60 (B60) er beregnet til 49 mm, og tverrsnitt for søyler og bjelker er kompensert for dette.

Foreslåtte tiltak er ($\geq R60$):

- Isolasjon: 12mm gips og 2 lag med 14mm branngips (Norsk Treteknisk Institutt, 2006). Dette vil innebære å kle fagverk, søyler, bjelker og undersiden av dekker i 3 lag med gips. En slik løsning må kle alle innvendige flater utenom overside dekke, og må tildekke henholdsvis 10000 m² og 20000 m² for 8 og 16 etasjer (krever 400 m³ = 420 tonn og 800 m³ = 840 tonn).
- Brannimpregnering, «Burnblock» eller tilsvarende. Burnblock er et impregneringsmiddel som forhindrer dyp forkulling. Dokumentasjon har blitt etterspurt ved flere anledninger. Så langt er det ikke mottatt tilstrekkelig dokumentasjon for å fastslå at BurnBlock eller tilsvarende behandling kan tilfredsstillende $\geq REI60$ (ubrennbar).

2.1.4 Akustikk

Byggene skal tilfredsstillende kravene som blir stilt for både lydreduksjonstall og trinnlydnivå. Samtlige konstruksjoner skal oppfylle kravene som stilles for lydklasse C etter NS 8175. Kravet til lydreduksjonstallet og trinnlydnivået er som følgende:

$$R_w \geq 48 \text{ dB,}$$

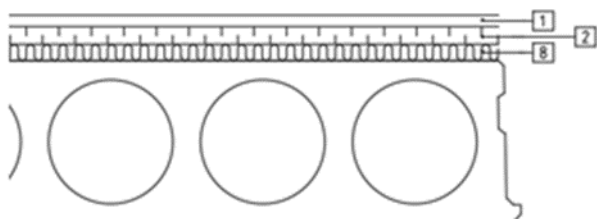
$$L_{n,w} \leq 58 \text{ dB.}$$

Kravet skal bli møtt med å isolere oversiden av dekkene. Foreslåtte tiltak for akustiske forhold skal brukes i alle etasjene utenom på taket. Det vil si at for 4,8 og 16 etasjer trengs det henholdsvis 3100 m², 6250 m² og 13500 m² med lydisolerende materiale.

For alternativene i betong vil kravene være tilfredsstillende ved å påføre materiale med de opplistede tykkelsene i Tabell 2-2 over hulldekkene (HD200) (Type 8 i «Tabell E 10.1 i Betongelementboken bind E»). Figur 2-1 viser en illustrasjon av den foreslåtte løsningen.

Tabell 2-2 Foreslått lydisolerende tiltak til betongkonstruksjonene.

Materiale	Tykkelse	R_w	$L_{n,w}$
1 - Parkett	14 mm	56 dB	55 dB
2 - Gulvspon	22 mm		
8 - Mineralull	20 mm		
Sum tykkelse	56 mm		



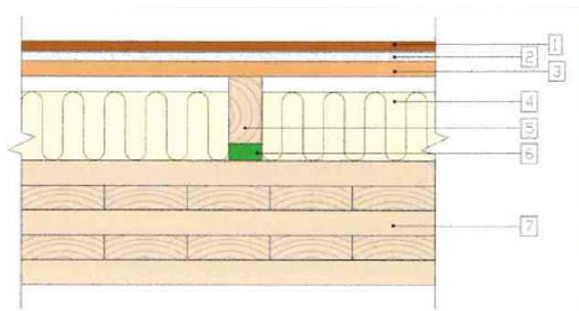
Figur 2-1 Illustrasjon av foreslått løsning for betongkonstruksjon

Det gjøres oppmerksom på at Figur 2-1 også illustrerer hulldekelement HD200, men som ikke er inkludert i «Sum tykkelse» i Tabell 2-2.

Den presenterte løsningen for trekonstruksjonene er den løsningen i oppslagsverkene som er mest nærliggende for dette bygget. Trekonstruksjonene i den analyserte løsningen må ha et dekke med 280 mm tykkelse, som er 100 mm tykkere enn det som er utgangspunktet i løsningen beskrevet under. Trekonstruksjonene krever et sjikt med langt høyere total tykkelse enn betongkonstruksjonene, og foreslått løsning er presentert Tabell 2-3, og illustrert i Figur 2-2.

Tabell 2-3 Foreslått lydisolerende tiltak til trekonstruksjonene.

Materiale	Tykkelse	R_w	$L_{n,w}$
1 - Parkett på parkettunderlag	14 mm	60 dB	54 dB
2 - Gulvgips	13 mm		
3 - Sponplate	22 mm		
4 - Isolasjon Glava 36	100 mm		
5 - Tilfarer	48x98 mm		
6 - Elastisk underlag; Sylomer grønn c/c 1200mm	40 x 25x 450 mm		
7 - Massivtre, Krysslaminert	180 mm		
Sum tykkelse	352 mm		



Figur 2-2 Illustrasjon av foreslått løsning for trekonstruksjon (Treteknisk, 2016 s.16).

2.1.5 Deformasjoner i topp

Ved bruksgrensetilstand under vindbelastning vil forslagene ha karakteriske deformasjoner i toppetasje som presentert i Tabell 6.1. Fra tabellen fremkommer det at valgt løsning vil gi noen utfordringer i henhold til deformasjoner. En løsning her vil være å snu bærevirkingen på dekkene slik at man får overført større egenlasten i fagverk/stabiliserende vegger – uten at dette medfører store endringer i masser.

Tabell 2-4 Utbøyning i mm.

Utbøyning i karakteristisk bruksgrensetilstand, vindbelastning. Alle mål i mm.				
Antall etasjer	Betong	H / x	Tre	H/x
4	17,6	750	25	530
8	33,7	780	104	250
16	158	335	330	160

2.1.6 Fundament

Følgende beregninger for fundamenter forutsetter at alle fundamentene har betongkvaliteten B35, ligger i et fuktig miljø, og er plassert under bakkenivå. Videre er det lagt til grunn at konstruksjonene med 16 etasjer har én kjelleretasje, 8 etasjes-byggene har dyp fundamentering med en ringmur på 2,5 m høyde, og konstruksjonene med 4 etasjer har i utgangspunktet grunn fundamentering. Siste antakelse er at jordtypen er fast naturlig sand for 4 etasjer, og fast naturlig grus for 8 og 16 etasjer. Jordtypen stemmer overens med grunntype B (se overskrift 2.1.2 om seismikk).

Kjelleretasjen skal ha gulv på grunn, 100 mm betong, og skal ha kontinuerlig betongvegg langs randen med vanlig etasjehøyde (3,3 m). Veggene og fundamentene skal ha 200 mm isolasjon på utsiden, være plassert under bakken (dyp fundamentering). Alle alternativene skal beskytte fundamentene med 200 mm isolasjon.

Fundamentkonfigurasjonen for betongalternativene vil være simpel, og bestå av ringmur rundt randen med varierende bredde, og punktfundamenter under de seks søylene innenfor ringmuren. Begge forslagene med 16 etasjer har en utfordring knyttet til fundamentet ved at de begge har

veldig store løftekrefter i hjørnene. Dette er foreslått løst med å støpe en stor plate rundt og under kjellerveggene. Alternativt kan kreftene forankres med peler.

Tabell 2-5 Nødvendige fundamentmasser. Størrelser i m3.

	Løftekraft i hjørner	Punkt- fundament	Ringmur / kjellervegg	Plater	Volum
Betong 4 etg	453 kN	12	54	-	66
Betong 8 etg	738 kN	14	128	-	142
Betong 16 etg	4325 kN	34	150	316	500
Tre 4 etg	-	12	33	-	45
Tre 8 etg	-	7	90	-	97
Tre 16 etg	7190 kN	9	155	780	944

2.1.7 Betongkonstruksjoner

Konstruksjonen har samme enkle struktur i alle etasje-utgaver, og består av en repeterende struktur oppover etasjene. Bæresystemet vil bestå av fire elementer: hulldekker, bjelker, søyler og veggskiver. Valgte planløsning er basert på tidligere prosjekt hvor Arcon Prosjekt AS sammenlignet 2 søyleakser mot 3 og konkluderte med at 3 søyleakser var mest gunstig.

Grunnflaten vil bestå av $3 \times 8 = 24$ søyler, henholdsvis langs med bredden og lengden. Bjelkene vil gå parallelt med lengderetningen, og vil ha lavprofilbjelker i midtaksen og LB-tverrsnitt i ytteraksene. Bjelkene skal bære hulldekker, og vil også være viktige for å føre horisontale krefter inn til skivene. Fire vertikale skiver vil bli plassert på hver sin vegg, og må bli forankret på en slik måte at den blir momentstivt innspent i bunnen.

Forhåndsdimensjoneringen har blitt utført ved hjelp av «Betongelementboken bind A», hvor retningslinjene for hulldekker, bjelker og søyletverrsnitt er oppgitt. For alle tilfellene er HD200 valgt som hulldekke ved hjelp av Figur A 4.2, LFB 600x200 er valgt som bjelke i midtakse ved hjelp av Figur A 4.35, og LB 300x500 er valgt i ytterakse ved hjelp av Figur A 4.34. Søyletverrsnittene ble på lik måte forhåndsdimensjonert ved hjelp av Tabell A 4.21.

Det må her presiseres at følgende løsning er basert på konstruksjonens analyselinjer, og at i foreslått løsning er ikke knutepunkt og armeringsmengder nøyaktig dimensjonert, men skal gi en god indikasjon på nødvendige mengder av tilleggsstål. Analysen har i sin helhet blitt verifisert med programmene FEM-Design², Focus Konstruksjon³ og programvare fra Sletten Byggdata AS opp mot NS-EN.

For alle tre foreslåtte konstruksjonene, vil bjelketverrsnitt og hulldekkprofil være gjentakende. Derfor vil søyler, veggskiver og armering ha et større fokus i følgende rapportering.

Hulldekkene og bjelkene vil ha samme dimensjoner og armering i alle etasjeutgaver, og relevante masser er gitt i Tabell 2-6.

² FEM-Design 3D Structure 17, StruSoft

³ Focus Konstruksjon 2019, Focus Software AS

Tabell 2-6 Dimensjoner og armering i forspente betongelementer

	Dimensjon		Slakkarmering	Spennarmering	Bøylearmering
Hulldekker	HD200	B45	-	5 spenntau	-
Ytterbjelker	LB 300x500	B45	4ø16	5 spenntau	39 ø6/210
Midtbjelker	LFB 600x200	B45	3ø16	20 spenntau	60 ø8/120
Gjennomgående stålarmering i fuger				2ø16 + 1ø20	
Samlet stålmengde pr etasje (uten søyler)				5545 kg pr etasje	

Tabell 2-7 til Tabell 2-9 viser søyledimensjoner og nødvendige størrelser på det vertikale skivene. Vær oppmerksom på at søylenes dimensjon kan bli styrt av andre forhold enn ren søylekapasitet, eksempelvis spalttestrekkrefter i topp og bunn av søylene/oppleggslengde for bjelker.

Betongkonstruksjon 4 etg:

Valgte søyler er høyt utnyttet, og armeringsmengdene har en enkel og konstant armeringskonfigurasjon langs søylens lengde.

Tabell 2-7 Valgte tverrsnitt og betongkvalitet, 4 etasjer

Plassering	Dimensjon		Slakkarmering	Bøylearmering
4 etg	200x200	B30	4ø16	19 Ø8/180
4 etg midtakse	200x200	B45	4ø16	14 Ø8/240
3 etg	200x200	B45	4ø16	20 Ø10/170
3 etg midtakse	250x250	B45	4ø20	14 Ø12/240
1-2 etg	275x275	B45	4ø20	16 Ø10/210
1-2 etg midtakse	325x325	B45	4ø25	16 Ø10/210
Skive i langvegg	3,6 x 13,2 x 0,200	B30	6,5 kg stål/m ²	
Skrive i kortvegg	4,0 x 13,2 x 0,200	B30	7,3 kg stål /m ²	

Betongkonstruksjon 8 etg:

Valgte søyler er høyt utnyttet, og armeringsmengdene har en enkel og konstant armeringskonfigurasjon langs søylens lengde.

Tabell 2-8 Valgte tverrsnitt og betongkvalitet, 8 etasjer

Plassering	Dimensjon	Slakkarmering		Bøylearmering
8 etg	200x200	B45	4ø16	20 Ø10/170
8 etg midtakse	200x200	B45	4ø16	20 Ø10/170
5-7 etg	250x250	B45	4ø16	14 Ø10/240
5-7 etg midtakse	375x375	B45	4ø20	13 Ø10/270
3-4 etg	325x325	B40	4ø16	14 Ø12/240
3-4 etg midtakse	425x425	B40	4ø25	17 Ø12/200
1-2 etg	325x325	B45	4ø20	13 Ø10/270
1-2 etg midtakse	425x425	B45	4ø32	10 Ø10/330
Skive i langvegg	7,2 x 26,4 x 0,200	B30	6,5 kg stål/m ²	
Skrive i kortvegg	8,0 x 26,4 x 0,200	B30	7,3 kg stål /m ²	

Betongkonstruksjon 16 etg:

Valgte søyler er høyt utnyttet, og armeringsmengdene har en enkel og konstant armeringskonfigurasjon langs søylens lengde.

Tabell 2-9 Valgte tverrsnitt og betongkvalitet, 16 etasjer

Plassering	Dimensjon	Slakkarmering		Bøylearmering
16 etg	225x225	B30	4ø16	17 ø10/200
16 etg midtakse	375x375	B30	4ø16	18 ø10/190
15 etg	250x250	B30	4ø20	15 ø10/220
15 etg midtakse	425x425	B30	4ø20	13 ø10/270
13-14 etg	300x300	B30	4ø20	15 ø10/220
13-14 etg midtakse	425x425	B30	4ø20	13 ø10/270
9-12 etg	375x375	B30	4ø20	13 ø12/270
9-12 etg midtakse	600x600	B35	4ø20	17 ø10/200
5-8 etg	475x475	B35	8ø16	16 ø10/210
5-8 etg midtakse	625x625	B40	8ø16	14 ø10/240
1-4 etg	525x525	B40	8ø25	10 ø12/330
1-4 etg midtakse	625x625	B45	4ø32	15 ø10/220
Skive i langvegg	7,2 x 52,8 x 0,250	B30	6,5 kg stål/m ²	
Skrive i kortvegg	12,0 x 52,8 x 0,200	B30	7,5 kg stål /m ²	

Betongparametere:

Kryp (S | U) = 2,0 | 1,0

Svinn = 0,2 ‰

2.1.8 Trekonstruksjon

Konstruksjonen har samme enkle struktur i alle etasjeutgaver, og består av en repeterende struktur oppover etasjene. Bæresystemet vil bestå av fire elementer: dekker, bjelker, søyler og stav-

fagverk. Valgte planløsning er basert på tidligere prosjekt hvor Arcon Prosjekt AS sammenlignet to søyleakser mot tre og konkluderte med at tre søyleakser var mest gunstig.

Grunnflaten vil bestå av $3 \times 8 = 24$ søyler, henholdsvis i bredde- og lengderetningen. Bjelkene vil gå parallelt med lengderetningen. Bjelkene skal bære dekkene, og vil også være viktige for å føre horisontale krefter inn til fagverk. Fire vertikale fagverk vil bli plassert på hver sin vegg, og vil på kortveggene kreve to ekstra søyler.

Det er tatt utgangspunkt i føringer anbefalt av eksterne aktører. Bjelke dimensjonene er forhåndsdimensjonert etter anbefalinger fra Byggforskserien «520.222 Bjelker av tre. Dimensjonering», og dekk dimensjonene som er valgt er de som er anbefalt av håndboken «Bygg med Massivtreelementer – Hefte 3 Dimensjonering» (Norsk Treteknisk Institutt, 2006a).

