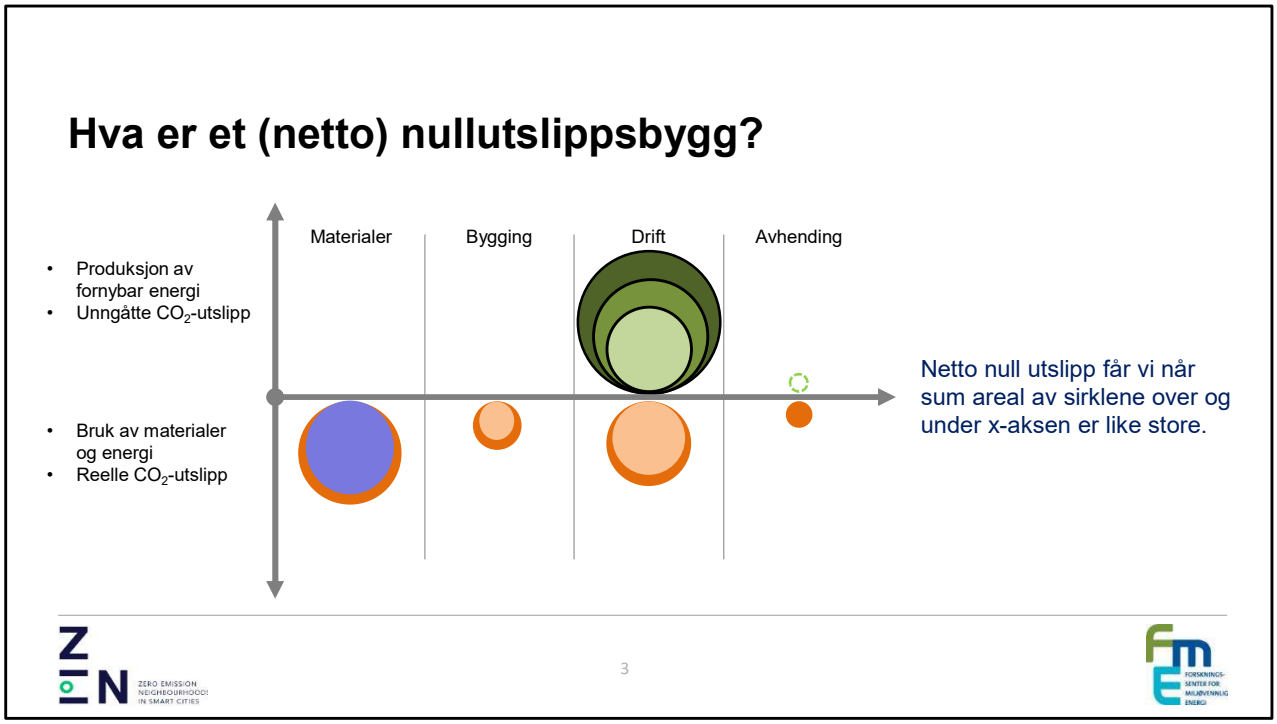
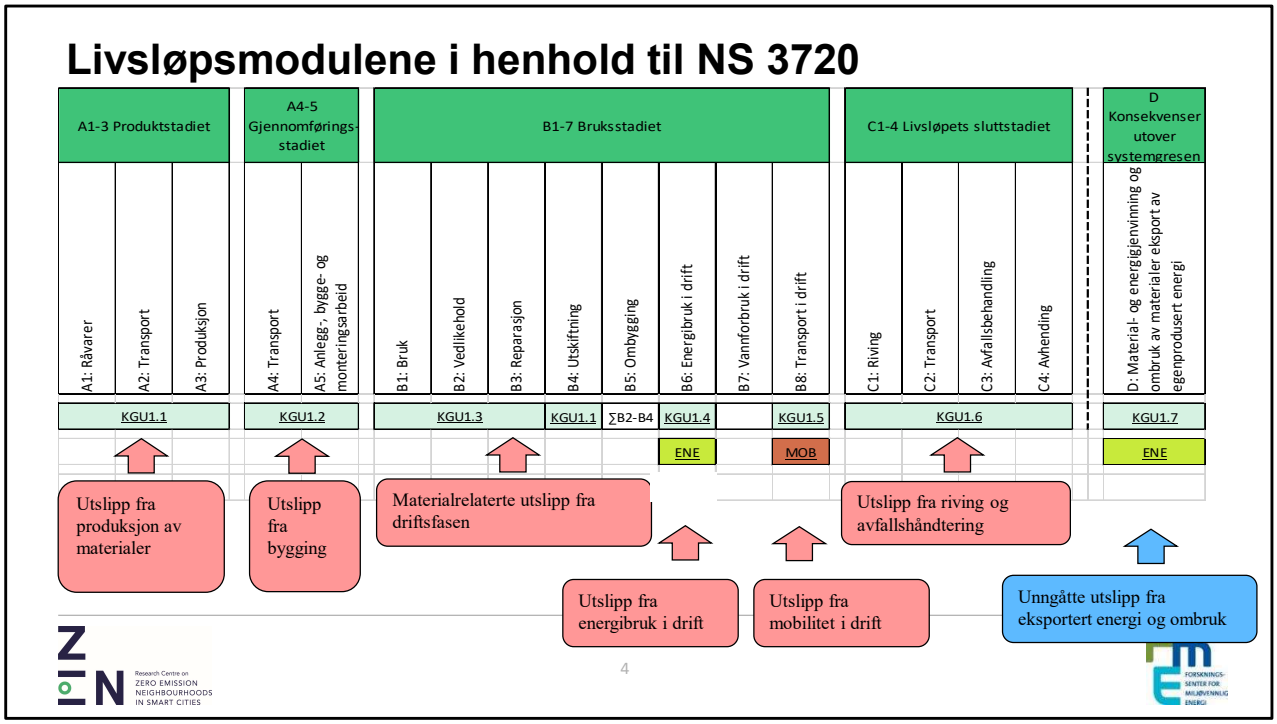
- Takk for invitasjonen til å gi et innlegg på seminaret.
- Jeg er professor i industriell økologi på EPT på NTNU.
- Jeg leder også arbeidspakken om det analytiske rammeverket i FME ZEN.
- Jeg skal snakke om materaler og utslipp knyttet til bygninger.

