

- Construction
- City Cluster
- ●

# Klimagass- vurderinger for boligråbygg





# Innholdsfortegnelse

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Klimamål og prioritering                                | 4  |
| 3.2 Bakgrunn                                                | 5  |
| 3.3 Løsning skapt gjennom<br>klyngesamarbeid                | 6  |
| 3.4 Innledning og leseveiledning                            | 8  |
| 3.5 Vurdering brannsikkerhet                                | 9  |
| 3.6 Beskrivelse av Oppsal-bygget                            | 10 |
| 3.7 Utvelgelse av byggesystemer                             | 15 |
| 3.8 Hvordan kan arbeidet i<br>rapporten anvendes i praksis? | 16 |

## Bæresystemer

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Bæresystem i plastøst betong med<br>plattendecker og stål | 18 |
| 4.2 Bæring av stål og hulldekker                              | 24 |
| 4.3 Bæring av trealternativ                                   | 29 |
| 4.4 Oppsamling og sammenligning                               | 36 |
| 4.5 Vurderinger rundt ulike dekketyper                        | 38 |
| 4.6 Fremtidig reduksjon av<br>klimagassutslipp fra dekker     | 40 |

|            |    |
|------------|----|
| Konklusjon | 42 |
|------------|----|

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Vedlegg A: Evalueringsskjema for utvelgelse<br>av relevante dekketyper (trafikklysskjema) | 44 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|



# Innledning

## 3.1 Klimamål og prioritering i prosjektet

Norge har gjennom Paris-avtalen forpliktet seg til å redusere utslippene av klimagasser med minst 55 prosent i 2030 sammenlignet med nivået i 1990. På globalt plan anslås det, at byggesektoren er ansvarlig for 40 % av det samlede klimagassutslipp. I Norge er utslippsgraden mindre, da det her finnes en høy andel av fornybar energi. Byggesektoren står fortsatt for rundt 15 % av klimagassutslippene i Norge, og det er derfor viktig at sektoren tenker i nye baner, hvis den skal bidra til å oppfylle målsetningen i Paris-avtalen.

Det er de siste årene har bygg- og eiendomsbransjen økt fokus på reduksjon av klimagassutslipp, spesielt på klimagassberegninger, reduksjon av utslipp fra bygg og byggeprosesser samt å redusere mengden av materialer som anvendes i bygg.

Optimalisert materialbruk og redusert klimagassutslipp har vært utgangspunktet for å igangsette dette prosjekt. Hvordan kan byggherrer, entreprenører og rådgivere gjøre tiltak som vil redusere CO<sub>2</sub>-utslippene fra boligbygg? I hvilken grad påvirker ulike konstruksjonstyper og materialvalg CO<sub>2</sub>-utslippene?

Bakgrunnen for problemstillingen er påstanden om at materialbruken i boligblokker i dag er overdimensjonert, grunnet ønske om rasjonell prosjektering og entreprenørdrift. I et marked med økende materialpriser samt forventninger og krav til utslippsreduksjon, ønskes det å undersøkes om det finnes potensial til å spare utslipp og kostnader.

### 3.2 Bakgrunn

Prosjektet er et samarbeid skapt mellom bedrifter som er medlem i Construction City Cluster. Medlemmene som har vært en del av prosjektgruppen er: OBOS, Veidekke, Norconsult, Betonmast AS, Moelven, Heidelberg Materials Prefab Norge AS. Construction City Cluster og OBOS har vært ansvarlig for å opprette prosjektgruppen samt sikre fremdrift i prosjektet.

Veidekke, Norconsult, Betonmast, Moelven og Heidelberg Materials Prefab Norge AS har alle bidratt med faglige innspill til ulike bæresystemer og materialtyper som vil bli gjennomgått i rapporten.

Prosjektet er finansiert gjennom egenfinansiering fra prosjektets deltakere i form av timer, samt midler til rapportskriving fra OBOS Nye Hjem.

#### Prosjektdeltakere:

**Stian Svae** – OBOS Nye Hjem

**Lars Kristian Tredal** – Veidekke

**Eirik Olsvik Hovind** – Norconsult

**Tore Hagelund & Harald Liven** – Moelven

**Christian Krogseth** – Betonmast

**Andreas Nyhus** – Heidelberg Materials Prefab Norge AS

**Niklas Pedersen** – Construction City Cluster



# Construction City Cluster og klyngemetodikken

## 3.3 Løsning skapt gjennom klyngesamarbeid

Construction City Cluster (CCC) er en nasjonal næringsklynge som legger til rette for innovative og bærekraftige løsninger i bygg-, anlegg- og eiendoms- bransjen (BAE). Medlemmene etablerte klyngen for å bli den fremste drivkraften for økt samhandling og konkurransekraft.

BAE-bransjen har store utfordringer knyttet til miljømessig-, sosial- og økonomisk bærekraft. Men det betyr også at det er et enormt potensial for økt bærekraft gjennom innovasjonssamarbeid.

Vi har derfor et behov for å bli ledende på klima og miljø, styrke lønnsomheten og produktiviteten, bli enda mer attraktiv og skape innovasjonssamarbeid, er følgende klyngens tre fokusområder:

- Effektivisere bygg og byggeprosesser
- Grønn omstilling
- Attraktiv bransje

BAE-bransjen er også preget av fragmentering og lavere innovasjonskraft enn andre bransjer. Det er derfor en avgjørende verdi at klyngen har over 100 medlemmer som representerer

bransjens komplette verdikjede, med eiendomsutviklere, entreprenører, utstys- og infrastrukturprodusenter, rådgivere, leverandører, investorer, academia og offentlige myndigheter. I alle våre aktiviteter involverer vi relevante deler av verdikjeden for å skape løsningene bransjen trenger.

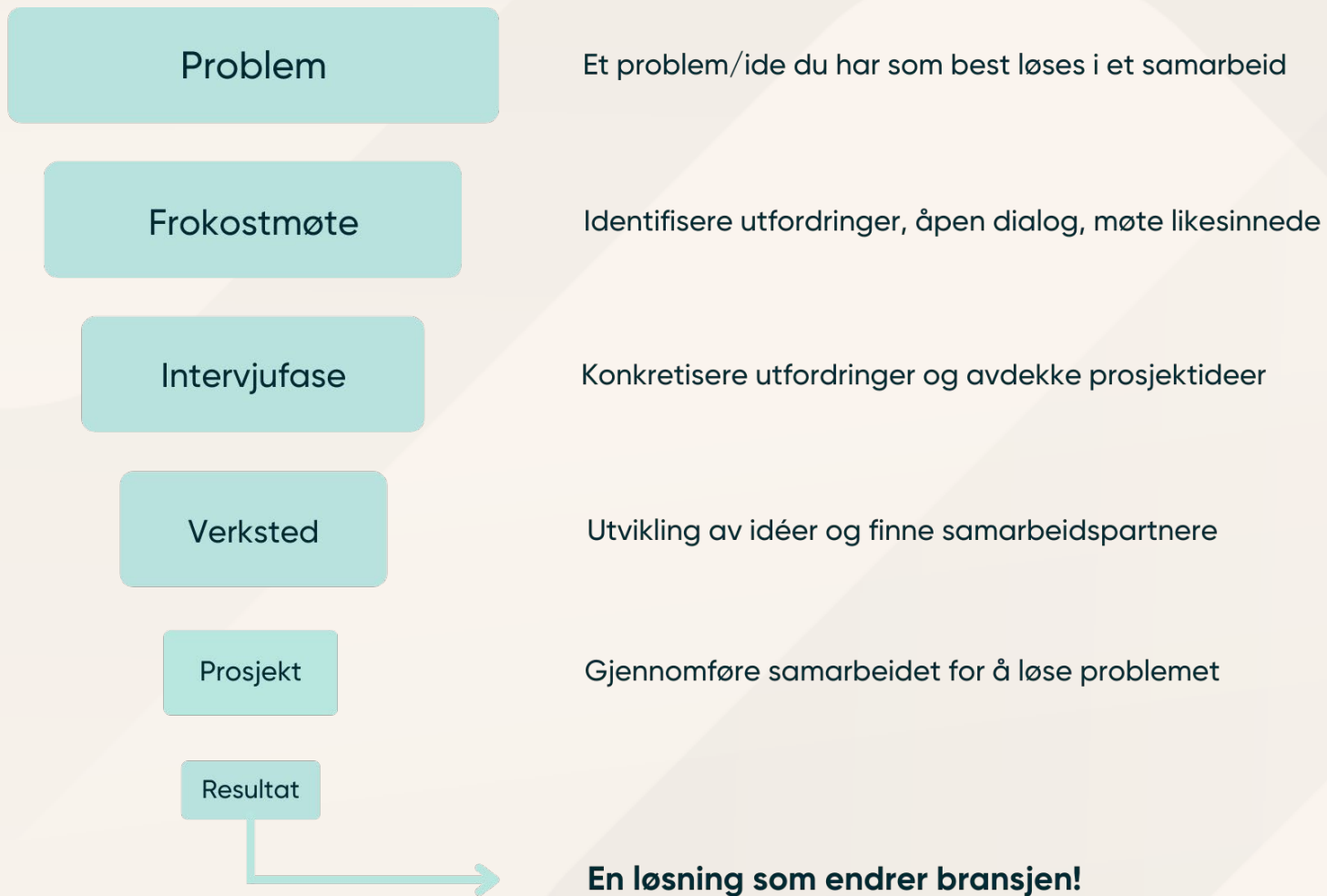
Men hvordan tar vi dette fra prat til praksis? Vi styrker konkurransekraften til medlemsvirksomhetene gjennom:

- Samarbeids- og innovasjonsprosjekter
- Dele og få innsikt
- Nettverksbygging

Det at klyngen er en nøytral arena for å løfte problemstillinger og skape felles prosjekter, er noe av det som gjør oss unike. Samtidig er vi også en arena for å heve bransjens kompetanse. Nettverks- og relasjonsbygging gjennom- syrer alle aktivitetene våre, nettopp for å dreie bransjen fra fragmentering og konflikt, til verdiskapende samhandling.

**Sammen gjør vi bransjen mer grønn, effektiv og attraktiv.**





# Innledning og leseveiledning

## 3.4 Innledning og leseveiledning

Rapporten vil i de følgende avsnitt ta utgangspunkt i fire typer av byggesystemer og dekketyper. I rapporten vil det bli redegjort for bruk av: Plattendekker, hulldekker, dekker i massivtre med og uten konstruktiv påstøpt betong. Disse vil i de følgende avsnitt bli vurdert ut fra en rekke parametere, som igjennom prosjektarbeidet har blitt oppstilt av prosjektgruppen.

Prosjektgruppen har hatt til formål å utvelge fire dekketyper, som vil bli sammenlignet og vurdert i forhold til klimagassutslipp og andre parametere. I det eksisterende marked finnes en lang rekke dekketyper som kunne inndrages i rapporten. Grunnet tid og ressurser, er tre dekketyper utvalgt til videre arbeid.

Prosjektgruppen opprettet en bruttoliste med 11 ulike dekketyper. Dekketyperne ble delt i to kategorier; elementer som var basert på betong og elementer som var basert på tre. Dekketyper som har blitt evaluert er: Plaststøpt betong slakkarmert (plattendekke),

plaststøpt betong etterspent (plattendekke), bubbeldekker, prefab stål og hulldekker, Lecaplank, Dobbel T-element, tredekker TG20427, tredekker Tre8-kassettedekker, massivtre uten påstøp betong & massivtre med påstøpt betong.

For å utvelge de mest relevante dekketyper, har prosjektgruppen lagt et evalueringsskjema (se bilag 1), hvor ulike dekketyper vurderes ut fra en rekke parametere.

Parameterne lyder: CO2-utslipp, helse- og miljøfarlige stoffer, plast, energieffektivitet, pris, brann, lyd, tykkelse på dekket, sjakter, produksjonshastighet, fukttiltak, mulighet for balkong, kompleksitet, fremtidsrettet, avfallsproduksjon og mulighet for ombruk.

Dekketyperne ble evaluert ut fra hver av ovenstående parametere.

# Vurdering brannsikkerhet fra Norconsults fagspesialister

## 3.5 Vurdering brannsikring

Når det gjelder brannkrav for et «standard»-leilighetsbygg, så er det i hovedsak brannklasse som spiller inn når det kommer til valg av konstruksjoner.

Iht. VTEK17 kan leilighetsbygg inntil 4 etasjer (brannklasse 2) oppføres med bærende konstruksjoner som ivaretar R 60 [B 60], det vil si f.eks. bruk av tre i bæresystemet. For leilighetsbygg over 4 etasjer blir kravet strengere som følge av at brannklasse 3 skal legges til grunn. Preaksepterte ytelser i gjeldende VTEK sier at bærende konstruksjoner må oppføres med konstruksjoner som er ubrennbare, det vil si stål eller betong.

TEK17 åpner for annen bruk, men forskriftskravet er som følger:

«Det bærende hovedsystemet i byggverk i brannklasse 3 og 4 skal dimensjoneres for å kunne opprettholde tilfredsstillende bæreevne og stabilitet gjennom et fullstendig brannforløp, slik dette kan modelleres.»

Ved bruk av konstruksjoner i tre vil det si at hvert enkelt tilfelle må modelleres og tas høyde for et fullstendig brannforløp, noe som må dokumenteres i hvert enkelt tilfelle. Ulike planløsninger, vindusstørrelser og svalgang-/korridor-løsning vil kunne påvirke brannkrav vesentlig.

Det er derfor ikke mulig å gi en generell anbefaling ved bruk av konstruksjoner i tre uten å legge inn en vesentlig analysejobb i hvert enkelt tilfelle. Hvordan regelverket utvikler seg fremover er vanskelig å si.