Etasjeskillene/dekkene er valgt til å være rektangulære treplater som spenner 7,95 m, med en bredde på 1,2 m, og en tykkelse $t = 280$ mm. Fasthetsklassen på dekkene er C24. Bjelketverrsnittene er faste for alle etasjer og etasjeantall, foruten om ytterbjelkene i trekonstruksjonen med 4 etasjer. Alle bjelkene har fasthetsklassen GL32c, og dimensjonene er som gitt i Tabell 8.1. Løsningen (bjelker og dekker) er gjentagende i alle etasjer og utgaver, og legg merke til at det er plassert to bjelker i midtakse. Søyledimensjonene når uvanlig høye dimensjoner, og Moelven bekrefter at for store tverrsnitt opp til 600x600 er GL32c den høyeste kvaliteten som kan produseres.

Det forutsettes at alle søyleopplegg er på 250 mm eller mer.

Tabell 2-10 Valgte bjelke- og dekkedimensjoner

	Dimensjoner	Fasthet
Dekke, t = 280 mm	7,2 x 1,2 x 0,280	C24
Bjelker i ytterakse	540 x 215	GL32c
For 4 etasjer:	552 x 215	GL32c
Bjelker i midtakse	2x 540x215	GL32c
Gjennomgående stålarmering i langvegg		Flattstål 15x60

Se kap. 2.2.6 for beskrivelse av stål i knutepunkter.

Trekonstruksjon 4 etg:

Tabell 8.2 presenterer valgte tverrsnitt for søyler og fagverk. Valgte søyledimensjoner er høyt utnyttet, og den totale utnyttelsesgraden ligger rundt 80 %. Legg merke til at bjelkene i ytteraksen på dette alternativet har dimensjonene 552 x 215.

Tabell 2-11 Valgte tverrsnitt og fasthetsklasser, 4 etasjer.

4 etg	200x200	GL30c
4 etg midtakse	215x215	GL32c
3 etg	215x215	GL30c
3 etg midtakse	250x250	GL32c
2 etg	230x230	GL30c
2 etg midtakse	280x280	GL32c
1 etg	250x250	GL30c
1 etg midtakse	325x325	GL32c
Fagverk langvegg 3-4 etg	165x180	GL32c
Fagverk langvegg 1-2 etg	165x315	GL32c
Fagverk kortvegg 1-4 etg	215x270	GL32c

Trekonstruksjon 8 etg:

Tabell 8.3 presenterer valgte tverrsnitt for søyler og fagverk. Valgte søyledimensjoner er høyt utnyttet, og den totale utnyttelsesgraden ligger rundt 90 %.

Tabell 2-12 Valgte tverrsnitt og fastheter, 8 etasjer.

Plassering	Dimensjon	Fasthet
7-8 etg	165x180	GL30c
7-8 etg midtakse	225x225	GL32c
5-6 etg	200x200	GL32c
5-6 etg midtakse	325x325	GL32c
3-4 etg	260x260	GL32c
3-4 etg midtakse	400x400	GL32c
1-2 etg	325x325	GL32c
1-2 etg midtakse	475x475	GL32c
Fagverk langvegg 6-8 etg	200x200	GL32c
Fagverk langvegg 4-5 etg	210x210	GL32c
Fagverk langvegg 1-3 etg	250x250	GL32c
Fagverk kortvegg 6-8 etg	210x210	GL32c
Fagverk kortvegg 4-5 etg	225x225	GL32c
Fagverk kortvegg 1-3 etg	300x300	GL32c

Trekonstruksjon 16 etg:

Tabell 8.4 presenterer valgte tverrsnitt for søyler og fagverk. Valgte søyledimensjoner er høyt utnyttet, og den totale utnyttelsesgraden ligger rundt 85 %.

Tabell 2-13 Valgte dimensjoner og fastheter, 16 etasjer.

Plassering	Dimensjon	Fasthet
13-16 etg	225x225	GL32c
16 etg	180x180	GL32c
15 etg	225x225	GL32c
13-14 etg midtakse	310x310	GL32c
12 etg	350x350	GL32c
12 etg midtakse	350x350	GL32c
8-11 etg	300x300	GL32c
8-11 etg midtakse	475x475	GL32c
6-7 etg midtakse	500x500	GL32c
4-7 etg	350x350	GL32c
4-5 etg midtakse	550x550	GL32c
2-3 etg midtakse	600x600	GL32c
1-3 etg	425x425	GL32c
1 etg midtakse	630x630	GL32c
Fagverk LV 13-16 etg	180x180	GL32c
Fagverk LV 8-12 etg	225x225	GL32c
Fagverk LV 4-7 etg	250x250	GL32c
Fagverk LV 1-3 etg	280x280	GL32c
Fagverk KV 13-16 etg	250x250	GL32c
Fagverk KV midt 13-16 etg	225x225	GL32c
Fagverk KV 9-12 etg	280x280	GL32c
Fagverk KV midt 9-12 etg	300x300	GL32c
Fagverk KV midt 5-8 etg	325x325	GL32c
Fagverk KV 3-8 etg	400x400	GL32c
Fagverk KV midt 3-4 etg	350x350	GL32c
Fagverk KV 1-2 etg	475x475	GL32c
Fagverk KV midt 1-2 etg	225x225	GL32c

Her har alle elementer fasthetsklasse GL32c.

2.2 Materialmengder

2.2.1 Betongkonstruksjoner

Tabell 2-14 Masseoversikter for betongalternativene. Totale mengder betong over marknivå. Total tyngde inkluderer både slakk- og spennarmering.

Betongkonstruksjon							
Betong				Armering			
Etasjer	Veggskive [m ³]	Totalt volum [m ³]	Volum/etg [m ³]	Total tyngde [t]	Tyngde/etg [t]	Slakkarmering totalt [t]	Spennetau totalt [t]
4	40,1	480	120	27,32	6,83	13,04	14,28
8	160,5	1051	131,4	70,98	8,87	42,41	28,57
16	507	2408	150,5	155,55	9,72	98,41	57,14

Detaljert mengdebeskrivelse for betongkonstruksjonene er gitt i Vedlegg 2.

2.2.2 Trekonstruksjon

Tabell 2-15 Masseoversikter for trevirkealternativene. Totale mengder over marknivå, samt totalt tyngden av flattstålet.

Massivtrekonstruksjon			
Etasjer	Totalt volum [m ³]	Volum/etg [m ³]	Tyngde flattstål [t]
4	945,9	236,5	2,85
8	1916,8	239,6	5,70
16	4049,9	253,1	11,4

Detaljert mengdebeskrivelse for trekonstruksjonene er gitt i Vedlegg 3.

2.2.3 Materialer til fundament

Tabell 2-5 viser nødvendige mengder betong og armering til fundamentering for begge konstruksjonstypene og byggehøyder.

2.2.4 Materialer til branniltak i trekonstruksjonene

Vi har forutsatt at bæresystemet er dekket med gipsplater, og det vil da si etasjeskillere, bjelker, søyler og fagverk, se kap. 2.1.3. Dette mengdeanslaget er basert på det omtrentlige arealet av alle innvendige flater utenom overside gulv/dekke. Branngips utgjør 28/40 av oppgitte mengder.

Tabell 2-16 Mengder branngips i trekonstruksjoner på 8 og 16 etasjer

	Volum	Vekt
	[m ³]	[tonn]
8 etg.	400	420
16 etg.	831	872

2.2.5 Materialer til lydisolasjon i etasjeskiller for tre- og betongkonstruksjonene

Alle følgende tall baserer seg på data og prinsippene gitt i kap. 2.1.4. Mengdene er bestemt ved å regne ut volum/etg., og deretter ganget opp med antall etasjer. Legg merke til at alternativene med 16 etasjer vil ha én kjelleretasje, som vil tilføre ett ekstra etasjeskille hvor det skal brukes lydisolasjon.

Tabell 2-17 Materialer til lydisolasjon i etasjeskiller i trekonstruksjon og betongkonstruksjon (Alle størrelser er i volum [m³])

Materialer til lydisolasjon			
Massivtrekonstruksjon			
	4 etg	8 etg	16 etg
Elastisk underlag	1,474	3,440	7,862
Tilfarere	18,49	43,15	98,63
Isolasjon (Glava 36)	221,5	516,9	1182
Sponplate	52,89	123,4	282,1
Gulvgips	31,25	72,92	166,7
Parkett	33,66	78,53	179,5
Betongkonstruksjon			
	4 etg	8 etg	16 etg
Mineralull	48,08	112,2	256,4
Gulvspon	52,89	123,4	282,1
Parkett	33,66	78,53	179,5

Gulvspon og sponplate samt parkett er antatt å være like produkter i like mengder og er derfor utelatt i beregningene.

2.2.6 Stål

Stålmengdene er differensiert etter bruk og stålqualität. Det forutsettes følgende stålqualitäteter:

Armeringsqualität: B500C,
 Spennstauqualität: Bruddfasthet = 1860 MPa,
 Flattjern: S355.

For begge materialene må dekkene bli festet til bjelkene, bjelkene til søylene, og søylene til hverandre. Det som skiller de to materialene er knutepunkt som kommer fra fagverk, og massivtreelementene vil mate horisontale krefter også direkte inn i veggene/søylene. Søyle/søyleforbindelsene for betong vil bli utført ved å forlengte lenggearmeringen i søylene, mens det for massivtre trengs en løsning med stålplater og bolter.

For massivtrekonstruksjonen er det antatt at forbindelsene er utformet med «Y-formede» plater på hver side av forbindelsen, med opptil ti bolter på hver komponent. Beregningene er basert på de opptredende kreftene i annenhver etasje (1., 3., osv.), og det er antatt at fagverkene er bygget opp på en slik måte at en av stavene er kontinuerlig og den andre er skjøtet i punktet hvor de krysses.

Resultatet fra knutepunktsberegningene er gitt i Tabell 2-18. Tabellen skiller mellom stålqualität, men vil ikke differensiere mellom typen knutepunkt. Det presiseres at det ikke skal brukes samme typen stål i knutepunktene; betongalternativene vil kunne bruke stål av lavere kvalitet.

Tabell 2-18 Mengdeoversikt av stål i knutepunkter. Alle mål i m³

Volum [m ³]	Massivtrekonstruksjon		Betongkonstruksjon	
	S355 stål	8.8 stål	S355	4.8 stål
4 etg	0,376	0,419	0,081	0,264
8 etg	1,077	1,174	0,161	0,528
16 etg	4,833	5,338	0,323	1,056

Tabell 2-19 viser nødvendige armeringsmengder for alle konstruksjonstypene.

Tabell 2-19 Armeringsmengder i fundament

Armering under bakkenivå, 100 kg stål / m ³ betong				
Betongkonstruksjon	Armering [t]	Spennarmering [t]	Trekonstruksjon	Armering [t]
Betong 4 etg	18,7	0	Tre 4 etg	16,6
Betong 8 etg	26,3	0	Tre 8 etg	21,8
Betong 16 etg	78,2	3,6	Tre 16 etg	105,6

2.3 Datagrunnlag for klimagassutslipp for byggevarer

2.3.1 EPD som datagrunnlag

Datagrunnlaget for klimagassutslipp i denne studien er hentet fra EPDer (Environmental Product Declaration) for de ulike produktene. I noen tilfeller, der det ikke ble funnet EPD på nøyaktig det samme produktet, er det brukt EPD for tilsvarende produkter. For betongproduktene i studien ble EPD-generator for betongelementer⁴ brukt for å utvikle prosjektspesifikke EPDer for dette prosjektet. Deretter er det beregnet et gjennomsnitt for de ulike betongproduktene som inngår. Det presiseres at det for armerte betongprodukter vil EPDer vanligvis inkludere utslipp knyttet til

⁴ <https://lca.no/en/epd-verktoy/>

framstilling og transport av armering. I denne studien er betong- og armeringsmengder beregnet hver for seg. Dermed er det benyttet separate EPDer for betongprodukter (uten armering) og armeringsprodukter.

Biogent karbon som er bundet og lagret i trebaserte produkter, skal i utgangspunktet rapporteres i den modulen (A–C) der bindingen skjer, eller der utslipp av lagret karbon skjer⁵. Siden denne studien ikke inkluderer sluttbehandling av byggene, er det benyttet prinsippet om umiddelbar oksidasjon av biogent karbon for treproduktene. Det innebærer at karbonopptaket i A1 kompenseres med utslippet av lagret biogent karbon ved forbrenning i C3. Det presiseres at summen av utslipp blir likt i begge tilfeller (karbonnøytral), der forskjellen ligger i tidspunktet for opptak og utslipp (Tellnes & Hundhausen, 2016).

I henhold til NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger skal karbon som opptas i produkter, slik som ved karbonatisering av sementbaserte produkter, inkluderes i beregningene. Siden denne studien ikke inkluderer avhending av produktene, er ikke karbonopptak ved karbonatisering tatt hensyn til.

For de fleste produktene er transportdata i EPDene (transport fra produksjonssted til byggeplass – A4) blitt endret for å få et mer riktig verdier for klimagassutslipp knyttet til transport. Vanligvis er utslipp knyttet til A4 beregnet med utgangspunkt i en gjennomsnittsavstand fra produksjonssted til en typisk byggeplass i Norge, eller til en bestemt destinasjon som for eksempel Oslo. Dette gjør at forutsetninger for A4 vil variere og verdiene i EPD ikke kan anvendes direkte. I denne studien ble avstanden endret til hhv. Kristiansand og Trondheim, slik at transportdata er representative for de aktuelle scenariene. Utslippsdata ble beregnet på bakgrunn av samme type transportmiddel av relevant størrelse som oppgitt i EPD. I våre transportberegninger medregnes også infrastruktur knyttet til transporten som nødvendigvis ikke er tilfelle for alle A4-moduler i EPD.

I de neste avsnittene presenteres EPDene som er blitt brukt for de ulike produktene, samt klimagassekvivalenter for modulene A1-A3, A4 og A5 for alle produkter.

2.3.2 Betongkonstruksjon

Tabell 2-20 viser klimagassutslipp for de materialene som inngår i betongkonstruksjonene og hvilke EPDer som disse data er hentet fra. Forskjellene mellom Kristiansand og Trondheim skyldes at det både er ulike produksjonssteder som legges til grunn for gjennomsnittet og ulike transportavstander.

⁵ I henhold til produktkategoriregler angitt i NS-EN 16485.

Tabell 2-20 Utslipp av klimagasser fra materialene (A1-A5) for byggevarer som inngår i betongkonstruksjonene.