- Mer presist omfatter dette smakebiter fra forskningen jeg er involvert i ved senteret, der vi arbeider med metodikk og løsninger som brukes i planleggingen og utbyggingen av en rekke pilotprosjekter rundt om i landet.
- Jeg kommer inn på tankegangen og prinsippene for hvordan vi kan strekke oss mot netto null utslipp av klimagasser.
- Og jeg vil si både noe om beregningsmetodikk og om resultater fra noen utvalgte studier.

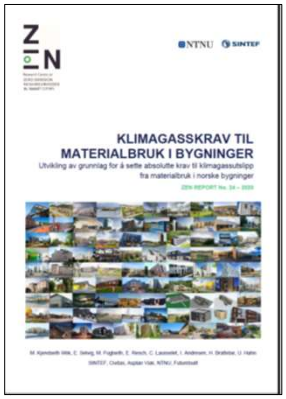


- Først, hva forstår vi med et nullutslippsbygg?
- Et bygg kan aldri gi null utslipp, fordi all produksjon, distribusjon, bearbeiding og bruk av materialer og energi jo vil gi utslipp. Men vi kan jobbe mot å nå <u>netto</u> null utslipp.
- Diagrammet viser sirkler over og under x-aksen. Si at størrelsen på sirklene under aksen angir størrelsen på klimagassutslipp fra forbruk av materialer og energi, i de fire fasene av livsløpet til et bygg.
- Men et bygg kan også produsere mer energi i driftsfasen enn det bygget selv bruker, og hvis dette er fornybar energi med små utslipp, da kan denne overskuddsenergien eksporteres til annet formål og erstatte alternativ energi andre steder. Dette gir <u>unngåtte</u> utslipp.
- Ved forbedrede løsninger kan vi gjøre utslippene under aksen mindre og de over aksen større, og netto null utslipp får vi om sum areal over og under aksen er like store.



- Denne tabellen viser at livsløpet til et bygg består av en rekke moduler, der A1-A3 er materialproduksjon, A4-A5 er byggefasen, B1-B8 er driftsfasen og C1-C4 avhendingsfasen.
- NS 3720 gir prinsippene for hvordan vi skal beregne størrelsen på klimagassutslipp i hver fase og hver modul. Vi utvikler indikatorer for hver av disse, eksempelvis KGU1.1 til KGU1.7
- Her ser du de modulene som gjelder utslipp fra materialbruk (A1-A3, B1-B4 og C1-C4), og de som er utslipp fra energibruk i drift (B6) og fra transport i drift (B8), ofte også kalt mobilitet.
- Gevinsten fra unngåtte utslipp som følge av eksportert energi og materialer til gjenvinning og ombruk utenfor bygget angis i modul D, og dette må være like stort som summen av alle de andre A, B og C dersom vi skal ha netto nullutslipp om alle modulene er medregnet.
- Det blir ekstremt ambisiøst, også i forhold til den gamle ZEB-definisjonen fra ZEB-senteret, fordi utslipp fra transport i modul B8 også er tatt inn NS 3720 og faktisk har stor betydning