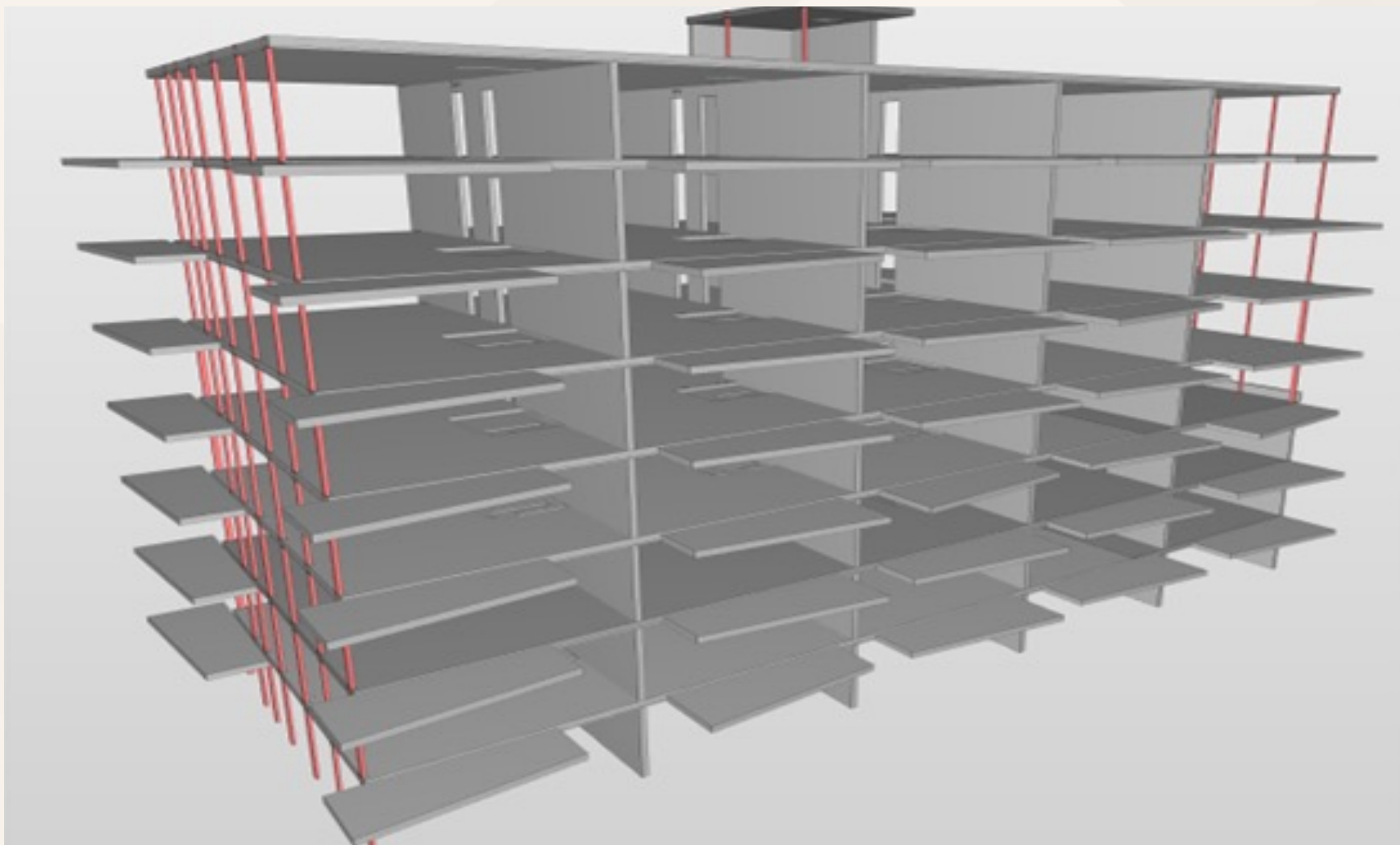
# Om Oppsal-bygget

## 3.6.1 Beskrivelse av Oppsal-bygget

Prosjektgruppen har anvendt boligbygget hus A på Oppsal Senter i Oslo som utgangspunkt for denne rapporten. Utover å inneholde et nytt kjøpesenter, inneholdt prosjektet også 190 leiligheter som ble oppført fra 2017 til 2019.

Detaljerte tegninger for råbygget av hus A av boligblokken er anvendt som utgangspunkt for denne rapporten. Hus A er 8 etasjer og arealet er 12,5 x 36 meter pr etasje. Råbygget er inkludert dekke over øverste etasje, har innvendig heis og trappehus og utenpåliggende balkonger. Prosjektet har ikke tatt hensyn til kjelleren på prosjektet, da utforming og prosjektering vil variere mye for ulike prosjekter.

Råbygget på Oppsal senter ble gjennomført fra 2017-2018 og er utført med plaststøpt betong og bruk av plattendekker i dekkekonstruksjonene. Råbygget ble designet slik at bærende vegger også utgjør leilighetsskiller. De bærende veggene ble utført i 200mm plaststøpt betong. I fasader, gavlveggene, ble bæring løst med stålsøyler (100x100mm). Dekkene ble utført i plaststøpt betong med plattendekker, samlet tykkelse 260mm. Balkonger og trapper ble utført som prefabrikkerte betongelementer. Balkongene ble utført fritt utkraget.



**ILLUSTRASJON 1:** Råbyggtegning for Oppsal-bygget

### 3.6.2 Klimagassberegning for faktiskoppførelse av Oppsal-bygget

For å se på hvordan de ulike delene i råbygget på Oppsal Senter bidro til klimagassutslipp er det gjort en klimagassberegning av råbygget

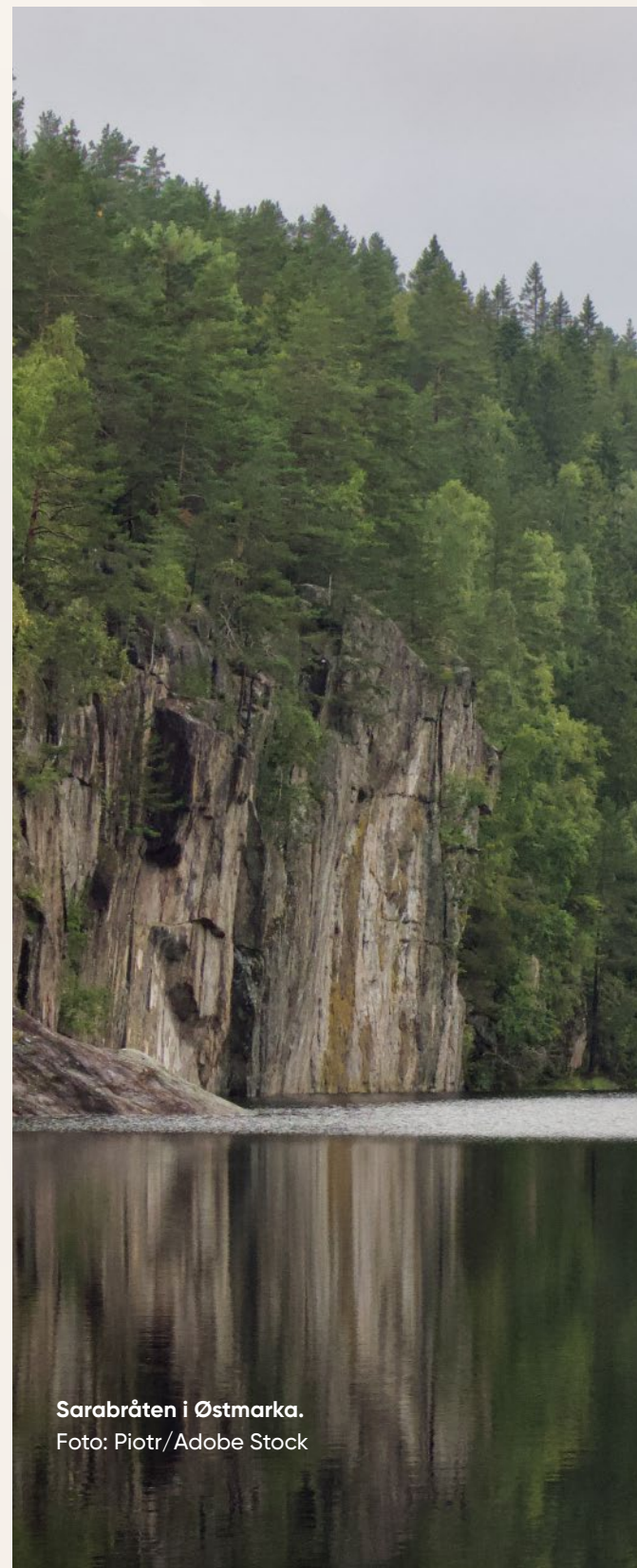
på Oppsal Senter slik det ble oppført. Beregninger er gjort for Modulene A1-A3. Det er lagt til grunn materialegenskaper antatt å tilsvarende bransjestandard da råbygget på Oppsal ble bygget. Dette er vurdert til følgende i tabell 1:

|                                      | Betongkvalitet | CO2-belastning                 |
|--------------------------------------|----------------|--------------------------------|
| Ferdigbetong - Konstruktivt dekke    | B30 / M60      | 280 kg CO2 / m3                |
| Ferdigbetong - Konstruktivt takdekke | B35 / M45      | 330 kg CO2 / m3                |
| Ferdigbetong - Innervegger           | B30 / M60      | 280 kg CO2 / m3                |
| Plattendekker 50mm slakkarmert       | B30 / M60      | 20 kg CO2 / m2                 |
| Balkonger                            | B45 / M45      | 71 kg CO2 / m2                 |
| Trapper                              | B35 / M45      | 142 kg CO2 / Tonn              |
| Armering                             |                | 0,413 kg CO2/ kg armeringsstål |
| Stålkonstruksjoner av HUP            |                | 2,44 kg CO2/ kg bærestål       |

**Tabell 1: Fasthedsklasser anvendt på Oppsal-bygget**

Som det kan sees av tabell 1 ble betong med ulike fasthedsklasser anvendt. Det sees, at CO2 bidraget fra de forskjellige komponenter av bygget varierer betraktelig. For bygningsdelene i betong varierer bidraget mye avhengig av betongkvalitet. Balkonger, trapper og

takdekke har et bidrag på ca. 15-20% mer pr kubikk i forhold til dekker og innervegger. Dette synliggjør viktigheten av å vurdere nødvendig betongkvalitet for bygningsdelene. Det ble benyttet en standardbetong i 2017, som tok lite hensyn til CO2-utslipp.

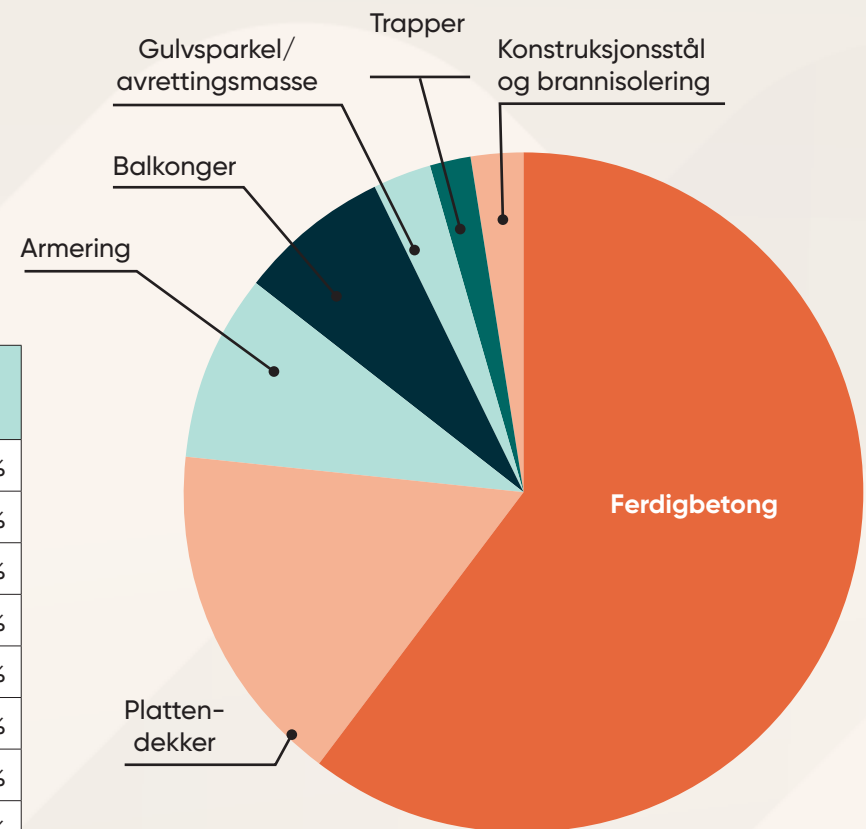


Sarabråten i Østmarka.  
Foto: Piotr/Adobe Stock

| Prosjektets CO2e fordeling inkl BD 28 Trapper og balkonger | Kg CO2e (A1-A3) | % fordeling CO2e (A1-A3) |
|------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Ferdigbetong                                               | 356 697         | 60 %                     |
| Plattendekker                                              | 96 573          | 16 %                     |
| Armering                                                   | 53 793          | 9 %                      |
| Balkonger                                                  | 42 627          | 7 %                      |
| Gulvsparkel/avrettingsmasse                                | 15 791          | 3 %                      |
| Trapper                                                    | 10 956          | 2 %                      |
| Konstruksjonsstål og brannisolering                        | 14 414          | 2 %                      |
| Sum                                                        | 590 851         | 100 %                    |