Kristiansand	Datakilde	Enhet	A1-A3	A4	A5
B45 Søyle-bjelke	Gjennomsnitt fra 4 produsenter	kg CO ₂ e / tonn	1,21E+02	3,29E+01	2,31E+00
B35/B45 Vegg	Gjennomsnitt fra 4 produsenter	kg CO ₂ e / tonn	1,14E+02	2,39E+01	3,88E+00
B45 Hulldekke	Gjennomsnitt fra 4 produsenter	kg CO ₂ e / tonn	9,98E+01	1,90E+01	1,21E+00
B35/M45 Ferdigbetong Fundament	Velde betong NEPD-332-216-NO	kg CO ₂ e / tonn	9,71E+01	8,36E+00	*
Nettarmering	NEPD-347-238-EN	kg CO ₂ e / kg	3,31E-01	1,89E-03	**
Slakkarmering	NEPD-326-206-EN og Celsa	kg CO ₂ e / kg	6,41E-01	1,83E-02	***
Spennarmering	FN-steel Hjulsbro (environdec.com) og NEPD-458-296-EN	kg CO ₂ e / kg	1,56E+00	1,83E-02	***
Stålplater (S355)	NEPD-402-281-EN	kg CO ₂ e / kg	2,20E+00	1,55E-02	2,54E-03
Stålbolter (Stål 8.8)	NEPD-402-281-EN	kg CO ₂ e / kg	2,20E+00	1,55E-02	2,54E-03
Isolasjon etasjeskiller	NEPD-00131E_rev1_ROCKWOOL	kg CO ₂ e / m ²	1,27E+00	4,57E-02	**

Trondheim	Datakilde	Enhet	A1-A3	A4	A5
B45 Søyle-bjelke	Gjennomsnitt fra 4 produsenter	kg CO ₂ e / tonn	1,17E+02	1,39E+01	2,31E+00
B35/B45 Vegg	Gjennomsnitt fra 4 produsenter	kg CO ₂ e / tonn	1,10E+02	1,39E+01	3,88E+00
B45 Hulldekke	Gjennomsnitt fra 4 produsenter	kg CO ₂ e / tonn	1,08E+02	1,39E+01	1,22E+00
Ferdigbetong Fundament	Velde betong NEPD-332-216-NO	kg CO ₂ e / tonn	9,71E+01	8,36E+00	*
Nettarmering	NEPD-347-238-EN	kg CO ₂ e / kg	3,31E-01	4,13E-02	**
Slakkarmering	NEPD-326-206-EN og Celsa	kg CO ₂ e / kg	4,79E-01	1,35E-02	***
Spennarmering	FN-steel Hjulsbro (environdec.com) og NEPD-458-296-EN	kg CO ₂ e / kg	1,04E+00	1,35E-02	***
Stålplater (S355)	NEPD-402-281-EN	kg CO ₂ e / kg	2,20E+00	2,61E-02	2,54E-03
Stålbolter (Stål 8.8)	NEPD-402-281-EN	kg CO ₂ e / kg	2,20E+00	2,61E-02	2,54E-03
Isolasjon (stenu) etasjeskiller	NEPD-00131E_rev1_ROCKWOOL	kg CO ₂ e / m ²	1,27E+00	8,97E-04	**

* Det er brukt EPD-data fra Velde betong og justert transport i A4 og antatt at fabrikken ligger 50 km fra hhv. Trondheim og Kristiansand. Det har ikke lyktes å skaffe data for utstøping av ferdigbetong på A5 byggeplass.

** Det har ikke lyktes å skaffe data for utstøping av utlegging av nettarmering eller stenu på A5 byggeplass.

*** Utslipp knyttet til A5 for armering er inkludert i de respektive betongproduktenes A5 data.

I prosjektets andre fase ble betongelementprodusentene utfordret til å bidra med miljødata (EPD) for produkter med et lavest mulig klimafotavtrykk som de i dag kan levere på markedet. Det var tre produsenter som leverte oppdaterte data (Block Berge Bygg, Contiga og Spenncon). Det viste seg at alle tre produsentene hadde levert EPDer for de fleste miljøoptimale produktene når det gjaldt søyler og bjelker. For vegger og hulldekker ble det foretatt optimalisering av produktene med hensyn på å redusere klimagassutslippene. En interessant observasjon var at det var mulig å

produsere med lavere klimagassutslipp på noen av fabrikkene, men på grunn av transportavstandene ville transportutslippene spise opp gevinsten ved å leveres fra enkelte fabrikker. Viser til kap. 4 der produsentene har gitt innspill til ytterligere forbedringsstrategier.

Tabell 2-21 viser mengde klimagassutslipp fra søyler, bjelker og hulldekker (A1-A5) fra 3 produsenter der en har anvendt lavkarbonbetonger o.l. tiltak for å optimalisere produktene til bruk i betongkonstruksjonene.

Tabell 2-21 Utslipp av klimagasser fra søyler, bjelker og hulldekker (A1-A5) fra 3 produsenter der en har anvendt lavkarbonbetonger o.l. tiltak for å optimalisere produktene til bruk i betongkonstruksjonene.

Kristiansand	Datakilde	Enhet	A1-A3	A4	A5
B45 Søy-le-bjelke	Gjennomsnitt fra 3 produsenter	kg CO _{2e} / tonn	1,21E+02	3,29E+01	2,20E+00
B35/B45 Vegg	Gjennomsnitt fra 3 produsenter	kg CO _{2e} / tonn	1,08E+02	2,33E+01	2,43E+00
B45 Hulldekke	Gjennomsnitt fra 3 produsenter	kg CO _{2e} / tonn	8,62E+01	2,25E+01	1,30E+00

Trondheim	Datakilde	Enhet	A1-A3	A4	A5
B45 Søy-le-bjelke	Gjennomsnitt fra 3 produsenter	kg CO _{2e} / tonn	1,17E+02	3,57E+00	2,20E+00
B35/B45 Vegg	Gjennomsnitt fra 3 produsenter	kg CO _{2e} / tonn	1,03E+02	3,57E+00	2,43E+00
B45 Hulldekke	Gjennomsnitt fra 3 produsenter	kg CO _{2e} / tonn	9,93E+01	1,71E+01	1,32E+00

Tabell 2-22 viser klimagassutslipp for søyler, bjelker og hulldekker fra den produsenten som leverer produkter med lavest samlet verdi inkl. transport til byggeplass (A1-A5).

Tabell 2-22 Utslipp av klimagasser fra materialene (A1-A5) for byggevarer som inngår i trekonstruksjonene.

Kristiansand	Datakilde	Enhet	A1-A3	A4	A5
B45 Søy-le-bjelke	En produsents EPD	kg CO _{2e} / tonn	9,57E+01	2,06E+01	1,11E+00
B35/B45 Vegg	En produsents EPD	kg CO _{2e} / tonn	9,58E+01	1,78E+01	1,11E+00
B45 Hulldekke	En produsents EPD	kg CO _{2e} / tonn	7,17E+01	1,78E+01	1,11E+00

Trondheim	Datakilde	Enhet	A1-A3	A4	A5
B45 Søy-le-bjelke	En produsents EPD	kg CO _{2e} / tonn	9,78E+01	7,70E+00	3,30E+00
B35/B45 Vegg	En produsents EPD	kg CO _{2e} / tonn	9,19E+01	7,70E+00	3,76E+00
B45 Hulldekke	En produsents EPD	kg CO _{2e} / tonn	9,17E+01	1,10E-02	1,32E+00

2.3.3 Trekonstruksjon

Tabell 2-23 viser mengde klimagassutslipp for de materialene som inngår i trekonstruksjonene og hvilke EPDer som disse data er hentet fra.

Tabell 2-23 Utslipp av klimagasser fra materialene (A1-A5) for byggevarer som inngår i trekonstruksjonene.

Kristiansand	Datakilde	Enhet	A1-A3	A4	A5
GL 30c/32c Søyle/bjelke/fagverk	NEPD-1577-605	kg CO ₂ e / m ³	7,15E+01	1,59E+01	8,68E-03
C24 Plate	NEPD-345-236-NO	kg CO ₂ e / m ³	4,56E+01	4,68E+01	
B35/M45 Ferdigbetong Fundament	Velde betong NEPD-332-216-NO	kg CO ₂ e / tonn	9,71E+01	8,36E+00	*
Nettarmering	NEPD-347-238-EN	kg CO ₂ e / kg	3,31E-01	1,89E-03	**
Flattstål 15*60 Stålplater (S355) Stålbolter (Stål 8.8)	NEPD-402-281-EN	kg CO ₂ e / kg	2,20E+00	1,55E-02	2,54E-03
Gulvgips	NEPD-110-177-EN	kg CO ₂ e / m ²	3,10E+00	4,31E-01	1,20E-05
Isolasjon Glava 36	NEPD-1696-683	kg CO ₂ e / m ²	4,30E-01	1,60E-02	3,83E-02
Tilfarer	NEPD-308-179	kg CO ₂ e / m ³	5,30E+01	1,14E+01	4,01E+00
Elastisk underlag; Sylomer grønn c/c 1200mm ***	NEPD-207-260-NO	kg CO ₂ e / m ²	1,07E+00	9,99E-02	1,30E-01
Branngips	NEPD-1264-406-EN	kg CO ₂ e / m ²	2,60E+00	6,13E-01	2,50E-01
Gipsplater	NEPD-1260-406-EN	kg CO ₂ e / m ²	1,70E+00	3,86E-01	1,90E-01

Trondheim	Datakilde	Enhet	A1-A3	A4	A5
GL 30c/32c Søyle-bjelke	NEPD-1577-605	kg CO ₂ e / m ³	7,15E+01	1,29E+01	8,68E-03
C24 Plate	NEPD-345-236-NO	kg CO ₂ e / m ³	4,56E+01	2,54E+01	
Ferdigbetong Fundament	Velde betong NEPD-332-216-NO	kg CO ₂ e / tonn	9,71E+01	8,36E+00	*
Nettarmering	NEPD-347-238-EN	kg CO ₂ e / kg	3,31E-01	4,13E-02	**
Flattstål 15*60 Stålplater (S355) Stålbolter (Stål 8.8)	NEPD-402-281-EN	kg CO ₂ e / kg	2,20E+00	2,24E-02	2,54E-03
Gulvgips	NEPD-110-177-EN	kg CO ₂ e / m ²	3,10E+00	8,56E-01	1,20E-05
Isolasjon Glava 36	NEPD-1696-683	kg CO ₂ e / m ²	4,30E-01	2,93E-02	3,83E-02
Tilfarer	NEPD-308-179	kg CO ₂ e / m ³	5,30E+01	1,14E+01	4,01E+00
Elastisk underlag; Sylomer grønn c/c 1200mm ***	NEPD-207-260-NO	kg CO ₂ e / m ²	1,07E+00	1,14E+01	1,30E-01
Branngips	NEPD-1264-406-EN	kg CO ₂ e / m ²	2,60E+00	1,38E+00	2,50E-01
Gipsplater	NEPD-1260-406-EN	kg CO ₂ e / m ²	1,70E+00	8,70E-01	1,90E-01

* Det er brukt EPD-data fra Velde betong og justert transport i A4 og antatt at fabrikk ligger 50 km fra hhv. Trondheim og Kristiansand. Det har ikke lyktes å skaffe data for utstøping av ferdigbetong på byggeplass (A5).

** Det har ikke lyktes å skaffe data for utstøping av utlegging av nettarmering eller steinull på byggeplass (A5).

*** Det foreligger ingen EPD for dette produktet. Det er benyttet EPD-data for et produkt som antas ha tilsvarende produksjonsprosess og materialinnhold.

3 Resultater

3.1 Klimagassregnskap

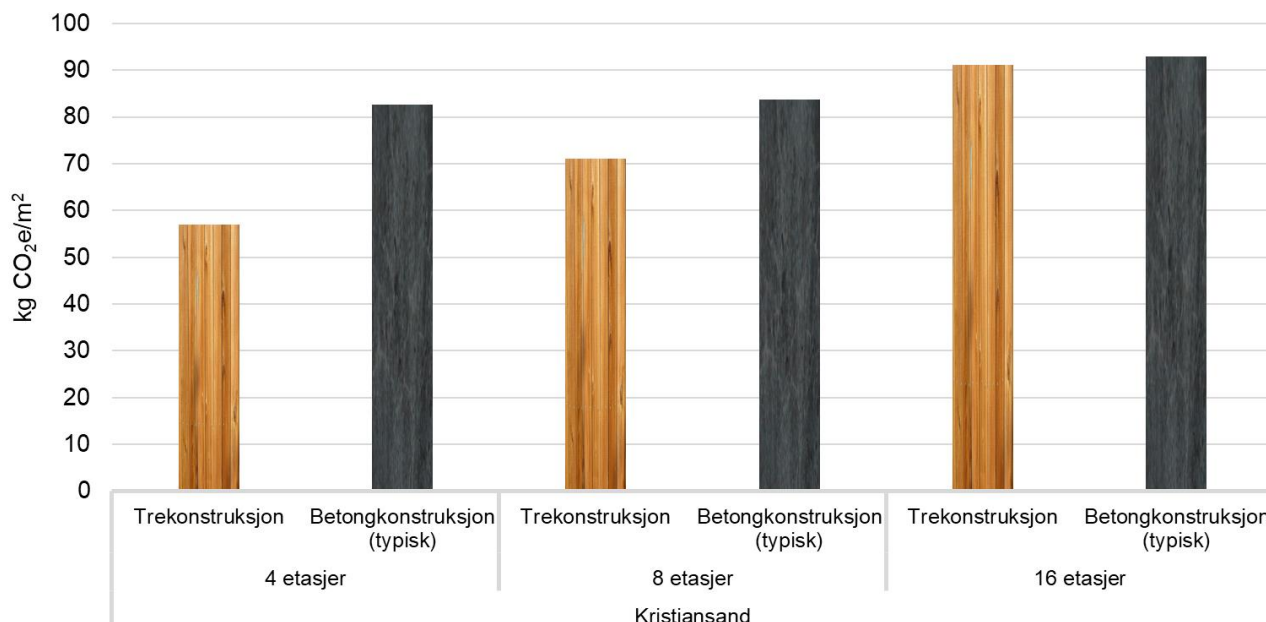
I fase 1 av prosjektet ble det utviklet et klimagassregnskap for to alternative kontorbygninger; prefabrikkerte betongkonstruksjon og trekonstruksjon for tre ulike bygningshøyder (4, 6 og 16 etasjer lokalisert i Kristiansand og Trondheim. Klimagassregnskapene ble basert på mengdeberegninger, materialkvaliteter og EPDer for de ulike materialene som inngikk i konstruksjonene.

I fase 2 av prosjektet ble betongelementprodusentene utfordret på hvorvidt de kunne levere produkter med et lavere klimagassutslipp under de samme forutsetninger gitt i fase 1. Nye beregninger ble foretatt der det ble levert oppdaterte verdier for produkter de normalt ville levert på bestilling til miljøambisiøse prosjekter.

I det følgende er resultatene for dette presentert som klimagassekvivalenter per m². I tillegg vises de absolutte klimagassregnskapene per kontorbygning for begge materialtypene, alle byggehøyder og lokaliseringalternativer i Vedlegg 4-7.

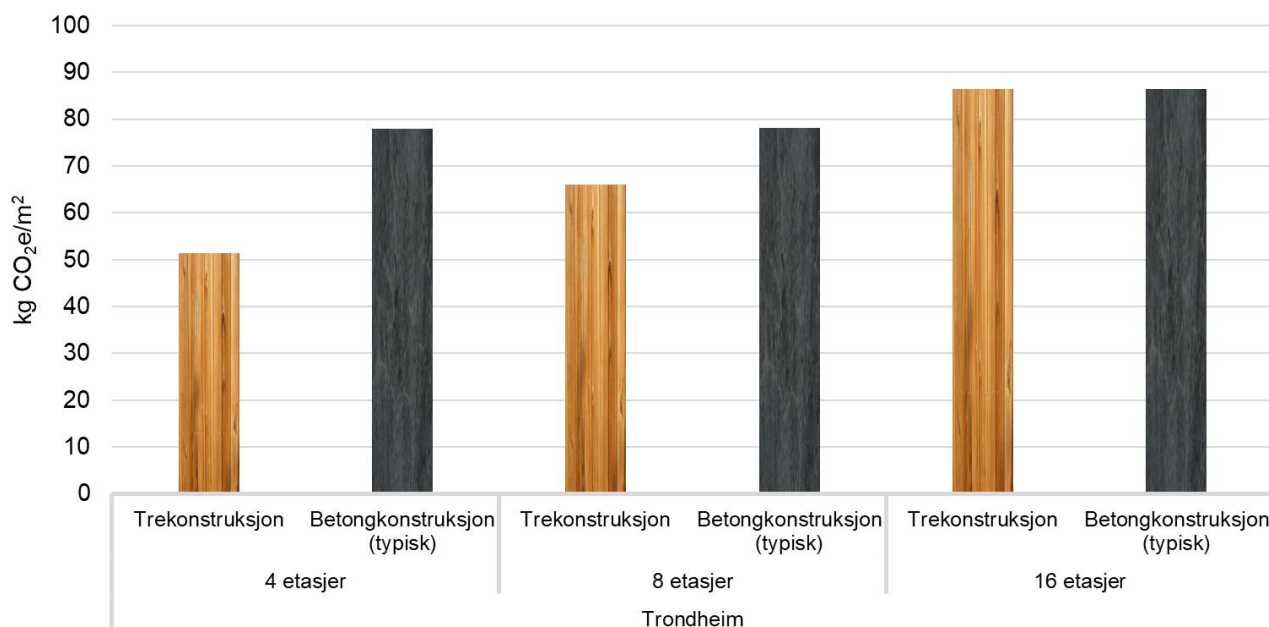
3.2 Sammenligning av tre- og betongkonstruksjoner

Resultatene fra sammenligningene i fase 1 mellom trekonstruksjonen og betongkonstruksjonen er presentert i Figur 3-1 og Figur 3-2 for henholdsvis Kristiansand og Trondheim.