Om utslipp fra materialer i bygg



M. Kjendseth Wiik et al. 2020

- FME ZEN har i en studie (Rapport Nr 24:2020) sammenfattet data om materialbruk fra norske bygg
  - Over 130 bygg fra perioden 2009-2020, samlet > 1 mill m^2 gulvareal tilsvarende over 49000 brukere
  - **Medianverdi utslipp = 324 $kgCO_2e/m^2$ = 5,4 $kgCO_2e/m^2/år$**
  - Kvartilbredde = 240 - 492 $kgCO_2e/m^2$ = 4,0 - 8,2 $kgCO_2e/m^2/år$
  - Med statistisk vurdering av utslipp fra ulike typer bygg og bygningsdeler
- Resultatene gir bakgrunn for bruk av nøkkelverdier
- Er også benyttet i innspill til DiBK for revidering av TEK
  - SINTEF/NTNU anbefaler innføring av maksimalkrav for klimagassutslipp fra materialer fra bygg
  - Strengere enn 6 $kgCO_2e/m^2/år$ for boligbygg og 4,5 $kgCO_2e/m^2/år$ for yrkesbygg, basert på modul A1-A5 og B4.

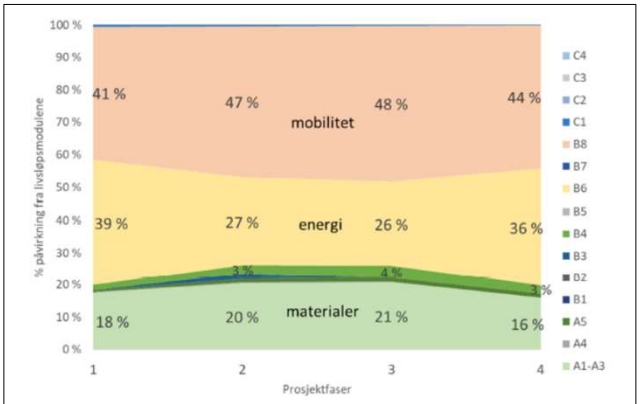
Research Centre on ZERO EMISSION NEIGHBOURHOODS IN SMART CITIES

5

FORSKNINGSSENTER FOR MILJØVENNLIG ENERGI

- Så over til noen resultater; først om utslipp fra materialer i bygg.
- Marianne Kjendseth Wiik m.fl. ved Sintef C i Oslo har laget en rapport, ved å sammenfatte og statistisk bearbeide LCA-data fra mer enn 130 bygg fra perioden 2009-2020. Dette er derfor en omfattende empirisk dokumentasjon.
- Den viser at medianverdien for materialrelaterte utslipp fra nyere norske bygg er 324 kgCO2e/m2 oppvarmet gulvareal, eller 5,4 kg/m2/år fordelt over 60 års drift.
- Rapporten viser statistiske resultater for ulike typer bygg og for ulike bygningsdeler, og dette kan brukes til å gi nøkkelverdier for bruk i planlegging av nye prosjekter.
- Vi har også gitt innspill til DiBK for revideringen av TEK. Vi mener det bør gis maksimalkrav for klimagassutslipp fra materialbruk i bygg, hhv 6 og 4,5 kg/m2/år for nye boligbygg og nye yrkesbygg

Bidrag fra livsløpsmodulene A1-C4



Figur 4: Påvirkning fra livsløpsmodulene (A1-C4) over prosjektfasene hvorav 1) referanse, 2) design 3) som bygget og 4) bruksfasen.

- Utslippene endrer seg ikke dramatisk fra en prosjektfase til en annen
  - Energirelaterte utslipp er noe underestimert i fase 2 og 3 i forhold til i fase 1 og 4
- Største utslippsbidrag er fra:
  - Mobilitet i byggenes driftsfase (B8)
  - Energibruk i byggenes driftsfase (B6)
  - Materialbruk (A1-A3 og B4)