**Tabell 2: Fordeling av utslipp på komponenter**

Tabell 2 og 3 viser fordelingen av utslipp på de ulike komponentene i råbygget. Det samlede CO2 utslipp fra byggets konstruksjon er på 590.851 kg CO2e dette tilsvarer ca. 132 kg CO2e per m2 BTA. Beregningen viser, at ferdigbetong (tilkjørt betong fra biler) i dekker

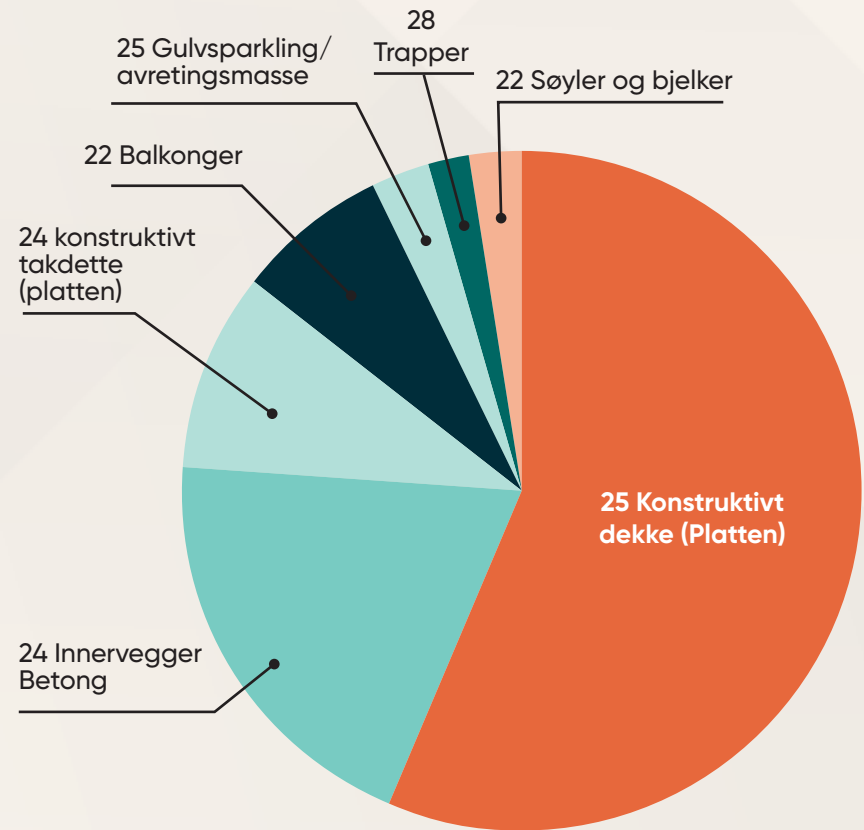


**Diagram 1: Fordeling av utslipp på komponenter**

og vegger står for ca. 60% av råbyggets utslipp, mens plattendekker bidrar til 16 % av utslippene. Armering og konstruksjonsstål står for en andel på ca. 11%.

| Prosjektets CO2e fordeling<br>inkl BD 28 Trapper og balkonger | Kg CO2e<br>(A1-A3) | % fordeling<br>CO2e (A1-A3) |
|---------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 25 Konstruktivt dekke (Platten)                               | 334 513            | 57 %                        |
| 24 Innervegger Betong                                         | 116 287            | 20 %                        |
| 26 Konstruktivt takdekke (Platten)                            | 55 924             | 9 %                         |
| 28 Balkonger                                                  | 42 627             | 7 %                         |
| 25 Gulvsparkling/avretingsmasse                               | 15 791             | 3 %                         |
| 28 Trapper                                                    | 10 956             | 2 %                         |
| 22 Søyler og bjelker                                          | 14 753             | 2 %                         |
| Sum                                                           | 590 851            | 100 %                       |

**Tabell 3: CO2-utslipp fra råbygget fordelt på ulike bygningskomponenter**



**Diagram 2: CO2-utslipp fra råbygget fordelt på ulike bygningskomponenter**

### 3.7 Utvelgelse av bæresystemer og dekketyper

Prosjektgruppen har hatt til formål å utvelge en rekke dekketyper, som vil bli sammenlignet og vurdert i forhold til klimagassutslipp og andre parametere. I det eksisterende marked finnes en lang rekke dekketyper som kunne inndrages i rapporten. Grunnet tid og ressurser, er tre dekketyper utvalgt til videre arbeid.

Prosjektgruppen opprettet en bruttoliste med 11 ulike dekketyper. Dekketyperne ble delt i to kategorier; elementer som var basert på betong og elementer som var basert på tre. Dekketyper som har blitt evaluert er: Plasstøpt betong slakkarmert (plattendekke), plasstøpt betong etterspent (plattendekke), bubbeldekker, prefab stål og hulldekker, Lecaplank, Dobbel T-element, tredekker TG20427, tredekker Tre8-kassettedekker, massivtre uten påstøp betong & massivtre med påstøpt betong.

For å utvelge de mest relevante dekketyper, har prosjektgruppen lagt et evalueringsskjema (se bilag 1), hvor ulike dekketyper vurderes ut fra en rekke parametere.

Parameterne lyder: CO<sub>2</sub>-utslipp, helse- og miljøfarlige stoffer, plast, energieffektivitet, pris, brann, lyd, tykkelse på dekket, sjakter, produksjonshastighet, fukttiltak, mulighet for balkong, kompleksitet, fremtidsrettet, avfallsproduksjon og mulighet for ombruk.

Dekketyperne ble evaluert ut fra hver av ovenstående parametere. Evalueringen skjedde ut fra en trafikklys-vurdering, hvor hver dekketype fikk vurdering ut fra parameterne med scoren positiv (grønn), nøytral (gul) og negativ (rød).

Vurderingene ble foretatt av prosjektgruppen selv, ved diskusjon av

hvert dekketype ut fra parameterne. Deltakerne i prosjektgruppen besitter sterke faglige kompetanser for hver av dekketyperne, og i tilfelle med manglende kompetanser, ble eksterne eksperter fra deltakerbedriftene involvert i å foreta profesjonelle vurderinger.

#### Vurdering brannsikkerhet fra Norconsults fagspesialister

Når det gjelder brannkrav for et «standard»-leilighetsbygg, så er det i hovedsak brannklasse som spiller inn når det kommer til valg av konstruksjoner.

Iht. VTEK17 kan leilighetsbygg inntil 4 etasjer (brannklasse 2) oppføres med bærende konstruksjoner som ivaretar R 60 [B 60], det vil si f.eks. bruk av tre i bæresystemet. For leilighetsbygg over 4 etasjer blir kravet strengere som følge av at brannklasse 3 skal legges til grunn. Preaksepterte ytelser i gjeldende VTEK sier at bærende konstruksjoner må oppføres med konstruksjoner som er ubrennbare, det vil si stål eller betong.

TEK17 åpner for annen bruk, men forskriftskravet er som følger:

*«Det bærende hovedsystemet i byggverk i brannklasse 3 og 4 skal dimensjoneres for å kunne opprettholde tilfredsstillende bæreevne og stabilitet gjennom et fullstendig brannforløp, slik dette kan modelleres.»*

Ved bruk av konstruksjoner i tre vil det si at hvert enkelt tilfelle må modelleres og tas høyde for et fullstendig brannforløp, noe som må dokumenteres i hvert enkelt tilfelle. Ulike planløsninger, vindusstørrelser og svalgang-/korridor-løsning vil kunne påvirke brannkrav vesentlig. Det er derfor ikke mulig å gi en generell anbefaling ved bruk av konstruksjoner i tre uten å legge inn en vesentlig analysejobb i hvert enkelt tilfelle. Hvordan regelverket utvikler seg fremover er vanskelig å si.

### **3.8 Hvordan kan arbeidet i rapporten anvendes i praksis?**

Det er viktig å presisere at hvert byggeprosjekt er unikt og at ulike forhold må vurderes for hvert prosjekt. Valg av ulike materialer som gir lave utslipp kan gi andre egenskaper som av noen kundegrupper kan oppfattes som negativt. Råvarepriser og knapphet på ressurser er også varierende for de ulike råbyggene. Valutakurser kan også endre kostnadsnivåene.

Så det er flere forhold som kan påvirke et gunstig valg av råbygget i dag, kan endres over tid.

Beregningene som er gjort i dette arbeidet er ikke ment å gi eksakte svar på klimagassutslipp, men indikere nivåer. Forhåpentligvis gir denne rapporten gode indikasjoner på klimagassutslipp for ulike råbygg, samt sannsynlige forbedringer av klimagassutslipp i fremtiden.

Det er viktig å vurdere hvert prosjekt for valg av løsning som bidrar til redusert klimagassutslipp og som samfunnsøkonomisk gir et godt prosjekt.

# Bæresystemer

I dette avsnittet vil tre ulike bæresystemer bli gjennomgått. Det redegjøres for fordeler og ulemper ved bruk av hvert bæresystem i forhold til referansebygget, Oppsal-bygget. Det synliggjøres potensialet i CO<sub>2</sub>-besparelser ved bruk av ulike bæresystemer og materialkvaliteter.



#### 4.1 Bæresystem i plasstøpt betong med plattendekker og stål

##### Hvordan fungerer bæresystemet i praksis?

Bygging av fleretasjes leilighetsbygg med råbygg i plasstøpt betong med plattendekker er en utbredt løsning. Bæresystemet består i hovedsak av plasstøpt betong, hvor plattendekker benyttes i som en forskaling innstøpt i dekkene. Plattendekker er prefabrikkerte elementer med en tykkelse på 50–70 mm og blir omtalt i bransjelitteraturen som «forskalingsdekker». Plattendekkene utgjør det nedre sjiktet i dekkene og bidrar til kortere byggetid enn plassbygde betongdekker med tradisjonell forskaling.

Bærende vegger utføres normalt kun i plasstøpt betong, men det er også mulig å benytte skallvegger (prefabrikkerte betongelementer) som på tilsvarende måte som plattendekker fungerer som forskaling. I fasader, primært gavlvegger, benyttes stålsøyler. Disse har typisk dimensjoner på HUP 100x100mm eller 100x200mm med varierende godstykkelse.

Dimensjonene på søylene holdes normalt lik i alle etasjer slik at søylene kan skjules i yttervegg mens godstykkelsen på søylene justeres for å begrense materialbruken.



Kilde: Johnny Blingsdalen

**ILLUSTRASJON 2:** Midlertidig understøttelse av plattendekker i en bolig under produksjon.

## FORDELER VED BÆRESYSTEMET

Å bygge råbygg i plasstøpt betong med plattendekker gir en rekke fordeler, og noen ulemper. I det påfølgende er mange av dem kort beskrevet.

**Stabilitet:** Ved å oppføre råbygget i plasstøpt betong oppnås en stabil konstruksjon ettersom det blir god forankring mellom vegger og dekker. Løsningen innebærer kontinuerlig forankring (armering) mellom dekker og vegger som sikrer god kraftoverføring mellom dekkene og avstivende vegger.

**Lyd og brann:** Bæresystemet gir også fordel ved å ivareta både lyd- og brannkrav på en enkel og god måte. Når det konstruktive dekket og veggene er etablert er det lite til ingen behov for tilleggsløsninger for å ivareta lydkrav. Betongvegger mellom leiligheter behøver normalt ingen tilleggsløsninger. Dekkene suppleres kun med tynt trinnlydsdempende sjikt under parkett. Ved å bygge i plassbygdbetong kan det oppnås høy brannmotstand. Betongdekkene og -veggene som utgjør leilighetsskiller, har ikke behov for ytterligere tiltak for å ivareta branncellebegrensende egenskaper. De støpte sammenføyingene mellom dekker og vegger gir detaljer med svært god tetthet og egenskaper ved brann.

**Utsparinger:** Å bygge med denne metode gir en vis fleksibilitet i forhold til å skape utkrager, utsparinger og tekniske føringer, hvor dette ønskes. De utstøpte dekkene oppnår egenskaper som gjør at det for boligbygg oppnås relativt gode muligheter for å etablere utsparinger for teknikk og nedsenker for prefabrikkerte våtromsmoduler.

**Balkonger:** Balkonger og svalganger kan løses med fritt utkragede betongelementer med isokorb-løsninger. Med planlegging av balkongers plassering og størrelse kan disse løses uten behov for sekundært bæresystem.

**Tekniske føringer:** De øverste ca. 200mm av dekketykkelsen støpes ut på plassen. Dette gjør det mulig å plassere tekniske føringer i dekket. Dette gjelder f.eks. sprinkleranlegg, elektriske føringer og rørsystemer. Konsekvensen er redusert behov for nedforinger, innkassinger og synlig teknikk.

## ULEMPER VED BÆRESYSTEMET

**Spennlengder:** Plattendekker har kortere spennlengde enn for eksempel hulldekker. For boligprosjekter, hvor god planløsning normalt kan oppnås med bærende akser på 5–8 m, har løsningen tilstrekkelig kapasitet.

**Byggetid for råbygget:** Løsningen innebærer armering og utstøping av dekker og vegger på byggeplassen. Dette gjør at råbyggfasen tar lengre tid enn løsninger som bruker en større andel prefabrikkerte elementer. Redusert behov for etterarbeid og tilleggsløsninger gjør imidlertid at total byggetid ikke påvirkes i samme grad.

**Vinterkostnader:** Arbeidene som gjøres på byggeplassen påvirkes av kuldeperioder og snøfall i større grad enn løsninger som bruker en større andel prefabrikkerte elementer, som hulldekker.

#### 4.1.1 Alternativ utførelse: Lavkarbon A (LKB-A):

I dette og påfølgende delkapittel er det gjort to alternativer klimagassberegninger av råbygget som ble bygget på Oppsal Senter. Den første beregningen er kalt Lavkarbon A fordi betong er lagt til grunn med utslippsfaktorer tilsvarende Lavkarbon A (LKB-A). I tillegg er armering og konstruksjonsstål lagt inn med utslippsnivåer som ansees tilgjengelig i dagens marked. I det påfølgende kapitlet (4.1.2) er det gjort beregning med ytterligere forbedret betongkvalitet og armeringsstål.