Figur 3-1 Sammenligning mellom trekonstruksjon og typisk betongkonstruksjon (uten uttalt miljøambisjon), Kristiansand.

I Kristiansand er trebygningen den konstruksjonen som medfører lavest kg CO₂-ekvivalenter per m² for alle versjonene av bygget, dog for 16-etasjeskonstruksjonene er verdiene relativt like for de to konstruksjonene. Resultatene viser at forskjellene mellom tre- og betongkonstruksjonene avtar med økt byggehøyde.



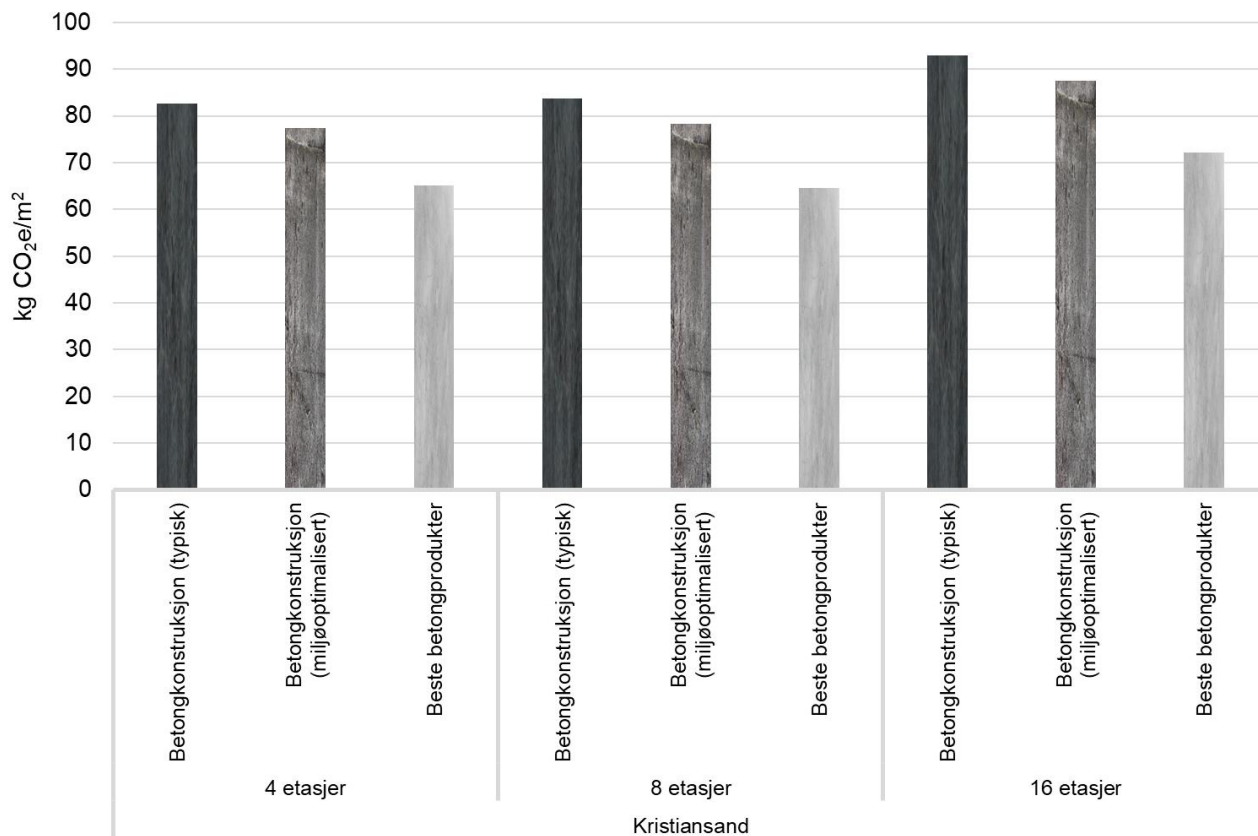
Figur 3-2 Sammenligning mellom trekonstruksjon og typisk betongkonstruksjon (uten uttalt miljøambisjon), Trondheim.

Både for betong- og trekonstruksjonene i Trondheim, er utslippene lavere for alle høydeversjoner av bygget enn for samme konstruksjoner i Kristiansand, som skyldes at transporten til Trondheim er totalt kortere enn avstandene knyttet til konstruksjonen i Kristiansand for flere av materialene som inngår. Også for Trondheim har 16-etasjeskonstruksjonene relativt like verdier.

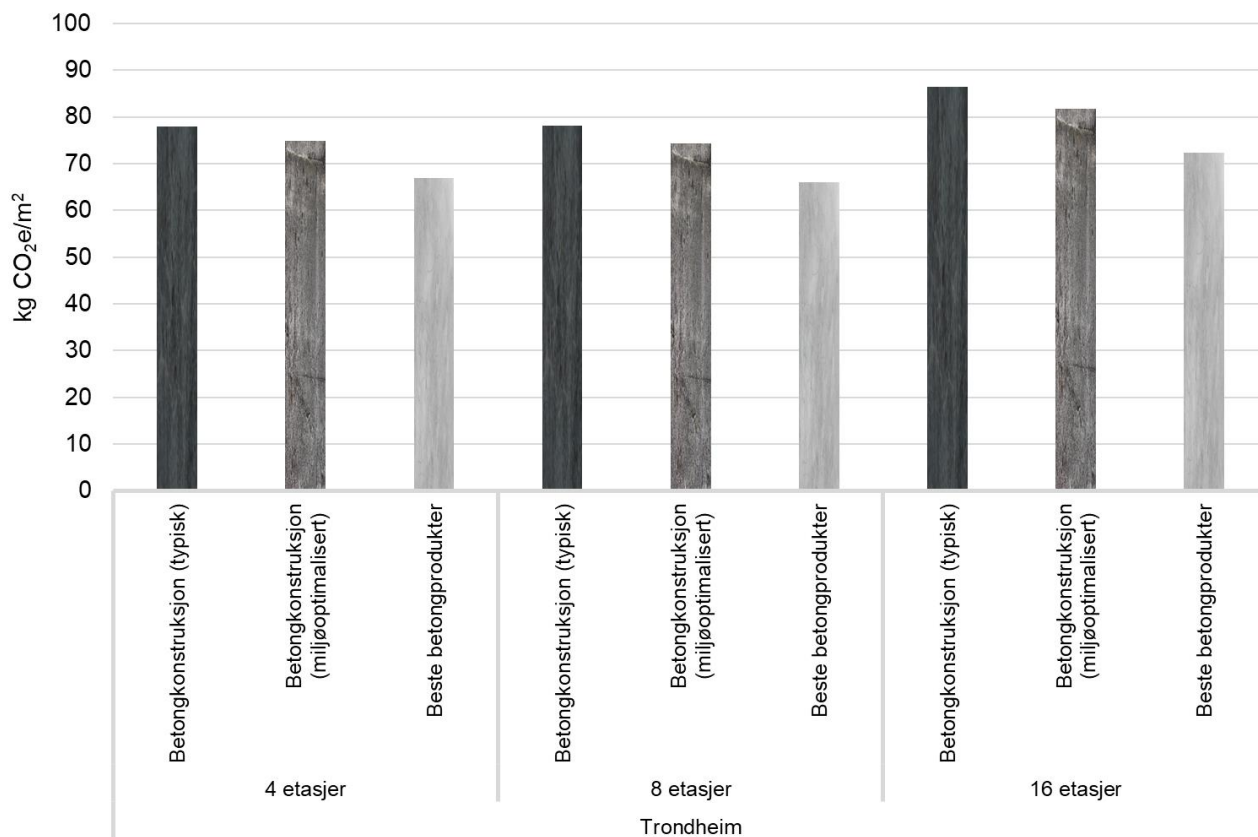
Betong og armering til fundament har et relativt stort bidrag til de samlede klimagassutslippene hhv. 27% og 19% for tre- og betongkonstruksjonene med 16 etasjes høyde. I vårt eksempel der planet er utformet slik at forskjellen mellom byggehøyde og minste bredde er stor, vil kreftene som genereres ved fundamentnivå som følge av seismiske krefter eller vind være avhengig av byggets egenlast. Begge forslagene med 16 etasjer har en utfordring knyttet til fundamentet ved at de begge har veldig store løftekrefter i hjørnene. Se kap. 2.1.6 for flere detaljer og begrunnelse for betong- og armeringsmengder.

3.3 Bruk av betongvarer med lave klimagassutslipp

I fase 2 av prosjektet ble betongelementprodusentene utfordret på å levere produkter med lavere utslipp da dette studiet var å anses som et «prosjekt med høye miljøambisjoner», og et gjennomsnitt av en miljøoptimalisert betongkonstruksjon fra de ulike produsentene ble beregnet. I Figur 3-3 og Figur 3-4 vises en sammenstilling av CO₂-ekvivalenter per m² for tre ulike betongkonstruksjoner for henholdsvis Kristiansand og Trondheim.



Figur 3-3 Miljøforbedringer i betongkonstruksjon, Kristiansand.



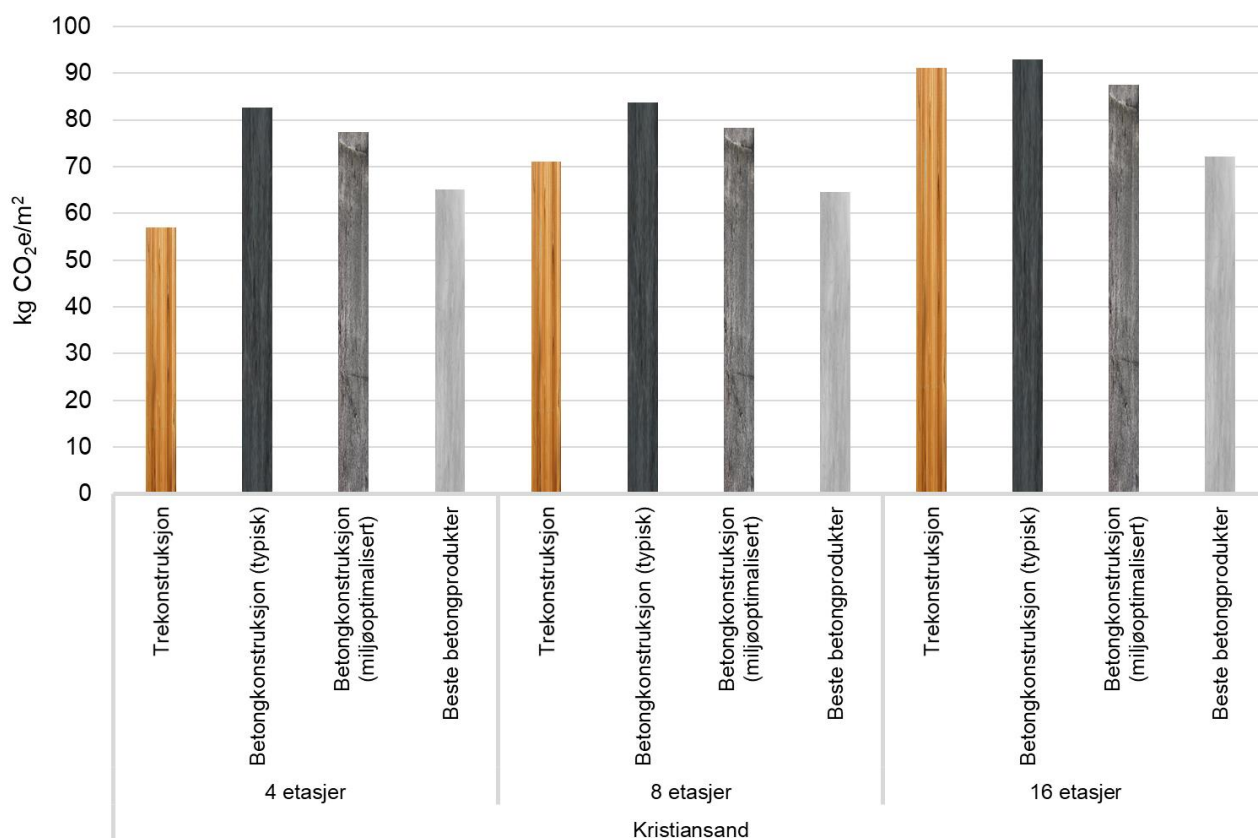
Figur 3-4 Miljøforbedringer i betongkonstruksjon, Trondheim

De mørkeste stolpene representerer den typiske betongkonstruksjonen som var presentert i Figurene 3-1 og 3-2. Mellomgrå stolper representerer de miljøoptimaliserte betongkonstruksjonene, og de lysegrå stolpene viser utslippene knyttet til en betongkonstruksjon der man kun bruker det beste produktet for hulldekker, vegger og søyler/bjelker i utvalget.

Man ser av figurene at utslippene knyttet til betongkonstruksjonen kan reduseres betydelig ved at man benytter betong av bedre miljøkvalitet, for begge lokasjoner. Dersom man velger de beste betongproduktene på markedet framfor en typisk sammensetning av betongprodukter, kan man oppnå en reduksjon på mellom 14 % og 16 % for bygget i Trondheim og en reduksjon på mellom 21 % og 23 % for bygget i Kristiansand.

3.4 Sammenligning trekonstruksjon og lavkarbonbetongkonstruksjon

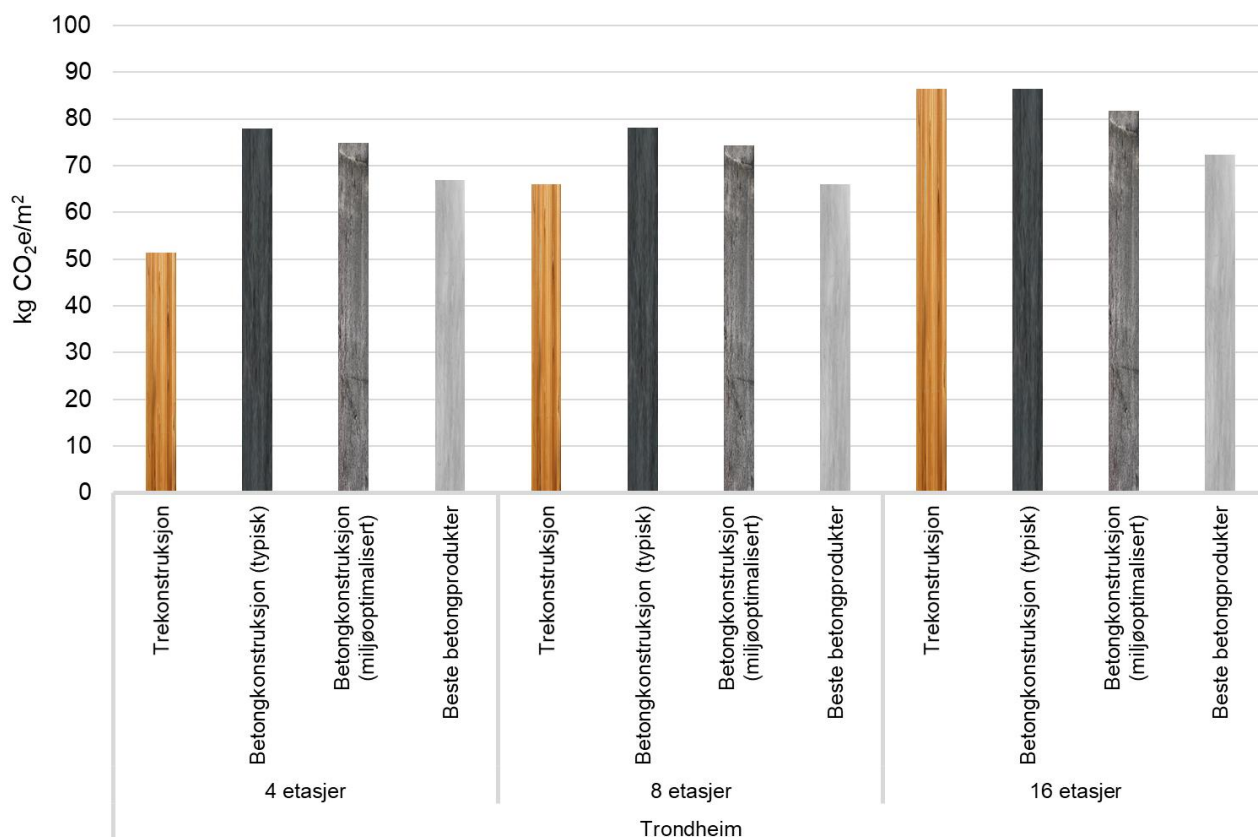
I Figur 3-5 og Figur 3-6 vises en sammenligning av de forbedrede betongkonstruksjonene sammen med trekonstruksjonene, i henholdsvis Kristiansand og Trondheim.



Figur 3-5 Sammenligning med trekonstruksjon etter forbedring av betongkonstruksjoner, Kristiansand

For Kristiansand er 4-etasjesbygget den eneste høydeutgaven der trekonstruksjonen er alternativet med lavest utslipp sammenlignet med betongkonstruksjonene. For de to andre byggehøydene er utslippsnivået til den beste betongkonstruksjonen lavere enn utslippsnivået for

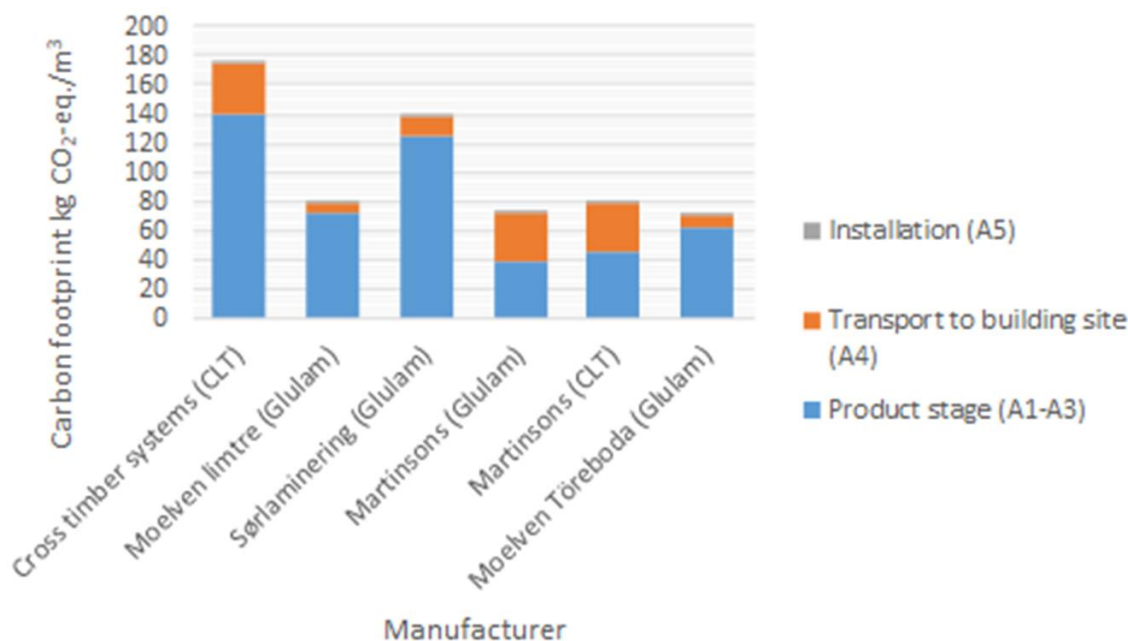
trekonstruksjonen. For 16-etasjesbygget har den beste betongkonstruksjonen hele 21 % lavere utslipp enn trekonstruksjonen, mens den miljøoptimaliserte betongkonstruksjonen har et utslippsnivå som er 4 % lavere enn trekonstruksjonen med samme høyde.



Figur 3-6 Sammenligning med trekonstruksjon etter forbedring av betongkonstruksjoner, Trondheim

For Trondheim ser man de samme tendensene som for Kristiansand, men med noe mindre forskjeller mellom konstruksjonenes utslippsnivåer. Den beste betongkonstruksjonen har for 16-etasjesbygget i Trondheim et 16 % lavere utslippsnivå enn trekonstruksjonen, mens den optimaliserte betongkonstruksjonen har 5 % lavere utslipp sammenlignet med trekonstruksjonen på samme høyde.

Denne studien har ikke involvert produsenter av treprodukter. Figur 3-7 viser en oversikt over klimagassutslipp fra ulike produsenters treprodukter. Datakilden er produsentenes EPDer. Figuren viser at det er en stor variasjon mellom produsentene. For KL-tre ble Martinsson Såg valgt som produsent og transportdata i EPDen ble justert i forhold til leveranse til Kristiansand og Trondheim. Det må presiseres at utslippene knyttet «transport to building site» i Figur 3-7 ikke er sammenlignbare da de ikke representerer samme byggeplass, og er heller ikke representativ mht. beregningene for Kristiansand og Trondheim.



Figur 3-7 Klimagassutslipp gitt i EPDer for ulike treprodukter.

Figuren viser store variasjoner i utslipp knyttet til produksjon av treproduktene. Dette viser at det er fra bestillersiden viktig å stille krav også til treprodukter. Spesielt med tanke på at en i dag har en stor import av treprodukter, der norske produkter vil ha et betydelig lavere bidrag til klimagassutslipp knyttet til transport.

Klimagassutslipp knyttet til transport av massivtre-elementene fra Martinssons Såg i Skellefteå utgjør 22, 17 og 12 % av det samlede klimaregnskapet for trekonstruksjonene på hhv. 4, 8 og 16 etg. lokalisert i Kristiansand og 50% av utslippene knyttet til KI-treproduktene. Dette viser et betydelig potensial for forbedring av klimagassregnskapet for trekonstruksjonene, og at det er viktig å også inkludere utslipp fra transport når det stilles krav til klimagassutslipp for ulike løsninger.

Splitkon AS har åpnet massivtrefabrikk på Åmot i Modum. I 2020 er målsettingen 60.000 m³ massivtre-elementer tilsvarende 600.000 norske grantrær. Splitkon har et tydelig miljøfokus og det er å forvente at de vil forsøke å konkurrere på produksjonsutslipp med en aktør som Martinssons Såg i dette markedet, og der de vil klart konkurrere på lavere utslipp knyttet til transport i deler av Norge.

4 Optimalisering av produkter og produksjonsprosesser

4.1 Innledning

Byggevarereprodusenter har et betydelig fokus på miljøforbedringer knyttet til produksjonsprosessene og deres produkter. Mange aktører stiller miljøkrav og spesielt krav om produkter som har lavt karbonfotavtrykk, der EPD tilfredsstillende dokumentasjonskravet for dette.

Som nevnt, ble betongelementprodusentene i fase 2 av dette prosjektet utfordret til å bidra med miljødata (EPD) for produkter de i dag kan levere på markedet til et lavest mulig klimafotavtrykk. I tillegg ble de også bedt om å bidra med innspill til hvordan en i framtiden kan miljøoptimalisere betongelementproduksjon og produkter. To av produsentene har bidratt og vi vil her trekke fram noen av momentene som ble belyst.

4.2 Optimalisering av produksjonsprosessen for hulldekker

Hulldekker støpes ut av maskiner som går på 1,2 m brede stålbord som har lengder fra ca 80 til 150m. Dekkene er armert med fôrøppspenn tau, og kan dermed ikke kappes til riktige brukslengder før betongen har fått så høy fasthet at betongen er i stand til å ta opp trykket fra den frigjorte spennkraften.

NS-EN 13369 definerer hvordan fastheten skal beregnes basert på antall spenn tau og benyttet spennkraft. Den kan gi ulike svar for ulike dekker, men standarden setter et minstekrav på 25Mpa terningfasthet.

Dekkene løftes ut fra støpebordet og håndteres videre med løftekliper som også krever en dokumentert fasthet fra betongen før dekkene kan løftes ut. Kravene til fasthet for utløfting varierer med klipetyper og dekketyper, men fabrikkene benytter erfaringsmessig en fasthet på 35 til 37 Mpa før kapping og utheising for skandinaviske fabrikker.

Den industrielle produksjonen av hulldekker er basert på at man i stor grad utnytter støpebenkene for to produksjonssykluser pr døgn. Det tilsier at man må oppnå den tidligfastheten som kreves for kapping og utheising etter ca 6 timer. Produksjonssyklus nr 2 vil dermed få en herdetid på ca 12 timer før kapping og utheising. Det gjør at noen fabrikker benytter ulike betongsammenstninger for 6 timer og for 12 timers herding. Det er imidlertid en logistikkmessig utfordring å sørge for at produkter med ekstra miljøkrav blir støpt på ettermiddagen, så lenge man også må ta hensyn til tykkelser og til beregnet antall spenn tau. Det er en fare for at man da legger inn dekker som får flere spenn tau enn produksjonsunderlaget krever.

En betongsammensetning som klarer å oppnå tidligkravet vil automatisk få en høy sluttfasthet. Produsentene av hulldekker benytter derfor en betong med fasthet B45 som dermed har sluttfasthet på terning på 55 Mpa. På grunn av kravet til tidligfasthet vil den dokumenterte sluttfastheten i snitt ligge mer enn 10Mpa høyere enn kravet til B45.

Det vil si at en reduksjon av slutfasthetskravet til hulldekker har ingen verdi med dagens produksjonssyklus. Reduksjon av slutfasthetskravet vil derimot kunne medføre at man må øke armeringsmengder og gå ned på spennvidder. Det vil virke stikk imot sin hensikt. Det er tidligfastheten man må jobbe med.

Det er en rekke tiltak som kan gjennomføres for å få maksimal tidligfasthet med minimal mengde klinkerbasert sement.

1. Komponer en betongsammensetning med minimum av hulrom som må fylles med sementpasta. Det er avhengig av korngradering og siktekurver på tilslaget, og krever ofte en ekstra silo ved blanderiet for justering av tilslaget med filler. IC-tester er et godt hjelpemiddel for å finne den maksimale pakking av tilslaget.
2. Benytt sementer som har minimal mengde klinkersement ved at sementen er erstattet med andre bindemidler som flygeaske, slagg eller silika. For en industriell produksjon med krav til tidligfasthet er Norcem Industri spesialdesignet for det ved at sementen har et høyere Blane-tall. Det vil si at den er mer finmalt og hydratiserer raskere.
3. Øke tidligfasthet ved bruk av akselererende tilsetningsstoffer.
4. Sørg for at tilslaget, særlig på vintertid, har en temperatur som gjør at man ved finjustering av temperatur med blandevannet kan oppnå en stødig utgangstemperatur på nivå 25 grader C. Krever termometer i siloer og et regneprogram som tilsetter blandevannet med riktig temperatur.
5. Sørg for at utleggermaskinen er godt vedlikeholdt og er maksimalt riktig innstilt.
6. Legg opp et oppvarmingssystem under støpebenken slik at man kan benytte akselererende herding.
7. Sørg for umiddelbar tildekking av dekkene slik at varmetap unngås. Manglende tildekking de kritiske første par timer kan resultere i at løftesonen på dekket mister 6-7 Mpa til den avtalte tid for nedkapping. Ofte er løftesonen den kritiske for når produktet kan kappes og heises ut.

Ved gjennomføring av slike tiltak er det forventet at CO₂-avtrykket fra hulldekkeproduksjon kan senkes ytterligere. De samme momenter som er beskrevet for hulldekker vil i varierende grad gjelde også for andre prefab-produkter, spesielt spennarmerte produkter. Der er det imidlertid større frihet til å beregne eksakt riktig avspenningsfasthet for hvert produkt, da utløftingssituasjonen er tryggere enn ved hulldekker og klyper.

4.3 Ytelseskrav vs. materialkrav

Det er å anta at framtidens prefab-produkter ikke blir basert på lavere betongfastheter, men tvert imot på høyere fastheter kombinert med sparekropper. For eksempel H-formet søyle, mer bruk av lavprofilbjelker, mer eksakt definerte veggykkelser som fyller behovet men ikke overoppyller. Hulldekker er et slikt produkt; maksimal funksjon med minimal mengde betong.

For å illustrere dette vises det til et foredrag av Steinar Røine (Spenncon) der han trekker fram effekten av å stille absolutte miljøkrav til et produkt vs. en hel leveranse (Røine, 2017).

I forbindelse med en konkret leveranse av 22 betongbjelker ble det stilt et spesifikt materialkrav: «Det skal benyttes lavkarbonbetong med maksimale klimagassutslipp på 250 kg CO₂e/tonn element inkl. armering». Figur 4-1 viser to ulike strategier for å svar opp et slikt krav.



Figur 4-1 Mengde betong og klimagassutslipp. Kilde: Røine, 2017.

For å oppnå krav om lavere klimagassutslipp enn maksimumskravet, er en løsning å levere en bjelke med rektangulært tverrsnitt (249,5 kg CO₂e/tonn element inkl. armering). En slik løsning istedenfor en I-tverrsnittsbjelke som vil være et alternativ, vil kreve mer betong (282 tonn vs. 218 tonn) og gi en økning i samlet klimagassutslipp på 14 % for hele leveransen på 22 bjelker. Og i tillegg blir leveransen dyrere. Men, løsningen med I-tverrsnittsbjelke har et klimagassutslipp over maksimumskravet (282,57 kg CO₂e/tonn element inkl. armering) og tilfredsstillende dermed ikke det spesifikke miljøkravet på 250 kg CO₂e/tonn element inkl. armering for det konkrete prosjektet til tross for å gi et lavere totalt utslipp enn løsningen som tilfredsstillende kravet til enkeltelementene.

5 Diskusjon og konklusjoner

Resultatene fra klimagassberegningene viser at for de lave konstruksjonene (4 etasjer) er utslippsnivået knyttet til trekonstruksjonene lavere enn for betongkonstruksjonene, men at forskjellene avtar med byggehøyde. Ved 16 etasjers konstruksjoner er utslippsnivået å anse som relativt likt. Dette er med utgangspunkt i gjennomsnittsdata fra EPDer for betongprodukter fra fire produsenter. Hvis en derimot sammenligner med de beste betongproduktene med hensyn på lave klimagassutslipp, har den beste betongkonstruksjonen lavere utslipp enn trekonstruksjonen på 16 etasjer lokalisert både i Kristiansand og Trondheim. For byggehøyde 8 etasjer er utslippsnivået til den beste betongkonstruksjonen lavere enn utslippsnivået for trekonstruksjonen lokalisert i Kristiansand og tilnærmet likt nivå for konstruksjonene lokalisert i Trondheim. For byggehøyden 4 etasjer er utslippsnivået for trekonstruksjonen lavere enn for den beste betongkonstruksjonen lokalisert hhv. i Kristiansand og Trondheim.

Hvor robuste er disse konklusjonene for de teoretiske konstruksjonene? Her er det nødvendig å trekke diskusjonen i to retninger; først om selve konstruksjonene og oppbygging av disse og deretter om datagrunnlaget for beregning av klimagassutslipp.

Aas-Jakobsen Trondheim utførte en 3. parts verifikasjon av designet for de ulike konstruksjonene med mengdeberegninger. De konkluderte med at «Beregninger og vurderinger utført framstår grundige og fornuftige». Det er derfor å anta at valg av materialer og mengder er riktig sett i lys av det spesifikke objektet i prosjektet; et kontorbygg med flate 50,4 x 15,9 m (801 m²) i 4, 8 og 16 etasjer.