De to alternativene er utført for å gi en indikasjon av effekten bedre materialegenskaper, med tanke på CO<sub>2</sub>-utslipp kan ha for råbyggets totale utslipp.

Tabellen under viser råbygget med Lavkarbon A. I tillegg omfatter løsningen bruk av armerings- og konstruksjonsstål med lavere CO<sub>2</sub>-belastning. Følgende er lagt til grunn for beregningen:

|                                      | Betongkvalitet | CO <sub>2</sub> -belastning   |
|--------------------------------------|----------------|-------------------------------|
| Ferdigbetong – Konstruktivt dekke    | B30 / M60      | 180 kg CO <sub>2</sub> / M3   |
| Ferdigbetong – Konstruktivt takdekke | B35 / M45      | 230 kg CO <sub>2</sub> / M3   |
| Ferdigbetong – Innervegger           | B30 / M60      | 180 kg CO <sub>2</sub> / M3   |
| Plattendekker 50mm slakkarmert       | B30 / M60      | 15 kg CO <sub>2</sub> / M2    |
| Balkonger                            | B45 / M45      | 52 kg CO <sub>2</sub> / M2    |
| Trapper                              | B35 / M45      | 100 kg CO <sub>2</sub> / Tonn |
| Armering                             |                | 0,393 kg / kg armeringsstål   |
| Stålkonstruksjoner av HUP            |                | 1,18 kg / kg bærestål         |

**Tabell 4**

Tabell 6 viser en reduksjon i klimagassutslipp fra alle komponentene av bygget i forhold til det faktisk bygde prosjektet.

Tilgjengeligheten på ferdigbetong i Lavkarbon A er generelt god i Norge med unntak av deler av Innlandet og Sogn og Fjordane hvor tilgangen kan være utfordrende.

For de prefabrikkerte elementene finnes det produsenter som kan levere i Lavkarbon A eller jobber for å kunne tilby dette.

Tabell 7 og 8 viser resultatene fra beregningen. Med de materialelegenskapene som er lagt inn indikerer beregningene et klimagassutslipp på ca. 431.272 kg CO<sub>2</sub>e, som tilsvarer ca. 96 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> BTA.

Resultatene indikerer at tiltakene i dette alternativet gir en reduksjon i klimagassutslipp på ca. 26% sammenliknet med beregningen fra oppføringen av råbygget på Oppsal Senter.

Reduksjonen er på ca. 157.072 kg CO<sub>2</sub>e, eller ca. 35 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> BTA.

| Prosjektets CO <sub>2</sub> e fordeling inkl BD 28 Trapper og balkonger | Kg CO <sub>2</sub> e (A1-A3) | % fordeling CO <sub>2</sub> e (A1-A3) |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 25 Konstruktivt dekke (Platten)                                         | 245 344                      | 57 %                                  |
| 24 Innervegger Betong                                                   | 78 760                       | 18 %                                  |
| 26 Konstruktivt takdekke (Platten)                                      | 42 365                       | 10 %                                  |
| 28 Balkonger                                                            | 31 851                       | 7 %                                   |
| 25 Gulvsparkling/avretingsmasse                                         | 15 791                       | 4 %                                   |
| 28 Trapper                                                              | 9 462                        | 2 %                                   |
| 22 Søyler og bjelker                                                    | 7 697                        | 2 %                                   |
| Sum                                                                     | 431 270                      | 100 %                                 |

**Tabell 5**

| Prosjektets CO <sub>2</sub> e fordeling inkl BD 28 Trapper og balkonger | Kg CO <sub>2</sub> e (A1-A3) | % fordeling CO <sub>2</sub> e (A1-A3) |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Ferdigbetong                                                            | 231 056                      | 54 %                                  |
| Plarttendekker                                                          | 88 642                       | 21 %                                  |
| Armering                                                                | 46 773                       | 11 %                                  |
| Balkonger                                                               | 31 851                       | 7 %                                   |
| Gulvsparkel/avretingsmasse                                              | 15 791                       | 4 %                                   |
| Trapper                                                                 | 9 462                        | 2 %                                   |
| Konstruksjonsstål og brannisolering                                     | 7 697                        | 2 %                                   |
| Sum                                                                     | 431 272                      | 100 %                                 |

**Tabell 6**

#### 4.1.2 Alternativ utførelse: Lavkarbon Ekstrem

I dette delkapittelet er beregningen av råbygget lagt til grunn med betong utført i Lavkarbon Ekstrem. Dette gjelder både plasstøpt og prefabrikkerte produkter (trapper, balkonger og plattendekker). I tillegg omfatter løsningen bruk av armeringsstål med ytterlig redusert CO<sub>2</sub>-belastning. Følgende er lagt til grunn for beregningen:

|                                      | Betongkvalitet | CO <sub>2</sub> -belastning             |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------------|
| Ferdigbetong - Konstruktivt dekke    | B30 / M60      | 90 kg CO <sub>2</sub> / M <sup>3</sup>  |
| Ferdigbetong - Konstruktivt takdekke | B35 / M45      | 140 kg CO <sub>2</sub> / M <sup>3</sup> |
| Ferdigbetong - Innervegger           | B30 / M60      | 90 kg CO <sub>2</sub> / M <sup>3</sup>  |
| Plattendekker 50mm slakkarmert       | B30 / M60      | 15 kg CO <sub>2</sub> / M <sup>2</sup>  |
| Balkonger                            | B45 / M45      | 52 kg CO <sub>2</sub> / M <sup>2</sup>  |
| Trapper                              | B35 / M45      | 100 kg CO <sub>2</sub> / Tonn           |
| Armering                             |                | 0,339 kg / kg armeringsstål             |
| Stålkonstruksjoner av HUP            |                | 1,18 kg / kg bærestål                   |

**Tabell 7**

For beregningen er plasstøpt og prefabrikkerte produkter lagt til grunn med CO<sub>2</sub>-belastningen på nivå med Lavkarbon Ekstrem. Tilgangen på produktene er begrenset. I tillegg vil utførelsen med denne typen produkter kunne være krevende fordi ferdigbetong av denne typen er følsom for værforhold. Løsningen er likevel beregnet fordi det ansees relevant å se potensialet som ligger i videreutvikling av produkter.

For armering er det benyttet CO<sub>2</sub>-belastningen på 0,393 kg/kg. Dette finnes det produsenter som kan levere fordi de har stor andel gjenvunnet stål i armeringen og en produksjon med lavere avtrykk.

| Prosjektets CO2e fordeling inkl BD 28 Trapper og balkonger | Kg CO2e (A1-A3) | % fordeling CO2e (A1-A3) |
|------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| 25 Konstruktivt dekke (Platten)                            | 141 837         | 54 %                     |
| 24 Innervegger Betong                                      | 46 072          | 17 %                     |
| 26 Konstruktivt takdekke (Platten)                         | 27 046          | 10 %                     |
| 28 Balkonger                                               | 20 476          | 8 %                      |
| 25 Gulvsparkling/avrettingsmasse                           | 15 791          | 6 %                      |
| 28 Trapper                                                 | 4 648           | 2 %                      |
| 22 Søyler og bjelker                                       | 7 671           | 3 %                      |
| Sum                                                        | 263 541         | 100 %                    |

**Tabell 8**

| Prosjektets CO2e fordeling inkl BD 28 Trapper og balkonger | Kg CO2e (A1-A3) | % fordeling CO2e (A1-A3) |
|------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Ferdigbetong                                               | 118 503         | 45 %                     |
| Plarttendekker                                             | 52 056          | 20 %                     |
| Armering                                                   | 44 396          | 17 %                     |
| Balkonger                                                  | 20 476          | 8 %                      |
| Gulvsparkel/avrettingsmasse                                | 15 791          | 6 %                      |
| Trapper                                                    | 4 648           | 2 %                      |
| Konstruksjonsstål og brannisolering                        | 7 671           | 3 %                      |
| Sum                                                        | 263 541         | 100 %                    |

**Tabell 9**

Beregningsresultatene er vist i tabell 10 og 11. Med de materialelegenskapene som er lagt inn indikerer beregningene et klimagassutslipp på ca. 263.541 kg CO2e, som tilsvarer ca. 59 kg CO2e per m2 BTA.

Dette alternativet kan gi en reduksjon i klimagassutslipp fra råbygget på ca. 55% i forhold til kvalitetene det var normalt på bygge med da Oppsal Senter ble oppført. I forhold til alternativ Lavkarbon A indikerer beregningen en reduksjon på ca. 39%.

Mellom Lavkarbon A og Ekstrem finnes klassen Lavkarbon Pluss. Tilgang på både Lavkarbon Ekstrem og Pluss er begrenset. Ferdigbetong i Ekstrem kan leveres enkelte steder i Norge.

Pluss er i utgangspunktet tilgjengelig i de største byene, men tilbudet er begrenset av at det ikke er mulig å kombinere alle fasthetsklasser og bestandighetsklasser for slik betong.

Tilsvarende kan få produsenter av prefabrikkerte elementer i 2024 tilby betongprodukter med Lavkarbon Ekstrem.

## 4.2 Bæring av stål og hulldekker

### Hvordan fungerer bæresystemet i praksis?

Hulldekker består av prefabrikkerte betongelementer med innstøpte hulrom, som gir et lettere tverrsnitt sammenlignet med massive betongdekker. Disse dekkene er prefabrikkert for å optimalisere produksjon og installasjon, og stål- eller annen forsterkning brukes for å øke styrken til elementene.

Bruken av hulldekker i råbygg gir flere konstruksjonsmessige fordeler som bidrar til effektivitet, holdbarhet og kostnadsbesparelser samt noen begrensninger.

### FORDELER VED BÆRESYSTEMET

**Vektredusering:** Hulldekker har et hulromsdesign som resulterer i betydelig lavere vekt sammenlignet med massive betongdekker. Dette letter konstruksjonsprosessen, reduserer belastningen på bygningens struktur og muliggjør større spennvidder, noe som gir mer designfrihet og færre behov for ekstra støttestrukturer.

**Prefabrikasjon og rask installasjon:** Hulldekker produseres vanligvis som prefabrikkerte elementer, muliggjør raskere og mer effektiv installasjon på byggeplassen. Prefabrikasjon reduserer også behovet for bygging av forskaling på stedet, noe som kan redusere arbeidstiden og minimere avfall.

**Kostnadsbesparelser:** Den raske installasjonen, prefabrikasjonen og reduserte behovet for forskaling kan samlet sett føre til kostnadsbesparelser i byggeprosessen.

**Redusert materialforbruk:** Ved å utnytte hulrommene optimalt og benytte lettere materialer, kan hulldekker redusere det totale materialforbruket, noe som bidrar gunstig til bærekraft og økonomi.

**Optimalisert lydisolasjon og brannmotstand:** Ved å legge til riktig lydisolerende materiale oppå hulldekkene og bruke brannhemmende materialer, kan hulldekker forbedre bygningens lydisolasjon og brannmotstand.

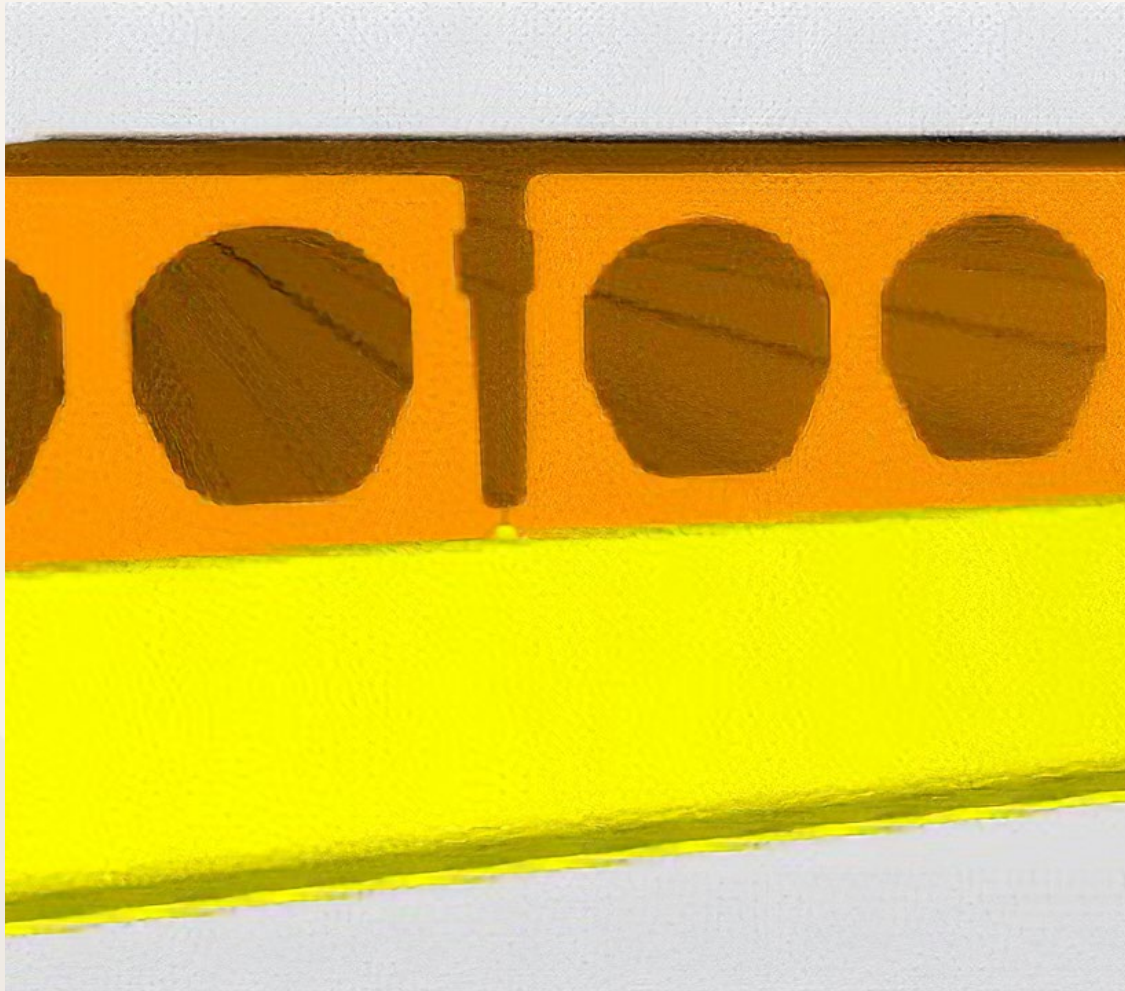
**Miljøbelastning og CO2-utslipp:** Miljøbelastning og CO2-utslipp spiller en betydelig rolle i byggeprosessen, spesielt knyttet til produksjonen av betong. Under denne produksjonsfasen frigjøres betydelige mengder karbondioksid (CO<sub>2</sub>) og utgjør dermed en vesentlig miljøpåvirkning. Imidlertid kan prefabrikasjon av hulldekker bidra til å redusere den totale miljøbelastningen ved å optimalisere materialbruk og minimere avfall. Moderne tilnærminger til å håndtere denne utfordringen inkluderer bruken av lavkarbonbetong, alternative bindemidler og materialgjenvinning, som alle har potensial til å betydelig redusere CO<sub>2</sub>-utslippene.

### ULEMPER VED BÆRESYSTEMET

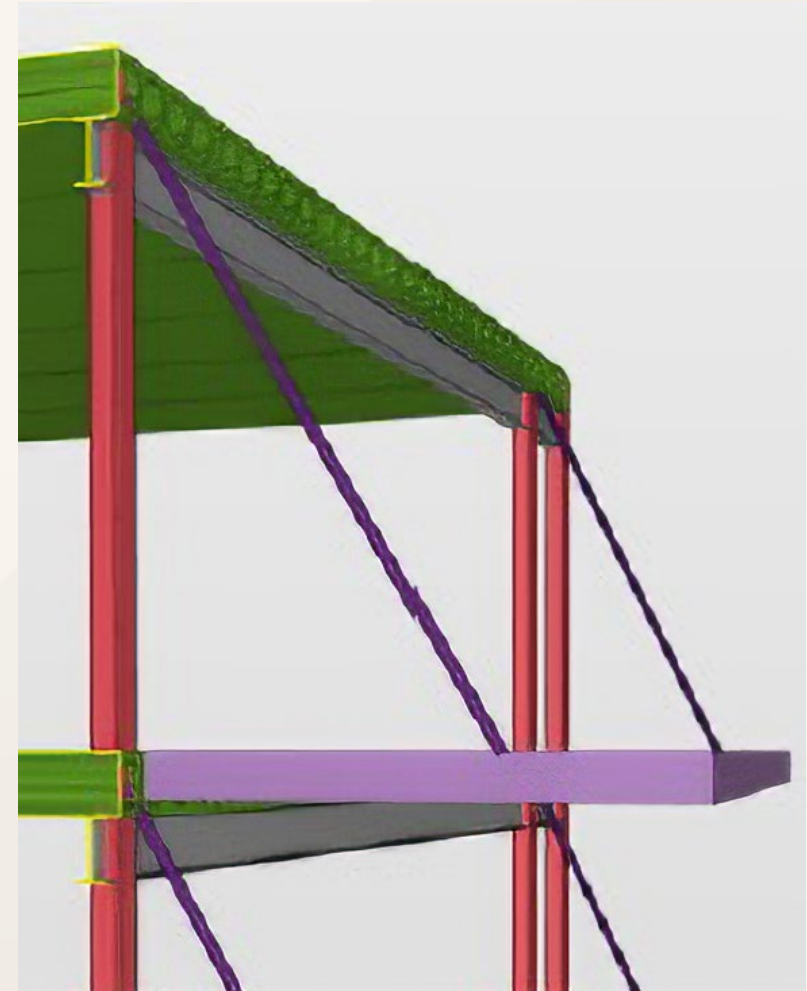
**Konstruksjonsdesign:** Konstruksjonsdesign og tomten råbygget skal monteres på føre til store utfordringer i byggeprosessen.

**Hulrom:** Hulrommene i dekket begrense tilgjengeligheten for installasjon av tekniske føringer, noe som krever ekstra planlegging og tilpasninger. Videre kan hulrommene i dekkene by på utfordringer i forhold til å opprettholde god tetthet i bygget med tanke på bygningsfysiske egenskaper for det ferdige byggeriet.

**Kompleksitet/standardisering:** Behovet for tilpasning av standarddesign av elementene kan også øke kompleksiteten i prosjektet.



**ILLUSTRASJON 3:** Snitt igjennom hulldekkeskjøl opplagt på stålbejelke



**ILLUSTRASJON 4:** Knutepunkt dekkekant med balkong

#### 4.2.1 Alternativ utførelse: Prefabrikeret betong med miljøklasse Lavkarbon A (LKB-A) og Lavkarbon Pluss

Stål/hulldekker en gunstig konstruksjonsmetode for råbygget på Oppsal. Spenninndeling, byggets geometri og plasseringen av heis og trappesjakter gir gunstige forutsetninger for ett råbygg i stål/hulldekker. Råbygget består hovedsakelig av bjelker og søyler i stål, mens dekker, vegger, balkonger og trapper er utført i betong.

| Lavkarbon Klasse A           | Kg CO <sub>2</sub> e (A1-A3) | % fordeling |
|------------------------------|------------------------------|-------------|
| HD 200/265 - Klasse A        | 168 986                      | 46,6 %      |
| Skillevegg - Klasse A        | 87 613                       | 24,2 %      |
| Stålsøyler                   | 42 020                       | 11,6 %      |
| Stålbjelker                  | 7 040                        | 1,9 %       |
| Gukvsparkel/avrettningsmasse | 15 791                       | 4,4 %       |
| Balkonger (LKB-A)            | 31 851                       | 8,8 %       |
| Trapper (LKB-A)              | 9 462                        | 2,6 %       |
| Sum                          | 362 763                      | 100 %       |

**Tabell 10: Sammenheng vekt andel materialer mot klimagassavtrykket**

Hovedkilden til miljøbelastning i sammenheng med hulldekker stammer fra produksjonen av betong og stål. Begge materialer gjennomgår energiintensive prosesser som kan føre til betydelige CO<sub>2</sub>-utslipp. Moderne byggepraksis blir stadig mer opptatt av å utforske bærekraftige alternativer og teknologier for å minimere miljøbelastningen.

Klimagassutslippet for hulldekker er vurdert for to ulike typer betong, for å illustrere de mulige forbedringene av klimagassutslipp. Det er sammenlignet Lavkarbon A og Lavkarbon Pluss som er en miljøforbedret betong.

Dekkekonstruksjonene representerer den største andelen materialer, og klimagasspåvirkningen stammer da hovedsakelig fra betongen og armeringen i dekkene. Søyler og bjelker i stål har en ugunstig innvirkning på klimagassregnskapet, da stål genererer ett større klimagassavtrykk kilogram materiale.

Tabell 12 viser sammenhengen mellom andel materialer i vekt mot andelen denne vekten utgjør for klimagassavtrykket i CO<sub>2</sub>.

#### **Lavkarbon A:**

Lavkarbon A er tilgjengelige på markedet, og bidrar til redusert CO<sub>2</sub>-utslipp sammenlignet med konvensjonelle betongtyper. Det krever mindre ressurser og tiltak for å skifte ut fra konvensjonelle betongtyper til Lavkarbon A.

| Lavkarbon klasse Pluss       | Kg CO2e<br>(A1-A3) | %<br>fordeling |
|------------------------------|--------------------|----------------|
| HD 200/265 - Klasse Pluss    | 141 740            | 45,5 %         |
| Skillevegg - Klasse Pluss    | 79 856             | 25,6 %         |
| Stålsøyler                   | 42 020             | 13,5 %         |
| Stålbjelker                  | 7 040              | 2,3 %          |
| Gukvsparkel/avrettningsmasse | 15 791             | 5,1 %          |
| Balkonger (LKB Ekstrem)      | 20 476             | 6,6 %          |
| Trapper (LKB Ekstrem)        | 4 648              | 1,5 %          |
| Sum                          | 311 571            | 100 %          |

**Tabell 11: Råbygg med Lavkarbon klasse A**

Beregningen gir en indikasjon på at tiltakene i Lavkarbon klasse A kan gi en reduksjon i klimagassutslipp fra råbygget på ca. 39%. Dette til sammenligning med kvalitetene det var normalt å bygge med i 2018 da Oppsal Senter ble oppført.

### Lavkarbon Pluss

Lavkarbon Pluss har en større reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp enn Lavkarbon A. For å produsere Lavkarbon Pluss kreves det spesielle sementtyper, eller tilsetning av store mengder flyveaske og slagg, i tillegg til silikastøv. Transport på råvarer teller inn på CO<sub>2</sub>-regnskapet til betongen og er med på å bestemme hvilken lavkarbonklasse betongen kan klassifiseres som. Variasjoner i transportlengder, tilgang på ønsket bindemiddel og tilslagsegenskaper medfører at i enkelte regioner er det ikke mulig å produsere Lavkarbon Pluss. Betong i Lavkarbon Pluss er mer ressurskrevende og kostnadsdrivende å produsere enn Lavkarbon A.

| Fordeling av materialer og CO <sub>2</sub> | Kg MAT.   | Andel % mat. | Kg CO <sub>2</sub> | Andel % CO <sub>2</sub> |
|--------------------------------------------|-----------|--------------|--------------------|-------------------------|
| Hulldekker                                 | 1 339 996 | 55,89 %      | 162 130            | 45,64 %                 |
| Balkonger                                  | 93 354    | 12,24 %      | 49 510             | 13,94 %                 |
| Betongvegg                                 | 740 915   | 30,90 %      | 94 500             | 26,60 %                 |
| Stålsøyler                                 | 16 514    | 0,69 %       | 42 020             | 11,83 %                 |
| Stålbjelker                                | 6 784     | 0,28 %       | 7 040              | 1,98 %                  |

**Tabell 12: Råbygg med Lavkarbon Pluss**

Beregningen gir en indikasjon på at et prefab bygg med Lavkarbon Pluss kan gi en reduksjon i klimagassutslipp fra råbygget på ca. 48%, i forhold til da Oppsal Senter ble oppført.

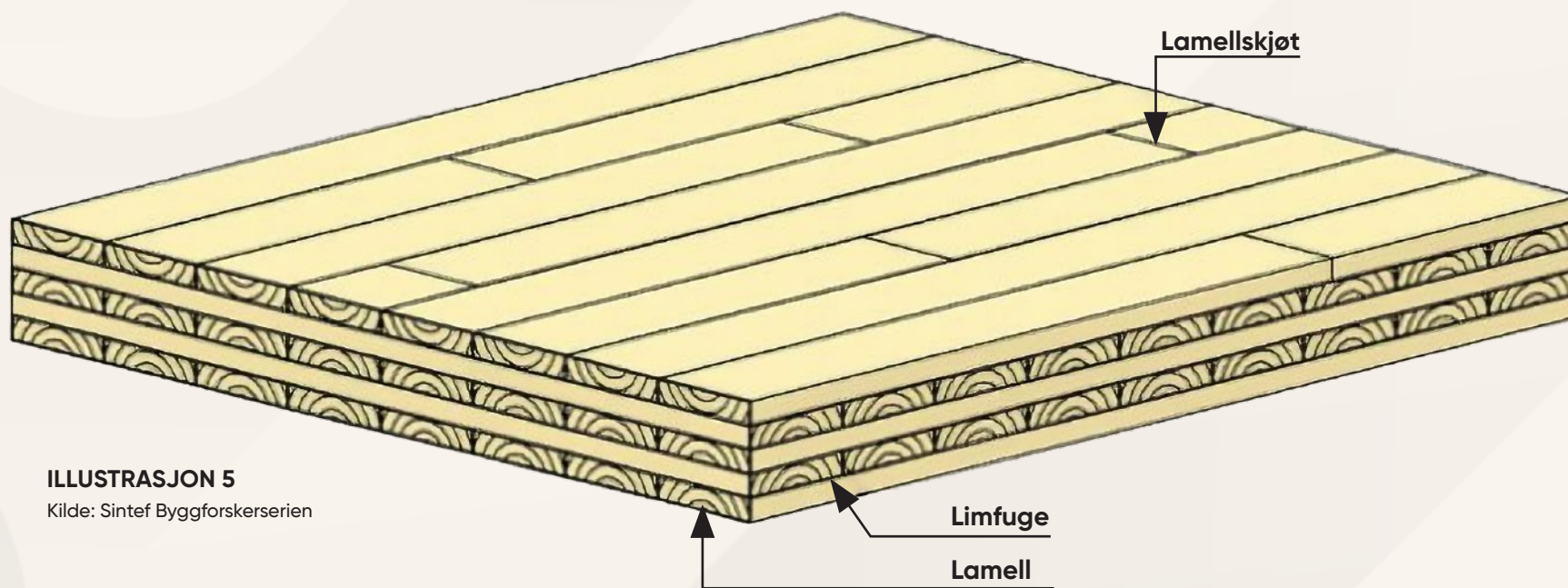
### 4.3 Bæring av trealternativ

#### Hvordan fungerer bæresystemet i praksis?

Bæresystem i tre er basert på kombinert bæring med massivtreplater i dekke og vegger og limtre i søyle og bjelker. Både massivtre og limtre bygges opp av sammenlimte lameller. Lamellene som benyttes er vanlige treplanker med varierende

tykkelse og bredder avhengig av dimensjon. På denne måten kan man produsere store sammenlimte tre-elementer.