Vi vil likevel trekke fram to ulike alternative «delløsninger» som ikke er vurdert. Begge konstruksjonstypene med 16 etasjer har en utfordring knyttet til fundamentet ved at de begge har store løftekrefter i hjørnene. Dette ble løst med å støpe en stor plate rundt og under kjellerveggene. Alternativt kunne kreftene forankres med peler. Et alternativ til vertikale veggskiver for å gjøre betongkonstruksjonen tilstrekkelig stivt med tanke på svingninger, deformasjoner og global stabilitet er å anvende et avstivningssystem med fagverk utført i stål S355. Dette vil medføre en endring i materialforbruk; reduksjon i betongforbruk og økte stålmengder. Det er ikke foretatt noen beregninger av hvordan en slik løsning vil påvirke resultatene. Men det er å anta at siden betongmengdene reduseres betydelig for veggskivene vil nivået på utslippene reduseres totalt selv om en må anvende økte stålmengder.

Når det gjelder datagrunnlaget for klimagassutslipp for materialene er det noen forhold som bør belyses. Det ble valgt en representativ betong til fundament basert på EPD-data publisert hos EPD-Norge. Det foreligger ikke mange publiserte EPDer for ferdigbetong (B35/M45). På samme måte som det ble påvist potensiale for å levere produkter med bedre miljøprofil fra betongelementprodusenter, er det å anta at også ferdigbetongprodusenter kan levere produkter med lavere utslippsprofil. Som nevnt i kap. 3.2 bidrar ferdigbetong og armering i fundamentene relativt mye i klimagassregnskapet. For de to laveste byggehøydene vil det å anvende en betong med lavere klimagassutslipp bidra til at betongkonstruksjonenes miljøregnskap bedres mer relativt til trekonstruksjonene og motsatt for konstruksjonene på 16 etasjer siden det anvendes mer ferdigbetong i trekonstruksjonen.

Det bør også kommenteres at noen av datasettene er mangelfulle. Dette gjelder spesielt data knyttet til montasje og plasstøping på byggeplass for ferdigbetong og for treplater (A5). Vi anser likevel at energibruk knyttet til dette er relativt lite sammenlignet med totalt energibruk for produksjon av betongen. Det kan også stilles spørsmål ved representativiteten knyttet til valgte EPD-data for stålprofiler og knutepunkter i stål. Siden det ikke foreligger EPD for disse produktene, er det valgt å benytte EPD for produkter som er vurdert å være produsert relativt likt. Eventuelle feil som skyldes feil EPD vil påvirke resultatene for begge konstruksjonstypene, men mest for trekonstruksjonene for de to høyeste byggehøyder der det anvendes mest stål.

Det er antatt at det ikke oppstår noe materialsvinn eller kapp på byggeplassene. Dermed er også klimagassutslipp knyttet til avfallshåndtering utelatt. Relativt sett vil utslippene knyttet til dette være lavt.

I denne studien er det valgt ikke å inkludere bruksfasen, demontering og sluttbehandling etter endt levetid (modul B og C). Siden levetiden for produktene som inngår i bæresystemene, er antatt lik levetiden for de ferdige bygningene (60 år) og at det ikke er behov for vedlikehold, er det relevant å utelate bruksfasen også i helhetlige studier. Ideelt sett bør demontering og håndtering av byggematerialer etter endt levetid inkluderes i helhetlige studier der en bestreber seg på å inkludere hele livsløpet til byggverkene. I denne studien er det som nevnt benyttet EPDer som datagrunnlag for klimagassutslipp for materialene som inngikk i konstruksjonene. Da det var relativt få byggevarer som hadde deklart klimagassutslippene for andre livsløpsfaser enn produksjonsfasen (A1-A4)⁶ og i noen grad klimagassutslipp knyttet til selve byggeprosessen, ble det valgt kun å se på disse fasene. Det er ikke foretatt noen vurdering av hvor stort bidraget fra de utelatte fasene er, men Erlandsson og Malmqvist (2018) påviste i sin studie at klimagassutslipp knyttet til riving og avfallshåndtering var i størrelsesorden 2-5 % av utslippene fra A1-A5 (f.o.m. råvareuttak t.o.m. oppføring av byggene).

Som nevnt i 2.3.1 er prinsippet om umiddelbar oksidasjon av biogent karbon for treproduktene benyttet, hvilket betyr at prinsippet om at «opptak og utslipp skal tilordnes den modulen dette finner sted» ikke er fulgt. Det innebærer at en har sett bort fra karbonlagringen i konstruksjonenes levetid som først slippes ut ved forbrenning av byggematerialene. Det presiseres at summen av utslipp blir likt i begge tilnærmingene (karbonnøytral), der forskjellen ligger i tidspunktet for opptak og utslipp (Tellnes & Hundhausen, 2016).

Da dette er en studie som ikke inkluderer alle livsløpsfaser, er det heller ikke foretatt noen beregninger for hvor stort potensialet er for karbonopptak i betongen som følge av karbonatisering enten i levetiden eller etter riving og knusing av betongen. For mer informasjon om betongens karbonatiseringspotensialer viser vi til studier utført av bl.a. Sintef (Engelsen & Justnes, 2014).

I dialog med betongelementprodusentene om forhold knyttet til reduksjon av klimagassutslipp knyttet til mulige tiltak i produksjonsprosessene avstedkom dette interessante funn, se kap. 4. Dette viser at det foreligger ytterligere reduksjonspotensial for klimagassutslipp ved innføring av et

⁶ Standarden som kreves lagt til grunn når EPDer utvikles – EN 15804 – er nå revidert og hvor det er et krav om at modul C (demontering og avfallshåndtering etter endt levetid) og modul D (potensielle fordeler og ulemper knyttet til ombruk, resirkulering og energigjenvinning utenfor systemgrensen for analysen) skal være obligatorisk i alle EPDer for byggevarer. Det innebærer at framtidige EPDer vil inneholde mer komplette datasett enn det vi ser i dag.

eller flere av tiltakene beskrevet innledningsvis. Hvorvidt disse blir aktualisert, er ikke avklart med et unntak. I prosessen med å levere «de beste betongproduktene med lavest klimagassutslipp» viste det seg at klimagassutslipp knyttet til transport spiste opp effekten av å velge produkter fra det produksjonsstedet med lavest klimagassutslipp. Denne produsenten har nå besluttet å investere i tiltak som gir økt bruk av flygeaske og dermed lavere klimagassutslipp enn eksisterende produksjonsforhold på en av sine fabrikker.

Det ble i denne fasen av prosjektet ikke gjennomført noen undersøkelse på hvordan produsenter av trematerialer tenker rundt optimalisering av sine produksjonsprosesser og produkter. Basert på variasjon i utslipp fra både produksjonsprosessen og transport av treprodukter til byggeplass (se Figur 3-7), vil vi likevel tørre å påstå at det er et potensial for reduksjon av klimagassutslipp i denne næringen. Med tanke på at utslipp fra transport av disse produktene utgjør mer og i noen tilfeller mye vesentlig enn 50 % av klimagassutslippene og at det er en stor importandel av slike byggevarer fra f.eks. Østerrike, vil det med bruk av nasjonale og skandinaviske treprodukter bidra til en betydelig lavere utslippsnivå sammenlignet med importerte produkter.

Av andre potensielle tiltak for reduksjon av klimagassutslipp vises det til at det pågår et intensivt arbeid med utvikling av teknologi for karbonfangst og -lagring (Carbon Capture and Storage - CCS) uten at vi i denne studien har vurdert dette som tiltak. Men vi ønsker likevel å trekke fram at slik teknologi vil kunne redusere klimagassutslippene fra treprodukters sluttbehandlingsfase ved forbrenning i anlegg som i framtiden innfører slike teknologier, og for sementbaserte produkters produksjonsfase der Norcem's satsing i Brevik kan gi et viktig bidrag til klimagassreduksjon i byggenæringen.

Kan man trekke noen generelle konklusjoner basert på denne studien? Det er viktig å merke seg at resultatene i denne rapporten ikke er generaliserbare til alle typer bygningsformål eller bygningsdeler. Hva som regnes som de mest miljøvennlige valgene avhenger bl.a. av konteksten for hvert enkelt bygg. I vår studie ble det valgt et høyt og slankt bygg (relativt sett) der planet er utformet slik at forskjellen mellom byggehøyde og minste bredde er stort. Det ga igjen klare føringer for de dimensjonerende parameter som ble lagt til grunn (løft som dimensjonerer), og som stilte gitte krav til bl.a. fundamentering og igjen betongmengder. Bygg som er bredere enn de er høye, vil ikke være like utsatte for vind. Fundamentet for et slikt bygg vil hovedsakelig kun overføre trykkrefter til grunn, og løftekrefter vil ikke være relevante. De vertikale kreftene bestemmer nødvendig bredde på fundamentet, og i et slikt tilfelle vil økt egenvekt føre til bredere fundament (trykk som dimensjonerer). Det får igjen konsekvenser for materialvalg- og mengder. Dette viser at et kontorbygg med et gitt areal og gitt høyde nødvendigvis ikke kan sammenlignes med et hvilket som helst bygg med samme areal og høyde. Dersom man sammenligner resultatene mellom flere LCA-rapporter må det også fokuseres på de dimensjonerende forutsetningene og ikke bare LCA-metodiske forutsetninger og beregninger gitt i de ulike rapportene.

Gjennom dialog med betongelementprodusenter og deres erfaringer med miljøkrav som stilles til deres produkter, ble det tydelig at kravene som stilles i stor grad er absolutte. Som eksemplifisert i kap. 4.3 der en i praksis stiller absolutte miljøkrav viser det seg at dette ikke gir det laveste klimagassutslippet knyttet til en hel leveranse (og i tillegg blir kostnadene for leveransene høyere).

På generell basis kan man si at tiltak rettet mot reduksjon av totalt materialforbruk for hele leveransen ser ut til å være minst like effektiv som tiltak ensidig rettet mot bruk av materialer med

lave klimagassutslipp. Med andre ord er det stor klimaeffekt av å utfordre bestillere til å benytte optimale konstruksjoner som gir maksimal bæring og bruksegenskaper med minimum mengde materialer enten det gjelder betong, tre eller andre materialer. På denne måten blir byggevareprodusentenes kompetanse utnyttet ved at de tillegges ansvar for å finne de optimale løsningene med lavest mulig klimagassutslipp, og dermed blir tidlig involvert i byggeprosjekter. Etterspørsel av ytelse framfor separate materialkrav vil bidra til innovasjon og utvikling, og komme alle norske og utenlandske byggevareprodusenter til nytte gjennom like konkurransevilkår.

Det er ikke empirisk grunnlag for å hevde generelt at tre er mer miljøvennlig enn betong. Avhengig av kontekst og ulike løsninger en finner i konkrete prosjekter, vil en kunne redusere klimagassutslippene uavhengig av materialvalg. Dette kan fremmes ved å la produsenter og andre utførere få større frihet til å benytte sin kompetanse og praktiske kunnskap for å utvikle innovative løsninger.

6 Referanser

- Alexander, S. Vinje, L. (2010) Betongelementboken bind A - Bygging med betongelementer. ISBN 978-82-993192-3-2.
- Algaard, E. Høsøien, C. O. (2008) Betongelementboken bind E - Isolasjon, varme og lyd. ISBN 978-82-993192-0-1.
- Anisdahl, L. (2015). Icopal Primo fuktmembran. Icopal AS. [NEPD-207-260-NO](#).
- Byggforskserien (2011). 520.222 Bjelker av tre. Dimensjonering.
- Cobb, J. (2017). Gyproc Protect® F – Fireboard. Saint-Gobain Gyproc AS. [NEPD-1264-406-EN](#).
- Cobb, J. (2017). Gyproc® Normal – Standard Plasterboard. Saint-Gobain Gyproc AS. [NEPD-1260-406-EN](#).
- Engelsen, C. J. & Justnes H. (2014). *CO₂ binding by concrete. Summary of the state of the art and an assessment of the total binding in by carbonation in the Norwegian concrete stock*, Sintef Byggforsk, SINTEF report SBF2014A0019
- Erlandsson, M. & Malmqvist, T. (2018). *Olika byggsystem av betong och trä där mix av material inklusive stål ger klimattfordelar*, basert på IVL Rapportnr: C355, Bygg och Teknik 7/18.
- Fet, A. M. (2014). Welded plated beams: HSQ, ISQ and HSK. EMV Construction AS. [NEPD-00231-343](#).
- Fufa, S. M. (2019). Glava Glassull. Glava AS. [NEPD-1696-683](#).
- Norsk Treteknisk Institutt (2006a). Bygge med Massivtreelementer – Hefte 3 Dimensjonering.
- Norsk Treteknisk Institutt (2006b). Bygge med Massivtreelementer - Hefte 5 Lyd.
- Røine, S. (2017), foredrag for Betongdagene.
- Rønning, A. og Tellnes, L.G. F. (2018). Blir det bedre bygg ved bruk av LCA? Gjennomgang av noen utvalgte LCA-studier, OR.42.18, Fredrikstad: Østfoldforskning.
- Sedal, H. (2016). Steel Structures. UPB AS. [NEPD-402-281-EN](#).
- Tellnes, L. G. F. & Hundhausen, U. (2016). *Life cycle assessment of creosote treated wood and tall oil treated wood with focus on end-of-life*, Proceedings IRG Annual Meeting (ISSN 2000-8953), The International Research Group on Wood Protection.
- Tellnes, L.G. F. (2017). Konstruksjonsvirke av gran og furu. Treindustrien. [NEPD-308-179-NO](#)

Tellnes, L.G. F. (2017). Arbor Sponplater Gulv, Vegg og Tak Standard. Arbor-Hattfjelldal AS. [NEPD-1324-428](#).

Tellnes, L.G. F. (2018). Prosjektlimtre. Moelven. [NEPD-1577-605](#).

Vold, M. (2015). Norgips Hardboard/Hard type IR and Norgips Floorboard/Gulv type DIR. Norgips Norge AS. [NEPD-110-177-EN](#).

Vedlegg 1 Notat tredjeparts verifikasjon

NOTAT 3. PARTS VERIFIKASJON

Tema:	3. parts verifikasjon Eksempelbygg Namsos
Prosjekt:	2019002, Eksempelbygg Namsos
Oppdragsgiver:	Betongelementforeningen

Til:	John-Erik Reiersen, Betongelementforeningen
Fra:	Sindre Hellem Sølvernes, Aas-Jakobsen Trondheim AS
Dato:	08.03.2019
Kopi til:	Sindre Andreas Malme, Aas-Jakobsen Trondheim AS Bent-Olav Aasen, Aas-Jakobsen Trondheim AS

Sammendrag/konklusjon

Aas-Jakobsen Trondheim har utført 3. parts verifikasjon av beregninger utført av Arcon Prosjekt AS. 3. parts verifikasjonen omhandler kontroll av globalanalyser utført i FEM-Design, samt stikkprøver av de viktigste dimensjonene og mengdene.

Beregninger og vurderinger utført framstår grundige og fornuftige. Kommentarer er gitt i tabell i dette notatet. Alle kommentarer og avvik vurderes å ha mindre betydning på valgte dimensjoner og mengder.