Plater i massivtre bygges opp av tre til ni lags krysslagte lamellesjikt hvor fem og sju sjikt er mest vanlig. Disse limes sammen slikt at man får en formstabil og sterk plate som både kan benyttes som vertikal bæring i form av vegger og horisontal bæring i form av dekker.



ILLUSTRASJON 5

Kilde: Sintef Byggeforskerserien

Bjelker og søyler i limtre bygges opp med lameller av ulik kvalitet hvor de ytre lamellene har en høyere strekkstyrke enn de midtre. På denne måte oppnår man en god utnyttelse av skogens naturlige

variasjon samtidig som man får en bjelkekonstruksjon hvor man får best kvalitet der belastningen på tverrsnittet er størst.



**ILLUSTRASJON 6:**  
Konstruksjon med  
limtre. Kilde: Moelven

Hovedbæringen idekkekonstruksjonen er en massivtreplate som spenner mellom vegger i massivtre eller bjelker i limtre. Disse dekkene er lette og trenger derfor ekstra tyngde i form av betongpåstøp for å oppnå tilstrekkelig lydisolering. Denne påstøpen kan gjøres konstruktiv eller ikke.

Det at påstøpen er konstruktiv betyr at betong og massivtre samvirker og utgjør et samlet statisk element. I praksis betyr det at samlet høyde på elementet kan reduseres i forhold til om påstøpen kun utgjør en "dødvekt". Begge løsninger krever tiltak for å oppnå lyd og brannkravet til boliger. Lyd er en større utfordring enn brann, men krav til begge bør være løsbart.

Balkongdekkene er en massivtreplate med en vanntett membran på oversiden og med et beskyttende overgulv av eksempelvis terrassebord. Det er sannsynlig at man må gjøre tiltak på undersiden for å hindre brannsmitte. Dette kan løses ved å påføre et brannhemmende malingssystem. Denne type konstruksjoner er levert blant annet på Mjøstårnet i Brumunddal.

Bæring i åpne gavler og nødvendige innvendig bæring foruten massivtrevegger utføres med søyler og bjelker i limtre. For understøttelse av balkonger benyttes impregnerte limtresøyler eksponert for "vær og vind".



**ILLUSTRASJON 7:** Bæresystem i tre er basert på kombinert bæring med massivtreplater i dekke og vegger og limtre i søyle og bjelker.

## FORDELER VED BÆRESYSTEMET

**Kortreist:** Bæresystemet er produsert av en fornybar ressurs som er utvunnet gjennom bærekraftig norsk skogbruk. Dette gjør at man i mange tilfeller kan levere et kortreist bæresystem til byggeplass. Produksjonen av bæresystemet er lite energikrevende, og gjenbruksgraden er stor. Samlet sett anses bæresystemet å være svært klimavennlig.

I forhold til egenvekt er tre faktisk sterkere enn både stål og betong.

**Prefabrikasjon:** Et bæresystem i tre egner seg svært godt for prefabrikasjon. Alle deler både i massiv- og limtre kan bearbeides og leveres med høy nøyaktighet fra fabrikk. Til dette benyttes CNC-styrte maskiner som bearbeider plater og bjelker etter datafiler som er generert i avanserte 3D modeller. CNC maskinene skjærer form, freser for skjulte tekniske installasjoner, borer og tilpasser for konstruktive beslag slik at elementet er fiks ferdig for montasje ved ankomst byggeplass. Dette reduserer montasjetiden og du får en rask og sikker installasjon.

Det er derfor mulig å gjøre elementene ferdig på bakken slik at man reduserer arbeider i høyden til et minimum. Dette er med på å sikre en trygg montasje som reduserer risiko for både person og materielle skader. Graden av oppretting i etterkant blir også da minimal. Erfaringer fra Mjøstårnet i Brumunddal (84m høyt) og Treet i Bergen (51m høyt) viser plasseringsavvik på maksimalt 2,5 cm ved etterkontroll av geometri.

Byggene kan sammenlignes med å bygge LEGO for store jenter og gutter, hvor alle nødvendige tilpasninger og hullboringer er

utført og det er kun å skru inn riktig skrue eller bolt på riktig sted. Lett materiale: Tre er et lett byggemateriale og et bæresystem basert på tre vil gi et lett bæresystem. Dette vil være med på å gi reduserte fundamentkrefter. Dette vil i mange tilfeller forenkle fundamenteringen og redusere kostnaden for dette. Et lett bygg er også fordelaktig mtp. på jordskjelv siden det er mindre masse som blir satt i akselerasjon.

Det at materialet er lett vil også bidra positivt til både transport og montasje. Ved transport kan man kjøre flere elementer på samme lass og dermed redusere antall transportere. Ved montasje vil man spare utgifter til kraning.



**ILLUSTRASJON 8:** Et prefabrikkert element monteres på byggeplass. Kilde: SPLITKON/Foto: HasleTre v/Moritz Groba

**Brannegenskaper:** Bjelker og søyler i limtre har gode brannegenskaper. De produseres med et lim som ikke påvirkes av høy temperatur noe som gjør at de brenner med stor forutsigbarhet. Innenfor forkullingslaget vil styrken være uforandret, og man kan enkelt kontrollere at man har igjen nok resttverrsnitt i en brannsituasjon. @

Fordi en limtrekonstruksjon utgjør en liten del av bygningsmassen, bidrar de i liten grad til brannenergien. Samtidig er overflatearealet på konstruksjonen samlet sett lite og avgrenset, slik at de bidrar til svært lite brannspredning. Brannrapport utarbeidet ifm. bygging av Mjøstårnet viser at en limtrekonstruksjon bestående av søyler og bjelker kan motstå et fullstendig brannforløp ved riktig utførelse.

**Helsefordeler:** Nyere forskning viser at bygg oppført med bruk av tre kan gi en god helsemessige effekt på brukerne av bygget. Kontorbygg oppført i tre viser at trivselen på arbeidsplassen kan økes slik at sykefraværet blir redusert. Det hevdes at treoverflater gir noe av samme følelsen som det være ute i skogen.

## ULEMPER VED BÆRESYSTEMET

**Lydkrav:** Tre er som tidligere omtalt et lett byggemateriale. Det er en fordel på mange områder, men er en ulempe når man kommer til lyd hvor høy egenvekt på materialet er en god egenskap. Det betyr at lydisolerende elementer i tre som skillevegger og dekker krever en god del påbygging for å oppnå lydkravet. Således har man i boligbygg i Norge frem til i dag benyttet tredekker i liten grad siden lydkravet her er strengt. Påbygging som isolasjon og påstøp vil redusere dekkets positive klimaegenskaper noe.

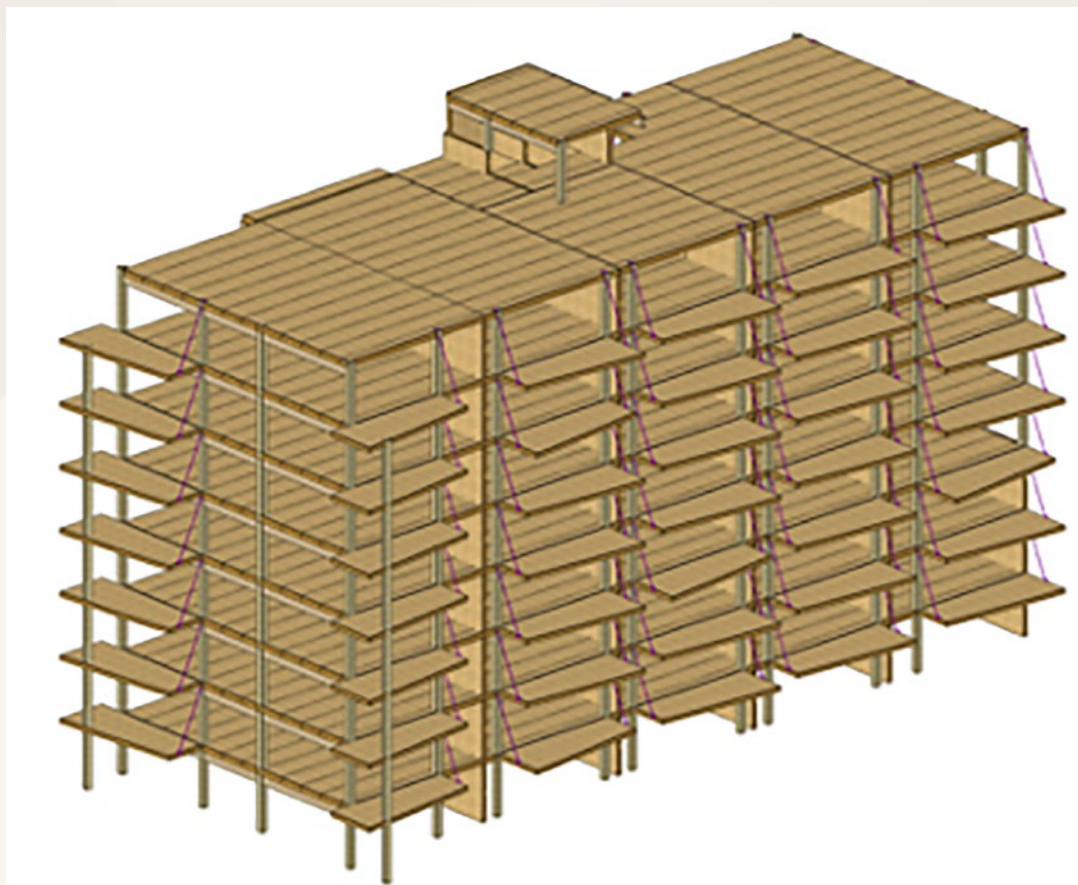
**Brannegenskaper:** Tre er også et brennbart materiale. For limtrebjelker og søyler er dette et lite problem, ref. Fordeler ved bæresystemet, selv om man kan regne med at tverrsnittet må økes noe pga. brann. Når det gjelder massivtreplater i vegger og spesielt dekker er saken noe annerledes. Massivtreplater utgjør store volumer og arealer noe som både bidrar til brannenergi og brannspredning. Det betyr at overflatene, helt eller delvis, må beskyttes med et ubrennbart materiale som gips. Dette vil både hindre brannspredning og i tillegg gi en konstruktiv beskyttelse. Om man ønsker en synlig treoverflate kan denne behandles med en brannhemmende maling. Denne gir i midlertidig kun en beskyttelse mot brannspredning.

**Konstruksjonstykkelser:** Grunnet påbygging for å oppnå nødvendig lyd- og brannegenskaper vil man i de fleste tilfeller ende opp i konstruksjonstykkelser som sammenlignet med betongkonstruksjoner vil være noe større. Når det gjelder dimensjoner for limtrebjelker og søyler vil disse også bli litt større enn om man sammenligner med brannisolerte stålkonstruksjoner. Det kan bety at de bygger inn i rommet og tar arealer, noen som i en del tilfeller vil være uhensiktsmessig. Generelt kan det konkluderes med at et bæresystem i tre vil være mere plasskrevende både i plan og snitt. Det må i noen tilfeller vurderes om en vil bygge høyere bygg, eller færre etasjer.

**Lett materiale:** Det er tidligere nevnt at det er flere fordeler ved at bygget er lett. Det finnes riktignok også noen ulemper. Det at bygget er lett gjør det noe mere krevende med tanke på stabilitet da bygget har mindre ballast. Det gjør at man i avstivingspunkter må påregne å forankre for løftekrefter siden påført egenvekt er en del mindre enn om bygget var oppført i betong.

#### 4.3.1 Alternativ utførelse i massivtre

Det er gjort klimagassberegning for et råbygg i massivtre, tilpasset Oppsal-bygget. Dette råbygget er beregnet med bærende massivtrevegger, limtrebjelker og -søyler i gavlvegger og massivtredekker. Balkonger er i massivtredekker med bæring av limtresøyler og stålstag. Det er antatt stålkonsoller/søylesko for limtresøyler. Illustrasjon av løsningen nedenfor.



Ved utførelse i massivtre vil det være behov for en del tilleggsløsninger/suppleringer for å ivareta spesielt brann og lyd. For å gjøre resultatene i klimagassberegningene noe mer sammenlignbare er det derfor gjort en ekstra beregning hvor slike suppleringer er medtatt. Disse suppleringerne er:

- På dekker er det lagt til oppbygning med 50mm trinnlydsplate og 80mm påstøp med Sparkelmasse.
- På dekker er det lagt til himling med 15mm branngips og 100mm lydhimling med 50mm isolasjon og 2x13mm gips
- På bærende vegger (forenklet antatt at alle er leilighetsskiller) er det lagt på 100mm isolert påforing med 2x13mm gips på en side og ett lag 15mm branngips på den andre siden.
- På balkonger og tak er det lagt til et lag tekking.

Resultatene fra de to beregningene er vist i påfølgende tabell og diagrammer.

**ILLUSTRASJON 9:** Råbygg  
i limtre. Kilde: Moelven  
Limtre AS

**Tabell 13**

| <b>Prosjektets CO2e fordeling<br/>inkl BD 28 Trapper og<br/>balkonger</b> | <b>MASSITVTRE (kun råbygg)</b> |                                         |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
|                                                                           | <b>Kg CO2e<br/>(A1-A3)</b>     | <b>% fordeling<br/>CO2e<br/>(A1-A3)</b> |
| 25 Konstruktivt dekke (Massivtre)                                         | 88 974                         | 52 %                                    |
| 24 Innervegger (Massivtre)                                                | 33 135                         | 19 %                                    |
| 26 Konstruktivt takdekke (Massivtre)                                      | 15 676                         | 9 %                                     |
| 28 Balkonger                                                              | 21 869                         | 13 %                                    |
| 25 Gulvsparkling/avretingsmasse                                           |                                | 0 %                                     |
| 28 Trapper                                                                | 2 419                          | 1 %                                     |
| 22 Søyler og bjelker                                                      | 9 431                          | 5 %                                     |
| Sum                                                                       | 171 504                        | 100 %                                   |

Tabell 15 viser resultatene for råbygget i massivtre. I tabell 16 er resultatene for råbygget inkludert nevnte suppleringer. Det er vår oppfatning at sparkelmasser er den utførelsen som er vanlig når det skal etableres tilstrekkelig tyngde/masse i dekkekonstruksjonen for å ivareta lydkrav. Selv om det sannsynligvis er ulemper knyttet til utførelsen er det interessant å se hvordan klimagassutslippene fra løsningen vil være dersom påstøp av ferdigbetong Lavkarbon A eller Lavkarbon Ekstrem benyttes. Det er derfor utledet tall for det også.

**Tabell 14**

|                                           | <b>kg CO2 ekv.</b> |
|-------------------------------------------|--------------------|
| Massivtre med suppleringer (sparkelmasse) | 340 115            |
| Massivtre med suppleringer (lkb-a)        | 312 441            |
| Massivtre med suppleringer (lkb ekstrem)  | 281 853            |

#### 4.4 Oppsamling og sammenligning

I kapittel 4.1 til 4.3 har det blitt presentert råbyggsleveranse for plaststøpt betong med plattendekker og stål, hulldekker og stål samt trealternativ. De ulike resultatene i form av CO<sub>2</sub>-utslipp kan ikke sammenlignes mot hverandre direkte. Hvert prosjekt må være klar over en del faktorer som bidrar positivt eller negativt for de ulike byggemetodene.

Plaststøpt betong med plattendekker og stål vil av de fleste boligkjøpere anses som mest komplett råbyggsleveranse i forhold

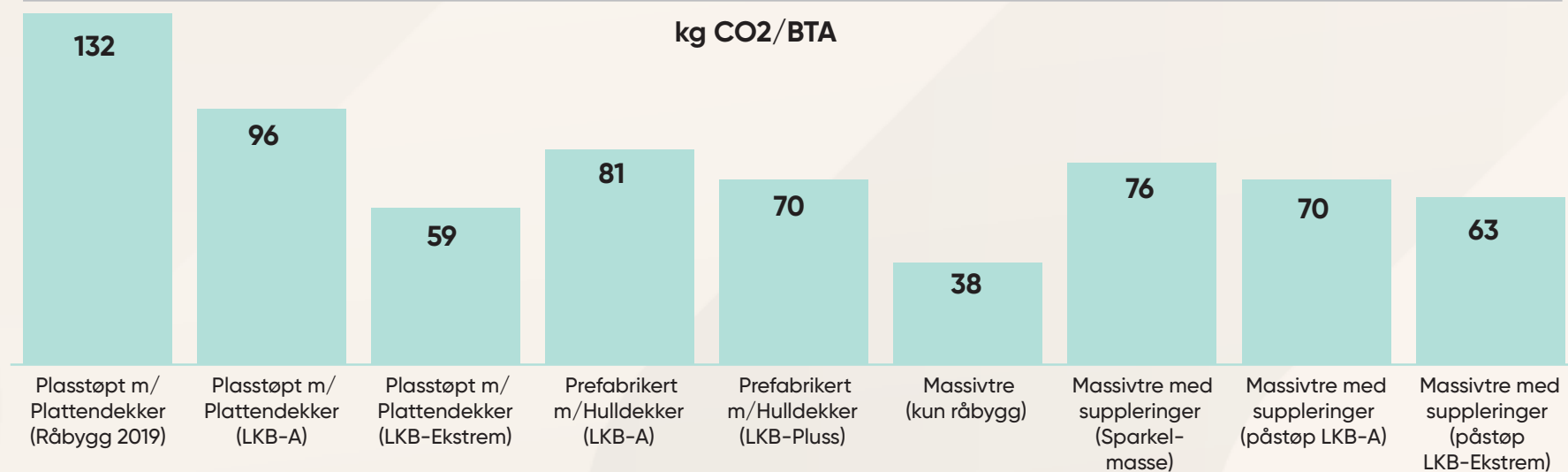
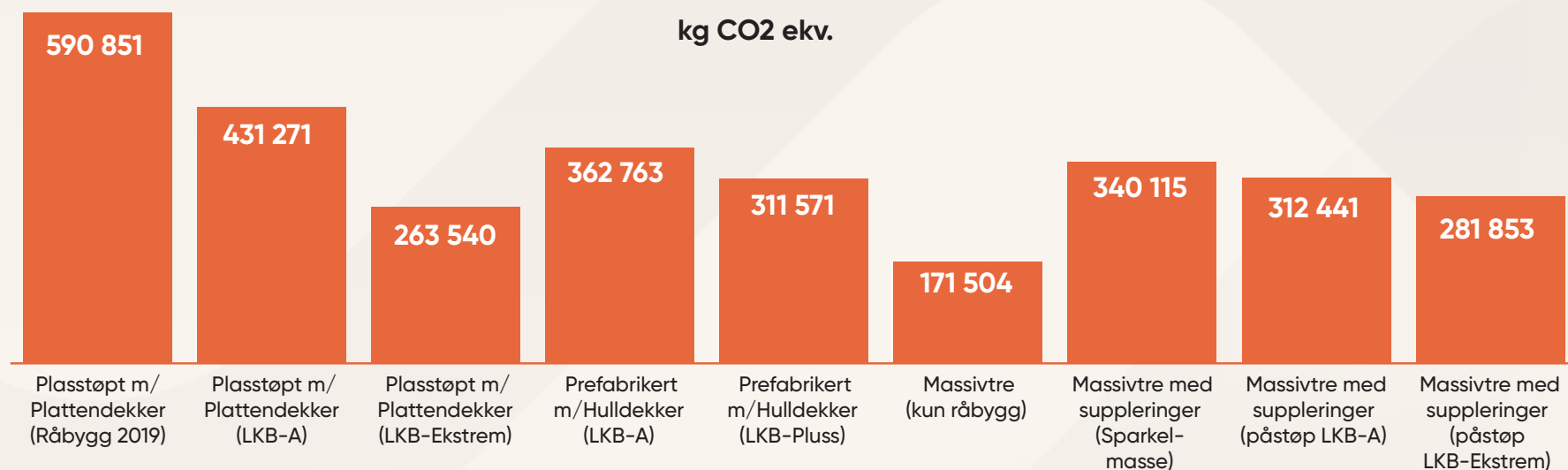
til støy/lyd og vibrasjoner. De andre byggemetodene vil kunne komme opp mot eller bli enda bedre med eventuelle tiltak som ikke er lagt inn i de presenterte klimagassvurderingene.

Referanseprosjektet Oppsal Senter hus A var et rasjonelt leilighetsbygg der betongskiver fungerte som skillevegger mellom leilighetene. I andre bygg med andre strukturer og aksebredder kan CO<sub>2</sub>-utslippene bli vesentlig endret fra Oppsal prosjektet.

I tabell 17-19 er resultatene fra kapittel 4.1 til 4.3 sammenstilt.

|                                                 | kg CO <sub>2</sub><br>ekv. | kg CO <sub>2</sub> /<br>BTA |
|-------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Plaststøpt m/Plattendekker (Råbygg 2019)        | 590 851                    | 132                         |
| Plaststøpt m/Plattendekker (LKB-A)              | 431 271                    | 96                          |
| Plaststøpt m/Plattendekker (LKB-Ekstrem)        | 263 540                    | 59                          |
| Prefabriert m/Hulldekker (LKB-A)                | 362 763                    | 81                          |
| Prefabriert m/Hulldekker (LKB-Pluss)            | 311 571                    | 70                          |
| Massivtre (kun råbygg)                          | 171 504                    | 38                          |
| Massivtre med suppleringer (Sparkelmasse)       | 340 115                    | 76                          |
| Massivtre med suppleringer (påstøp LKB-A)       | 312 441                    | 70                          |
| Massivtre med suppleringer (påstøp LKB-Ekstrem) | 281 853                    | 63                          |

**Tabell 15**



**Tabell 16 og 17**

Tabellene på forrige side viser en sammenligning av råbygg (Oppsal senter). Beregningene som er gjort indikerer at alle alternativene som er undersøkt gir betydelig reduksjon i CO<sub>2</sub> i forhold til råbygget med standardverdier fra 2018. Løsningene ligger relativt likt og innenfor intervallet 60–80 kg CO<sub>2</sub> ekv./m<sup>2</sup> BTA. Dette innebærer en reduksjon på ca. 40–55%.

Valg av bæresystem i forhold til kostnad og CO<sub>2</sub> avhenger av mange parameter:

- Tomtens beskaffenhet/størrelse/geometri
- Reguleringskart og bestemmelser (inkl. gesimshøyder)
- Grunnforhold
- Leilighetsmiks og tilhørende spennvidder mellom bærevegger
- Parkeringskrav (p-plasser under blokken eller utenfor?)
- Arkitektonisk utforming
- Etc.

I tillegg er det slik at alle løsninger ikke har samme totale dekketykkelse, og dermed kan noen løsninger gi bygg som er høyere enn andre løsninger.

Videre har det også vist seg at noen massivtrebygg får både noen yttervegger og innervegger som blir tykkere enn betongbygg. Og dermed kan en få et bygg som har flere BTA og færre salgbart areal (BRA-s). Samtidig er trebygg lettere og kan gi enklere fundamentering der grunnforholdene er krevende.

#### 4.5 Vurderinger rundt ulike dekketyper

Sammenligning av utslipp for ulike byggemåter på hele råbygg er komplekse. I foregående kapitel er det lagt inn tilleggsløsninger (suppleringer) i et forsøk på å gjøre alternativene sammenlignbare. Beregningene av klimagass i de foregående kapitlene viser at dekkene/etasjeskillene utgjør en stor andel av utslippene. Det er derfor gjort beregninger for fem ulike dekkeoppbygninger for å kunne sammenligne denne bygningsdelen detaljert.

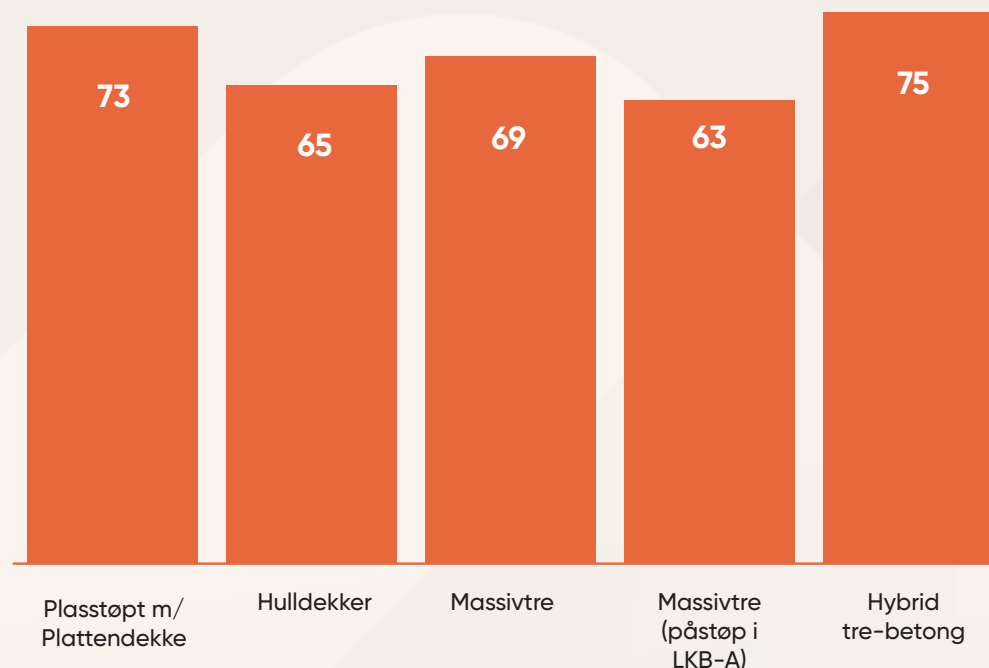
Løsningene det er gjort beregninger er;

- Plaststøpt betong med plattendekker (LKB-A)
- Hulldekker (LKB-A)
- Massivtre (med påstøp av sparkelmasse)
- Massivte (med påstøp av ferdigbetong LKB-A)
- Hybrid tre og betong

Det er mange ulike måter oppbygning av dekker kan løses på. Det er valgt oppbygninger som ansees å være løsninger som benyttes i bransjen og som ivareta brann- og lydkrav. Oppbygningene og resultatene fra beregningene fremkommer i tabellene under og til høyre.