Gjennomgått materiale:

Dokument/fil	Dato
31-021 Oppdragsrapport.doc	13.12.2018
18. jan - Eksempelbygg Namsos.docx	18.01.2019
Eksempelbygg Namsos - Aas Jakobsen 21jan.docx	21.01.2019
Betong 4etg.str	22.01.2019
Betong 8etg.str	22.01.2019
Betong 16etg.str	22.01.2019
Tre 4etg.str	12.12.2018
Tre 8etg.str	12.12.2018
Tre 16etg.str	18.01.2019

Kommentarer:

Avsnitt	Kommentar
2.0	Det kan være aktuelt å benytte lastkombinasjon EQU (lastfaktor 0.9 på egenvekt) for å finne oppløftkrefter. Påførte vindlaster er i midlertidig høyde, se kommentar under.
2.0	Påført skjevstillingslast for variant tre 8 etg. virker noe lav (≈ 13 kN). Ser ut til at denne ikke er påført i alle etasjer.
2.0	Beregnete vindlaster tilsvarer terrengruhetskategori 1. Bemerk at benyttede vindlaster er relativt store i forhold til hva som vil gjelde for typiske områder hvor kontorbygg på 16 etasjer vil være aktuelt.
2.0	Påført vindlast på le side for begge variantene på 8 etg. ser ut til å ha for lav verdi (0.53 kN/m ² i stedet for 0.76 kN/m ²)
3.0	Benyttede seismiske parametere for grunnforhold type B samsvarer ikke helt med NS-EN 1998-1 NA.3.2.2.2. Videre ser det ut til at det er benyttet faktor 1.2 for egenvekt i beregning av egenfrekvenser og jordskjelvanalyser. Denne skal vel være 1.0 iht. NS-EN 1998-1 pkt. 3.2.4. Bemerk i midlertidig at jordskjelv ikke er dimensjonerende.
6.0	Enig i at det er gunstig å komme med avstivende tiltak ettersom deformasjonene er store for de høyeste variantene. Er akselasjoner ("Human comfort") på grunn av vind vurdert? Overslagsberegninger viser at eksempelet 16 etasjer i tre er i grenseland sammenlignet mot anbefalinger for kontorbygg gitt i f.eks. ISO 10137:2007.
7.2	Tilfredsstillt valgt bøylearmering $\phi 6c210$ for ytterbjelker (LB300x500) krav til minimumsarmering?
7.2	For enkelte søyler er valgt mengde lengdearmering mindre enn minimumsarmering for søyler. Eksempel: Tabell 7.4 søyledimensjon 425x425 og 625x625.
7.2 Tabell 7.4	Angitte stålmengder på skive i langvegg (t=250 mm) tilfredsstillt ikke krav til minimumsarmering.
10 Tabell 10.1	Total tyngde armering samsvarer ikke med sum av slakkarmering og spennarmering for varianter med 8 og 16 etasjer.
10 Tabell 10.3	Armeringsmengder i fundament stemmer ikke overens med beskrivelse i tabellen, 100 kg /m ³
10 Tabell 10.5	Noe lav beregnet mengde for LB 300/500. Skal vel være 691 m total lengde (forutsatt 7.2 m lang veggskive), og ikke 403 m som i tabell.
10 Tabell 10.6	Noe lav beregnet mengde for LB 300/500. Skal vel være 1382 m total lengde (forutsatt 7.2 m lang veggskive), og ikke 806 m som i tabell.

Vedlegg 2 Masseoversikt betongkonstruksjon

I de følgende tabellene er det gitt en oversikt over betongmengder for de tre ulike konstruksjonshøydene.

4 etg

	Fasthet	Dimensjon	Total lengde [m]	Total vekt [t]	Volum [m ³]
Betongvolum over marknivå					
Bjelke	B45	LB300/500	403,2	123,30	48,384
	B45	LFB 600/200	201,6	126,39	49,59
Søyle	B45	325x325	39,6	10,66	4,18
	B45	275X275	105,6	20,35	7,99
	B45	250x250	19,8	3,15	1,24
	B45	200x200	72,6	7,4	2,90
	B30	200x200	52,8	5,38	2,11
Plate	B45	HD200	3185 m ²	816,77	320,50
Vegg	B30			102	40,1
Betongvolum under marknivå					
Konstruksjon under marknivå	B35			476	187
Sum					
Sum	B45			1108	435
	B35			476	187
	B30			107,4	42,2

8 etg

	Fasthet	Dimensjon	Total lengde [m]	Total vekt [t]	Volum [m ³]
Betongvolum over marknivå					
Bjelke	B45	LB 300/500	806,4	246,61	96,77
	B45	LFB 600/200	403,2	252,77	99,19
Søyle	B45	425x425	39,6	18,23	7,15
	B40	425x425	39,6	18,23	7,15
	B45	375x375	59,4	21,29	8,35
	B45	325x325	79,2	21,32	8,37
	B40	325x325	79,2	21,32	8,37
	B45	250x250	118,8	18,90	7,42
	B45	200x200	19,8	2,02	0,79
	B45	175x175	39,6	3,09	1,21
Plate	B45	HD200	6371 m ²	1633,5	641,0
Vegg	B30			409	160,5
Betongvolum under marknivå					
Konstruksjon under marknivå	B35			670	263
Sum					
Sum	B45			2217,8	870,25
	B40			39,55	15,52
	B35			670	263
	B30			409	160,5

16 etg

	Fasthet	Dimensjon	Total lengde [m]	Total vekt [t]	Volum [m3]
Betongvolum over marknivå					
Bjelke	B45	LB 300/500	1613	493,21	193,54
	B45	LFB 600/200	806,4	505,54	198,37
Søyle	B45	625x625	79,2	78,8	30,92
	B40	625x625	79,2	78,8	30,92
	B35	600x600	105,6	72,7	28,53
	B40	525x525	211,2	111,3	43,67
	B35	475x475	118,8	91,1	35,75
	B30	425x425	59,4	27,3	10,71
	B30	375x375	178,2	63,9	25,07
	B30	300x300	79,2	28,38	11,14
	B30	250x250	39,6	6,3	2,47
	B30	225x225	39,6	6,3	2,47
	Plate	B45	HD200	12741 m2	3267,1
Vegg	B30			1292	507
Betongvolum under marknivå					
Søyler	B45	625x625		78,8	31
Bjelker	B45			62,4	24,5
Plate	B45	HD200		204,4	80,2
Konstruksjon under marknivå	B35			1583	621
Sum					
Sum	B45			4690	1841
	B40			190,1	74,60
	B35			1675	657
	B30			1424	559

Vedlegg 3 Masseoversikt trekonstruksjon

I de følgende tabellene er det gitt en oversikt over mengder for de tre ulike trekonstruksjonshøydene.

4 etg

	Fasthet	Dimensjon	Total lengde [m]	Total vekt [t]	Volum [m ³]
Trevolum over marknivå					
Bjelke	GL 32c	2x 215x540	201,6	20,60	49,04
	GL 32c	215x552	403,2	21,06	50,13
Søyle	GL 32c	325x325	39,6	1,84	4,38
	GL 32c	280x280	39,6	1,37	3,25
	GL 30c	250x250	52,8	1,42	3,38
	GL 32c	250x250	39,6	1,09	2,59
	GL 30c	230x230	52,8	1,20	2,86
	GL 30c	215x215	52,8	1,05	2,50
	GL 32c	215x215	39,6	0,81	1,92
	GL 30c	200x200	52,8	0,91	2,16
	Plate	C24	PL280	2903 m ²	341,40
Fagverk	GL 32c	215x270	78,1	2,00	4,75
	GL 32c	165x360	63,4	1,66	3,94
	GL 32c	165x180	63,4	0,83	1,97
Betongvolum under marknivå					
Konstruksjon under marknivå	B35 Betong			423	166
Sum					
Sum	GL 32c			51,23	121,99
	GL 30c			4,58	10,90
	C24			341,40	812,89
	B35 Betong			423	166

8 etg

	Fasthet	Dimensjon	Total lengde [m]	Total vekt [t]	Volum [m3]
Trevolum over marknivå					
Bjelke	GL 32c	2x 215x540	403,2	41,19	98,09
	GL 32c	215x552	806,4	42,11	100,27
Søyle	GL 32c	475x475	79,2	7,86	18,72
	GL 32c	400x400	79,2	5,58	13,28
	GL 32c	325x325	184,8	8,59	20,45
	GL 32c	260x260	105,6	3,14	7,48
	GL 32c	225x225	79,2	1,76	4,20
	GL 32c	200x200	105,6	1,86	4,43
	GL 30c	165x180	105,6	1,35	3,21
Plate	C24	PL280	5806 m2	682,80	1625,78
Fagverk	GL 32c	300x300	58,6	2,32	5,53
	GL 32c	250x250	95,0	2,61	6,22
	GL 32c	225x225	39,0	0,87	2,07
	GL 32c	210x210	122	2,37	5,64
	GL 32c	200x200	95,0	1,67	3,98
Betongvolum under marknivå					
Konstruksjon under marknivå	B35 Betong			555,6	218
Sum					
Sum	GL 32c			121,94	290,35
	GL 30c			1,35	3,21
	C24			682,80	1625,78
	B35 Betong			555,6	218

16 etg

	Fasthet	Dimensjon	Total lengde [m]	Total vekt [t]	Volum [m ³]
Trevolum over marknivå					
Bjelke	GL 32c	2x 215x540	806,4	82,39	196,17
	GL 32c	215x552	1612,8	84,22	200,53
Søyle	GL 32c	630x630	19,8	3,46	8,23
	GL 32c	600x600	138,6	21,95	52,27
	GL 32c	550x550	145,2	19,33	46,02
	GL 32c	500x500	145,2	15,97	38,03
	GL 32c	475x475	290,4	28,83	68,64
	GL 32c	425x425	99	7,87	18,73
	GL 32c	350x350	204,6	11,03	26,26
	GL 32c	310x310	145,2	6,14	14,62
	GL 32c	300x300	105,6	4,18	9,96
	GL 32c	280x280	39,6	1,37	3,25
	GL 32c	225x225	178,2	3,97	9,45
	GL 32c	180x180	72,6	1,04	2,46
	Plate	C24	PL280	11612 m ²	1365,59
Fagverk	GL 32c	475x475	60,14	5,97	14,22
	GL 32c	400x400	180,43	12,70	30,24
	GL 32c	350x350	39,07	2,11	5,01
	GL 32c	325x325	78,14	3,63	8,65
	GL 32c	300x300	78,14	3,09	7,37
	GL 32c	280x280	178,891	6,17	14,69
	GL 32c	250x250	198,43	5,46	12,99
	GL 32c	225x225	239,17	5,33	12,69
	GL 32c	180x180	78,13	1,11	2,65
Betong- og trevolum under marknivå					
Søyler	GL32c	630x630		14,9	31,4
Bjelker	GL32c			11,9	25
Plate	C24	PL280		96,6	203
Konstruksjon under marknivå	B35 Betong			2713	1065
Sum					
Sum	GL 32c			364	859,6
	C24			1462	3455
	B35 Betong			2713	1065

Vedlegg 4 Klimagassregnskap trekonstruksjon Kristiansand

De følgende tabellene viser klimagassutslipp for de ulike trekonstruksjonene lokalisert i Kristiansand.

4 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO2e	A4 kg CO2e	A5 kg CO2e	TOTAL kg CO2e
Grunn og fundament	Betong	423	tonn	41 074	3 535	-	44 609
	Nettarmoring	17	tonn	5 495	31	-	5 526
	Sum						50 135
Vertikale strukturer	Søyler	23	m3	1 647	367	0,2	2 014
	Fagverk	11	m3	762	170	0,1	932
	Ståplate (S355)	2 952	kg	6 494	46	7	6 547
	Bolter (Stål 8.8)	3 289	kg	7 236	51	8	7 296
	Sum						16 788
Horisontale strukturer	Bjelke	99	m3	7 091	1 578	1	8 669
	Plate	813	m3	37 068	38 062	-	75 130
	Flattstål	3	tonn	6 270	44	7	6 321
	Gulvgips	3 100	m2	9 610	1 336	0	10 946
	Isolasjon Glava 36	222	m3	2 801	104	250	3 155
	Elastisk underlag; Sylomer grønn c/c 1200mm	3 100	m2	3 317	310	403	4 030
	Tilfarer	18	m3	980	211	74	1 265
Sum						109 516	
SUM							176 439

8 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO2e	A4 kg CO2e	A5 kg CO2e	TOTAL kg CO2e
Grunn og fundament	Betong	556	tonn	53 949	4 643	-	58 592
	Nettarmering	22	tonn	7 216	41		7 257
	Sum						65 849
Vertikale strukturer	Søyler	72	m3	5 132	1 142	1	6 274
	Fagverk	23	m3	1 676	373	0,2	2 049
	Branngips	20 000	m2	52 000	27 635	2 500	82 135
	Gips	10 000	m2	17 000	8 704	1 900	27 604
	Stålplate (S355)	8 454	kg	18 600	131	21	18 753
	Bolter (Stål 8.8)	9 216	kg	20 275	143	23	20 442
	Sum						157 256
Horisontale strukturer	Bjelke	198	m3	14 183	3 155	2	17 340
	Plate	1 626	m3	74 136	76 124	-	150 260
	Flattstål	6	tonn	12 540	44	14	12 598
	Gulvgips	6 250	m2	19 375	2 693	0,1	22 068
	Isolasjon Glava 36	517	m3	6 537	243	582	7 362
	Elastisk underlag; Sylomer grønn c/c 1200mm	6 250	m2	6 688	625	813	8 125
	Tilfarer	43	m3	2 287	492	173	2 952
	Sum						220 705
SUM						443 811	

16 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO2e	A4 kg CO2e	A5 kg CO2e	TOTAL kg CO2e
Grunn og fundamenter	Betong	2 713	tonn	263 435	22 671	-	286 106
	Nettarmering	106	kg	34 954	200	-	35 154
	Søyler	31	m3	2 245	499	0	2 745
	Bjelker	25	m3	1 788	398	0	2 185
	Plate	203	tonn	9 257	17	3	9 276
	Sum						335 466
Vertikale strukturer	Søyler	298	m3	21 301	4 739	3	26 043
	Fagverk	109	m3	7 758	1 726	1	9 486
	Branngips	41 550	m2	108 030	57 412	10 388	175 830
	Gips	20 775	m2	35 318	18 083	3 947	57 347
	Stålplate (S355)	37 939	kg	83 466	589	96	84 152
	Bolter (Stål 8.8)	41 903	kg	92 187	651	106	92 945
	Sum						445 802
Horisontale strukturer	Bjelke	397	m3	28 364	6 311	3	34 678
	Plate	3 252	m3	148 271	152 249	-	300 520
	Flattstål	11	tonn	25 080	44	28	25 152
	Gulvgips	13 500	m2	41 850	5 817	0	47 667
	Isolasjon Glava 36	1 182	m3	14 949	555	1 331	16 836
	Elastisk underlag; Sylomer grønn c/c 1200mm	13 500	m2	14 445	1 349	1 755	17 549
	Tilfarer	99	m3	5 227	1 124	396	6 747
	Sum						449 150
SUM						1 230 418	

Vedlegg 5 Klimagassregnskap betongkonstruksjon Kristiansand

De følgende tabellene viser klimagassutslipp for betongkonstruksjoner lokalisert i Kristiansand med gjennomsnittsdata for «typiske» betongprodukter fra 4 ulike produsenter.

4 etg.

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundamenter	Betong	476	tonn	46 220	3 978	-	50 198
	Nettarmering	19	tonn	6 190	35	-	6 225
	Sum						56 423
Vertikale strukturer	Søyler	47	tonn	5 666	1 544	109	7 319
	Vegg	102	tonn	11 613	2 439	395	14 448
	Stålplater	636	kg	1 399	10	2	1 410
	Bolter (4.8)	2 072	kg	4 559	32	5	4 597
	Sum						27 774
Armering	Slakkarmering	13	tonn	8 360	239		8 599
	Spennarmering	14	tonn	22 278	262		22 539
	Sum						31 138
Horisontale strukturer	Bjelke	250	tonn	30 138	8 215	577	38 930
	Plate (HD)	817	tonn	81 497	15 506	985	97 988
	Isolasjon Rockwool	3 100	m2	3 937	142	-	4 079
	Sum	4 446					140 996
SUM							256 331

8 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundamenter	Betong	670	tonn	65 058	5 599	-	70 657
	Nettarmering	26	tonn	8 705	50	-	8 755
	Sum						79 412
Vertikale strukturer	Søyler	124	tonn	15 015	4 093	288	19 396
	Vegg	409	tonn	46 568	9 781	1 585	57 934
	Stålplater	1 264	kg	2 780	20	3	2 803
	Bolter (4.8)	4 145	kg	9 119	64	11	9 193
	Sum						89 326
Armering	Slakkarmering	42	tonn	27 059	774	-	27 833
	Spennarmering	29	tonn	44 571	524	-	45 094
	Sum						72 927
Horisontale strukturer	Bjelke	499	tonn	60 275	16 430	1 155	77 860
	Plate (HD)	1 634	tonn	162 990	31 010	1 970	195 971
	Isolasjon Rockwool	6 250	m ²	7 938	286	-	8 223
	Sum						282 054
SUM							523 720

16 etg.