|                                               | kg CO2 ekv. / m <sup>2</sup> |           |
|-----------------------------------------------|------------------------------|-----------|
|                                               | PR.SJIKT                     | SUM       |
| <b>PLASSTØPT BETONG<br/>MED PLATTENDEKKER</b> |                              |           |
| Parkett og parkettunderlag                    | 6                            | <b>73</b> |
| 15mm Sparkelmasse                             | 5                            |           |
| 210 mm Betong (LKB-A)                         | 47                           |           |
| 50 mm Plattendekke                            | 15                           |           |
| <b>HULLDEKKER</b>                             |                              |           |
| Parkett og parkettunderlag                    | 6                            | <b>65</b> |
| 65mm Sparkelmasse                             | 17                           |           |
| 40mm Trinnlydsplate                           | 10                           |           |
| 265 mm Hulldekker (LKB-A)                     | 32                           |           |
| <b>MASSIVTRE</b>                              |                              |           |
| Parkett og parkettunderlag                    | 6                            | <b>69</b> |
| 80mm Sparkelmasse                             | 21                           |           |
| 40mm Trinnlydsplate                           | 10                           |           |
| 200 mm Massivtre                              | 18                           |           |
| 15mm Brannngips                               | 3                            |           |
| 100mm hulrom med 50mm mineralull              | 8                            |           |
| 2x13mm gipsplate                              | 3                            |           |
| <b>MASSIVTRE (påstøp i LKB-A)</b>             |                              |           |
| Parkett og parkettunderlag                    | 6                            | <b>63</b> |
| 80mm Påstøp av ferdigbetong (LKB-A)           | 15                           |           |
| 40mm Trinnlydsplate                           | 10                           |           |
| 200 mm Massivtre                              | 18                           |           |
| 15mm Brannngips                               | 3                            |           |
| 100mm hulrom med 50mm mineralull              | 8                            |           |
| 2x13mm gipsplate                              | 3                            |           |
| <b>HYBRID TRE-BETONG</b>                      |                              |           |
| Parkett og parkettunderlag                    | 6                            | <b>75</b> |
| 25mm Sparkelmasse                             | 8                            |           |
| 40mm Trinnlydsplate                           | 10                           |           |
| 90 mm Konstruktiv betong (LKB-A)              | 21                           |           |
| 180 mm Massivtre                              | 16                           |           |
| 15mm Brannngips                               | 3                            |           |
| 100mm hulrom med 50mm mineralull              | 8                            |           |
| 2x13mm gipsplate                              | 3                            |           |

**Tabell 18**



**Tabell 19**

Resultatene viser at de delene av dekkeoppbygningene som består av sementbaserte produkter (betong og avrettingsmasser) bidrar vesentlig til klimagassutslipp. På grunn av behovet for mer oppbygning oppå, og himling under dekkene er differansen mellom alternativene med tre og betong ikke så stor. Utslippsnivået på løsning med massivtre påvirkes vesentlig av materialeegenskapene til produktene som benyttes for å få tilstrekkelig tyngde i dekket for å ivareta lydkrav.

Hybridløsningen med et konstruktivt dekke av både massivtre og betong virker basert på disse beregningene som en lite gunstig løsning. Løsningen er lite benyttet i Norge. Løsningen oppfattes også som en svært sammensatt og kompleks løsning med hensyn til utførelse. I forhold til gjenbruk/ombruk er disse hybriddekkene lite egnet, da det er umulig å skille materialene fra hverandre på enkel/skånsom måte.

#### 4.6 Fremtidig redusering av klimagassutslipp fra dekker

##### **Materialgjenvinning og ombruk:**

En økt bruk av resirkulerte materialer i produksjonen av betongelementer kan vesentlig redusere behovet for nyproduksjon av råmaterialer og dermed minske miljøpåvirkningen. Gjenvunnet tilslag fra restbetong brukes i produksjonen av nye produkter, mens størstedelen av prosessvannet gjenbrukes eller nøytraliseres før utslipp. Videre kan gjenvinning og gjenbruk av betongavfall fra byggeplasser effektivt redusere mengden avfall og behovet for nye ressurser.

Det gjennomføres pilotprosjekter i samarbeid med ledende entreprenører for å utforske muligheter for ombruk av huldekkerelementer, og dette representerer et progressivt skritt mot en mer bærekraftig praksis innen bygg- og anleggssektoren.

Trekonstruksjoner er svært godt egnet for gjenvinning og ombruk. Vanlig konstruksjonstre, brukt i stenderverk og bjelkelag, bør i fremtiden kunne ombrukes som lameller i produksjon av både limtre og massivtre. Konstruksjoner i limtre og massivtre kan bygges opp slik at man kan benytte lameller av sanert konstruksjonsvirke i de deler av tverrsnittet hvor styrke har mindre betydning. På denne måten kan man kombinere ombruk av lameller med nye styrkesorterte lameller. Søyler og bjelker i limtre og plater i massivtre som er har vært benyttet i bygg som rives,

bør i fremtiden kunne demonteres og benyttes i nybygg som nye konstruktive elementer. Såfremt ikke trekonstruksjonen er mekanisk skade eller angrepet av råte er den like god styrkemessig som om den skulle ha vært produsert på nytt. Trekonstruksjoner som rives og som blir for sterkt skadet for ombruk bør kunne gjenvinnes som flis i produksjon av bygningsplater.

##### **Alternative bindemidler og lavkarbonbetong:**

Det pågår en betydelig utvikling og anvendelse av alternative bindemidler i stedet for tradisjonell Portland-sement, og dette bidrar til en betydelig reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippene. Lavkarbonbetong, som inneholder mindre Portland-sement og dermed reduserer den totale karbonintensiteten, vinner økende popularitet som et miljøvennlig alternativ.

Videre representerer CCS-sement et betydelig fremskritt ved å forbedre CO<sub>2</sub>-utslippene. CCS-sement står for "Carbon Capture and Storage" og er en avansert teknologi designet for å redusere klimagassutslippene fra sementproduksjon. Den innebærer fangst av CO<sub>2</sub>-utslipp direkte fra sementfabrikker, etterfulgt av sikker lagring for å forhindre utslipp i atmosfæren. Dette reduserer betydelig den samlede klimapåvirkningen fra sementproduksjon ved å adressere CO<sub>2</sub>-utslipp fra kalksteinens kalsineringsprosess. CCS-sement er fortsatt under utvikling, og forskning fokuserer på å optimalisere teknologien for å gjøre den mer kostnadseffektiv og praktisk implementerbar .



Tabell 20

# Konklusjon

Globale klima- og miljøutfordringer presser frem nye løsninger i byggebransjen. Med stadig mer ekstrem vær og økte klimagassutslipp blir behovet for å tenke innovativ nødvendig for at bransjen skal ta sitt bærekraftsansvar.

Gjennom grundig analyse og utregning avdekker rapporten betydelige muligheter for reduksjon av klimagassutslipp i byggebransjen. Dette skjer gjennom strategisk valg og optimalisering av materialbruk. Det er særlig viktig å understreke at trekonstruksjoner fremstår som det beste alternativet fra et klimaperspektiv, men valget av bæresystem bør alltid vurderes i lys av det enkelte prosjekts behov og omstendigheter. Det inkluderer en vurdering av ikke kun klimagassutslipp, men også av faktorer som kostnader, arkitektoniske preferanser, lokale forhold, og tilgjengeligheten av materialer.

I rapporten demonstreres forskjellige materialbruks påvirkning, gjennom Oppsal senteret som ble bygget i 2018. Her har anvendelsen av bæresystemen plattendekker, hulldekker, dekker i massivtre med og uten konstruktiv påstøpt betong, demonstrert et betydelig potensial for å redusere klimagassutslipp.

For å realisere bransjens potensial for bærekraft, understreker rapporten nødvendigheten av å integrere faktorer som gjenbrukbarhet, fleksibilitet i ombygginger, og miljøpåvirkning i vurderingen av bæresystemer. Oppsal senteret viser tydelig hvordan teknologisk fremgang og innovasjon kan bidra til bærekraftige løsninger i byggebransjen, og peker på viktigheten av at slike praksiser blir normen.

Videre må byggeprosjekter balansere vurderinger rundt klimagassutslipp med

økonomiske betraktninger, slik som volatiliteten i råvarepriser og valutakurser. Dette kan påvirke konkurransefordelen til forskjellige bæresystemer. Denne komplekse vurderingen krever forståelse av hvert enkelt prosjekts kontekst og evne til å innovere og tilpasse seg i takt med bransjens utvikling.

Rapporten konkluderer med en sterk oppfordring til byggebransjen om å ha en proaktiv tilnærming til innovasjon og bærekraft, hvor det legges vekt på å utforske og implementere materialer og konstruksjonsmetoder som kan redusere klimagassutslipp. Ved å gjøre dette, kan bransjen ikke bare bidra til å bekjempe klimaendringene, men også sikre sin egen langsiktige levedyktighet og relevans i en stadig mer miljøbevisst verden.

*Konklusjonen i denne rapporten er, at det er store muligheter for å redusere klimagassutslippene ved riktig materialvalg.*

*Det er tydelig at valg av materialer og riktig bruk av materialer, med tanke på klimaavtrykk, spiller en nøkkelrolle i en mer bærekraftig byggepraksis.*

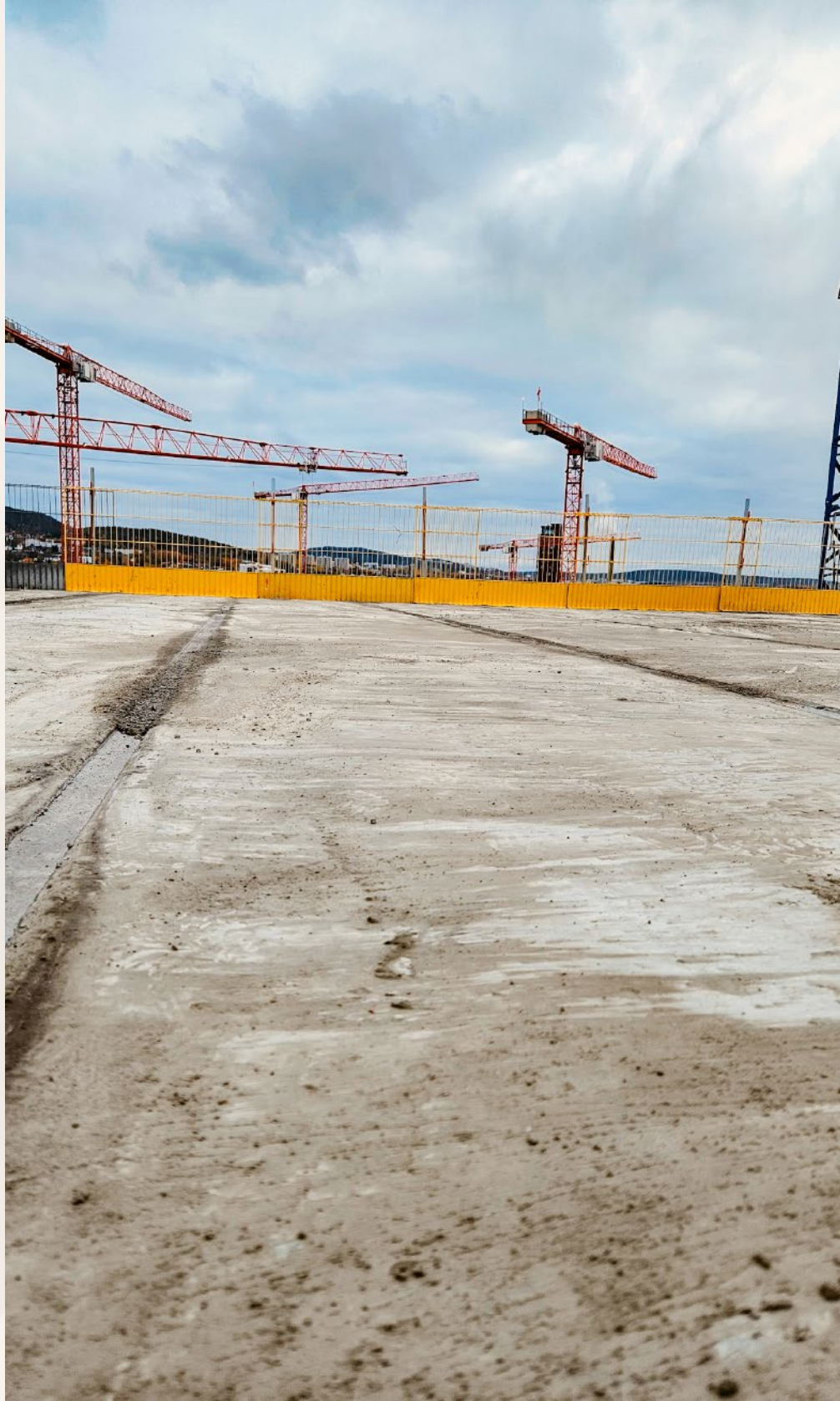
# Optimalisert materialbruk og klimagassutslipp bolig CCC

| Produksjonsmetode                             | Co2-utslipp | Helse- og miljøfarlige stoffer | Plast | Energi-effektivitet | Pris | Brann | Lyd | Tykkelse på dekket |
|-----------------------------------------------|-------------|--------------------------------|-------|---------------------|------|-------|-----|--------------------|
| Plass-støpt betong slakkarmert (plattendekke) |             |                                |       |                     |      |       |     |                    |
| Plass-støpt betong etterspent (plattendekke)  |             |                                |       |                     |      |       |     |                    |
| Bubbeldekker                                  |             |                                |       |                     |      |       |     |                    |
| Prefab stål og hulldekker (lavkarbonbetong)   |             |                                |       |                     |      |       |     |                    |
| Lecaplank                                     |             |                                |       |                     |      |       |     |                    |
| Dobbel T-element                              |             |                                |       |                     |      |       |     |                    |
| Tredekker TG20427                             |             |                                |       |                     |      |       |     |                    |
| Tredekker Tre8-kassettdেকে fra Moelven        |             |                                |       |                     |      |       |     |                    |
| Massivtre uten konstruktiv påstøp             |             |                                |       |                     |      |       |     |                    |
| Massivtre med konstruktiv påstøp              |             |                                |       |                     |      |       |     |                    |

POSITIV      NØYTRAL      NEGATIV

[illegible]





- Construction
- City Cluster
- ●