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundament	Betong	1 583	tonn	153 711	13 228	-	166 939
	Nettarmering	78	tonn	25 884	148	-	26 032
	Søyler	79	tonn	9 511	2 593	182	12 286
	Bjelker	62	tonn	7 532	2 053	144	9 729
	Plate (HD)	204	tonn	20 395	3 880	247	24 522
	Sum						239 508
Vertikale strukturer	Søyler	565	tonn	68 181	18 585	1 306	88 072
	Vegg	1 292	tonn	147 103	30 898	5 008	183 009
	Stålplater	2 536	kg	5 578	39	6	5 624
	Bolter (4.8)	8 290	kg	18 237	129	21	18 387
	Sum						295 092
Armering	Slakkarmering	98	tonn	63 087	1 804	-	64 891
	Spennarmering	57	tonn	89 141	1 047	-	90 188
	Sum						155 080
Horisontale strukturer	Bjelke	999	tonn	120 550	32 859	2 310	155 718
	Plate (HD)	3 267	tonn	325 990	62 023	3 940	391 953
	Isolasjon Rockwool	13 500	m ²	17 145	617	-	17 762
	Sum						565 434
SUM							1 255 114

De følgende tabellene viser klimagassutslipp for betongkonstruksjoner lokalisert i Kristiansand med gjennomsnittsdata for «optimaliserte» betongprodukter fra 3 ulike produsenter der en har hatt fokus på å levere produkter med lavkarbonbetong.

4 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundament	Betong	476	tonn	46 220	3 978	-	50 198
	Nettarmering	19	tonn	6 190	35	-	6 225
	Sum						56 423
Vertikale strukturer	Søyler	47	tonn	5 685	1 544	103	7 333
	Vegg	102	tonn	11 021	2 374	248	13 643
	Stålplater	636	kg	1 399	10	2	1 410
	Bolter (4.8)	2 072	kg	4 559	32	5	4 597
	Sum						26 983
Armering	Slakkarmering	13	tonn	8 844	198	-	9 042
	Spennarmering	14	tonn	14 150	332	-	14 482
	Sum						23 524
Horisontale strukturer	Bjelke	250	tonn	30 243	8 215	550	39 008
	Plate (HD)	817	tonn	70 376	18 345	1 065	89 786
	Isolasjon Rockwool	3 100	m ²	3 937	142	-	4 079
	Sum						132 873
SUM							239 803

8 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundamenter	Betong	670	tonn	65 058	5 599		70 657
	Nettarmering	26	tonn	8 705	50		8 755
	Sum						79 412
Vertikale strukturer	Søyler	124	tonn	15 067	4 093	274	19 434
	Vegg	409	tonn	44 190	9 519	996	54 705
	Stålplater	1 264	kg	2 780	20	3	2 803
	Bolter (4.8)	4 145	kg	9 119	64	11	9 193
	Sum						86 136
Armering	Slakkarmering	42	tonn	28 629	641		29 270
	Spennarmering	29	tonn	28 309	665		28 974
	Sum						58 244
Horisontale strukturer	Bjelke	499	tonn	60 485	16 430	1 101	78 015
	Plate (HD)	1 634	tonn	140 749	36 688	2 130	179 568
	Isolasjon Rockwool	6 250	m ²	7 938	286	-	8 223
	Sum						265 807
SUM							493 804

16 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundament	Betong	1 583	tonn	153 711	13 228		166 939
	Nettarmering	78	tonn	25 884	148		26 032
	Søyler	79	tonn	9 544	2 593	174	12 311
	Bjelker	62	tonn	7 558	2 053	138	9 748
	Plate (HD)	204	tonn	17 612	4 591	267	22 469
	Sum						237 500
Vertikale strukturer	Søyler	565	tonn	68 419	18 585	1 245	88 248
	Vegg	1 292	tonn	139 594	30 069	3 145	172 808
	Stålplater	2 536	kg	5 578	39	6	5 624
	Bolter (4.8)	8 290	kg	18 237	129	21	18 387
	Sum						285 067
Armering	Slakkarmering	98	tonn	66 746	1 495		68 242
	Spennarmering	57	tonn	56 618	1 330		57 948
	Sum						126 190
Horisontale strukturer	Bjelke	999	tonn	120 969	32 859	2 201	156 029
	Plate (HD)	3 267	tonn	281 507	73 379	4 260	359 147
	Isolasjon Rockwool	13 500	m ²	17 145	617	-	17 762
	Sum						532 939
SUM							1 194 199

Vedlegg 6 Klimagassregnskap trekonstruksjon Trondheim

De følgende tabellene viser klimagassutslipp for de ulike trekonstruksjonene lokalisert i Trondheim.

4 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundamenter	Betong	423	tonn	41074	2077		43 150
	Nettarmering	17	tonn	5495	686		6 181
	Sum						49 331
Vertikale strukturer	Søyler	23	m3	1 647	297	0,2	1 945
	Fagverk	11	m3	762	138	0,1	900
	Stålplate (S355)	2 952	kg	6 494	77	7	6 578
	Bolter (Stål 8.8)	3 289	kg	7 236	86	8	7 330
	Sum						16 753
Horisontale strukturer	Bjelke	99	m3	7 091	1 280	1	8 371
	Plate	813	m3	37 068	20 669	-	57 737
	Flattstål	3	tonn	6 270	74	7	6 352
	Gulvgips	3 100	m2	9 610	2 652	0,04	12 262
	Isolasjon Glava 36	222	m3	2 801	191	250	3 242
	Elastisk underlag; Sylomer grønn c/c 1200mm	3 100	m2	3 317	355	403	4 075
	Tilfarer	18	m3	980	211	74	1 265
	Sum						93 304
SUM						163 429	

8 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundament	Betong	556	tonn	53 949	2 727	-	56 677
	Nettarmering	22	tonn	7 216	901		8 117
	Sum						64 793
Vertikale strukturer	Søyler	72	m3	5 132	926	1	6 058
	Fagverk	23	m3	1 676	302	0	1 979
	Branngips	20 000	m2	52 000	27 635	2 500	82 135
	Gips	10 000	m2	17 000	8 704	1 900	27 604
	Stålplate (S355)	8 454	kg	18 600	221	21	18 842
	Bolter (Stål 8.8)	9 216	kg	20 275	241	23	20 539
	Sum						157 158
Horisontale strukturer	Bjelke	198	m3	14 183	2 559	2	16 744
	Plate	1 626	m3	74 136	41 338	-	115 474
	Flattstål	6	tonn	12 540	149	14	12 703
	Gulvgips	6 250	m2	19 375	5 347	0	24 722
	Isolasjon Glava 36	517	m3	6 537	446	582	7 565
	Elastisk underlag; Sylomer grønn c/c 1200mm	6 250	m2	6 688	3 802	263	10 752
	Tilfarer	43	m3	2 287	492	173	2 952
	Sum						190 912
SUM						412 863	

16 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundamenter	Betong	2 713	tonn	263 435	13 318	-	276 754
	Nettarmering	106	kg	34 954	4 363	-	39 317
	Søyler	31	m3	2 245	405	0,3	2 651
	Bjelker	25	m3	1 788	323	0,2	2 110
	Plate	203	tonn	9 257	5 162	-	14 418
	Sum						335 250
Vertikale strukturer	Søyler	298	m3	21 301	3 844	3	25 148
	Fagverk	109	m3	7 758	1 400	1	9 159
	Branngips	41 550	m2	108 030	57 412	10 388	175 830
	Gips	20 775	m2	35 318	18 083	3 947	57 347
	Stålplate (S355)	37 939	kg	83 466	991	96	84 554
	Bolter (Stål 8.8)	41 903	kg	92 187	1 095	106	93 389
Sum						445 427	
Horisontale strukturer	Bjelke	397	m3	28 364	5 119	3	33 486
	Plate	3 252	m3	148 271	82 676	-	230 947
	Flattstål	11	tonn	25 080	298	29	25 407
	Gulvgips	13 500	m2	41 850	11 550	0,2	53 400
	Isolasjon Glava 36	1 182	m3	14 949	1 019	1 331	17 300
	Elastisk underlag; Sylomer grønn c/c 1200mm	13 500	m2	14 445	1 546	1 755	17 746
	Tilfarer	99	m3	5 227	1 124	396	6 747
	Sum						385 033
SUM						1 165 710	

Vedlegg 7 Klimagassregnskap betongkonstruksjon Trondheim

De følgende tabellene viser klimagassutslipp for betongkonstruksjoner lokalisert i Trondheim med gjennomsnittsdata for «typiske» betongprodukter fra 4 ulike produsenter

4 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundamenter	Betong	476	tonn	46 220	3 978	-	50 198
	Nettarmering	19	tonn	6 190	773		6 962
	Sum						57 160
Vertikale strukturer	Søyler	47	tonn	5 510	653	109	6 272
	Vegg	102	tonn	11 243	1 421	395	13 059
	Stålplater	636	kg	1 399	17	2	1 417
	Bolter (4.8)	2 072	kg	4 559	54	5	4 619
	Sum						25 367
Armering	Slakkarmering	13	tonn	6 249	175		6 425
	Spennarmering	14	tonn	14 880	192		15 072
	Sum						21 497
Horisontale strukturer	Bjelke	250	tonn	29 312	3 472	577	33 361
	Plate (HD)	817	tonn	88 103	11 373	996	100 473
	Isolasjon Rockwool	3 100	m ²	3 937	3	-	3 940
	Sum						137 774
SUM							241 798

8 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundamenter	Betong	670	tonn	65 058	5 599		70 657
	Nettarmering	26	tonn	8 705	1 087		9 792
	Sum						80 449
Vertikale strukturer	Søyler	124	tonn	14 604	1 730	288	16 621
	Vegg	409	tonn	45 083	5 697	1 585	52 366
	Stålplater	1 264	kg	2 780	33	3	2 817
	Bolter (4.8)	4 145	kg	9 119	108	11	9 237
	Sum						81 041
Armering	Slakkarmering	42	tonn	20 229	568		20 797
	Spennarmering	29	tonn	29 770	384		30 154
	Sum						50 951
Horisontale strukturer	Bjelke	499	tonn	58 624	6 944	1 155	66 722
	Plate (HD)	1 634	tonn	176 202	22 746	1 992	200 941
	Isolasjon Rockwool	6 250	m2	7 938	6	-	7 943
	Sum						275 606
SUM							488 047

16 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundamenter	Betong	1 583	tonn	153 711	13 228	-	166 939
	Nettarmering	78	tonn	25 884	3 231		29 115
	Søyler	79	tonn	9 251	1 096	182	10 529
	Bjelker	62	tonn	7 325	868	144	8 337
	Plate (HD)	204	tonn	22 048	2 846	249	25 144
	Sum						240 064
Vertikale strukturer	Søyler	565	tonn	66 313	7 855	1 306	75 474
	Vegg	1 292	tonn	142 415	17 997	5 008	165 420
	Stålplater	2 536	kg	5 578	66	6	5 651
	Bolter (4.8)	8 290	kg	18 237	217	21	18 475
	Sum						265 019
Armering	Slakkarmering	98	tonn	47 163	1 324		48 487
	Spennarmering	57	tonn	59 540	769		60 309
	Sum						108 796
Horisontale strukturer	Bjelke	999	tonn	117 246	13 887	2 310	133 443
	Plate (HD)	3 267	tonn	352 416	45 494	3 984	401 893
	Isolasjon Rockwool	13 500	m ²	17 145	12	-	17 157
	Sum						552 494
SUM							1 166 373

De følgende tabellene viser klimagassutslipp for betongkonstruksjoner lokalisert i Trondheim med gjennomsnittsdata for «optimaliserte» betongprodukter fra 3 ulike produsenter der en har hatt fokus på å levere produkter med lavkarbonbetong.

4 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundamenter	Betong	476	tonn	46 220	3 978	-	50 198
	Nettarmering	19	tonn	9 113	1 589		10 702
	Sum						60 900
Vertikale strukturer	Søyler	47	tonn	5 478	168	103	5 750
	Vegg	102	tonn	10 542	364	248	11 155
	Stålplater	636	kg	1 399	17	2	1 417
	Bolter (4.8)	2 072	kg	4 559	54	5	4 619
	Sum						22 940
Armering	Slakkarmering	13	tonn	6 182	223		6 405
	Spennarmering	14	tonn	14 476	244		14 720
	Sum						21 125
Horisontale strukturer	Bjelke	250	tonn	29 141	892	550	30 584
	Plate (HD)	817	tonn	81 094	13 970	1 081	96 145
	Isolasjon Rockwool	3 100	m ²	3 937	3	-	3 940
	Sum						130 669
SUM							235 634

8 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundament	Betong	670	tonn	65 058	5 599		70 657
	Nettarmering	26	tonn	12 817	2 235		15 052
	Sum						85 708
Vertikale strukturer	Søyler	124	tonn	14 519	444	274	15 237
	Vegg	409	tonn	42 272	1 461	996	44 729
	Stålplater	1 264	kg	2 780	33	3	2 817
	Bolter (4.8)	4 145	kg	9 119	108	11	9 237
	Sum						72 020
Armering	Slakkarmering	42	tonn	20 011	722		20 733
	Spennarmering	29	tonn	28 962	489		29 450
	Sum						50 183
Horisontale strukturer	Bjelke	499	tonn	58 283	1 784	1 101	61 168
	Plate (HD)	1 634	tonn	162 184	27 939	2 163	192 285
	Isolasjon Rockwool	6 250	m ²	7 938	6	-	7 943
	Sum						261 396
SUM							469 308

16 etg

	Elementer	Mengder	Enhet	A1-A3 kg CO ₂ e	A4 kg CO ₂ e	A5 kg CO ₂ e	TOTAL kg CO ₂ e
Grunn og fundament	Betong	1 583	tonn	153 711	13 228	-	166 939
	Nettarmering	78	tonn	38 109	6 645		44 754
	Søyler	79	tonn	9 197	282	174	9 652
	Bjelker	62	tonn	7 283	223	138	7 643
	Plate (HD)	204	tonn	20 294	3 496	271	24 061
	Sum						253 049
Vertikale strukturer	Søyler	565	tonn	65 928	2 018	1 245	69 191
	Vegg	1 292	tonn	133 533	4 616	3 145	141 294
	Stålplater	2 536	kg	5 578	66	6	5 651
	Bolter (4.8)	8 290	kg	18 237	217	21	18 475
	Sum						234 611
Armering	Slakkarmering	98	tonn	46 654	1 683		48 337
	Spennarmering	57	tonn	57 923	977		58 901
	Sum						107 238
Horisontale strukturer	Bjelke	999	tonn	116 565	3 569	2 201	122 335
	Plate (HD)	3 267	tonn	324 377	55 879	4 326	384 582
	Isolasjon Rockwool	13 500	m ²	17 145	12	-	17 157
	Sum						524 074
SUM							1 118 972



Østfoldforskning
SUSTAINABLE INNOVATION

Gamle Beddingvei 2B
N-1671 Kråkerøy
Telephone: +47 69 35 11 00
Fax: +47 69 34 24 94
firmapost@ostfoldforskning.no
www.ostfoldforskning.no