M. Kjendseth Wiik et al. 2020

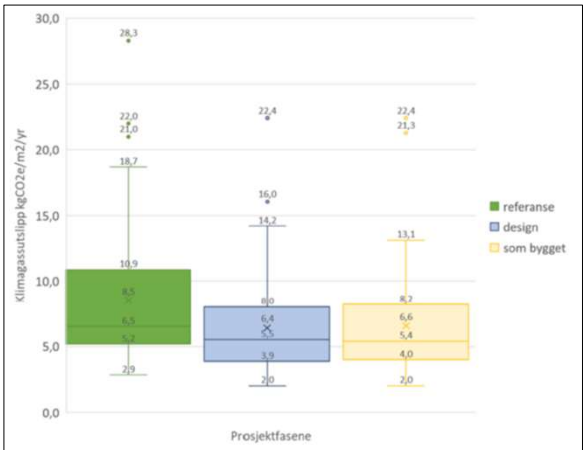
Research Centre on ZERO EMISSION NEIGHBOURHOODS IN SMART CITIES

6

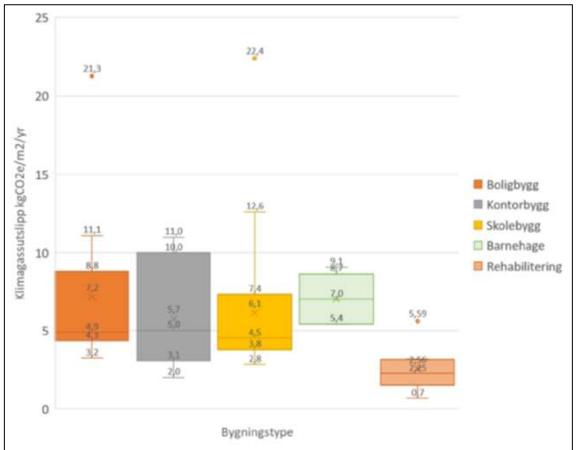
FORSKNINGSSENTER FOR MILJØVENNLIG ENERGI

- Her ser dere %-vis fordeling av utslipp fra materialer, fra energi og fra mobilitet/transport, med snitt-tall fra byggene I studien.
- Langs x-aksen er det angitt prosjektfase 1 til 4, ut fra hvor langt man er kommet i planleggingen av et bygg, der fase 3 angir tall fra ferdigstilte bygg og fase 4 tall fra bygg etter at de er tatt i bruk.
- Figuren viser to hovedresultater:
  - Utslippene fordeler seg ikke dramatisk ulikt fra prosjektfase 1 til 4, men utslipp fra energibruk er litt underestimert underveis i planfasen.
  - Utslippenes relative betydning kan tydelig rangeres; størst er utslipp fra mobilitet, så energibruk og så materialbruk.
- Dette må få konsekvenser for hva som vektlegges om vi skal jobbe for nye løsninger gitt Parisavtalen og lavutslippssamfunnet i 2050.

Statistisk analyse gir grunnlag for nøkkelverdier



Figur 11: Boksplott av klimagassutslipp (A1-A3 og B4) fra alle bygninger i ulike prosjektfaser.



Figur 12: Boksplott av klimagassutslipp (A1-A3 og B4) fra ulike bygningstyper i som bygget fasen.

M. Kjendseth Wiik et al. 2020

Research Centre on ZERO EMISSION NEIGHBOURHOODS IN SMART CITIES

7

FORSKNINGSSENTER FOR MILJØVENNLIG ENERGI

- Jeg skal ikke bruke tid på mer detaljer fra rapporten, men viser bare to figureksempler på statistiske box-plot for utslipp i kgCO2e/m2/år for alle byggene i de ulike prosjektfaser (til venstre) og for ulike typer bygg (til høyre)
- Du finner rapporten på websiden til FME ZEN om du vil se mer fra dette arbeidet.

LCA-studier for ZEN Ydalir

Illustrasjon: AsplanViak og Elverum Vekst

- PhD-prosjekt Carine Lausselet
  - LCA-studier av utslipp på områdenivå
  - Modell- og metodeutvikling
  - Vurderer utslipp fra områdets bygninger og infrastruktur, samt beboernes/brukernes transportbehov i driftsfasen
- Dokumenterer godt betydningen av:
  - Mobilitet og innfasing av elektriske kjøretøy (ELV)
  - Antakelse for El-miks og unngått utslipp
  - Materialrelaterte utslipp for enkeltmaterialer over tid
  - Materialrelaterte utslipp fra produksjon og bygging (A1-A5) er avgjørende i lys av Parisavtalens forpliktelser

RESEARCH AND ANALYSIS

A life-cycle assessment model for zero emission neighborhoods

Carine Lausselet | Linda Ager-Wick Ellingsen | Anders Hammer Strømman | Helge Brattebø

RESEARCH AND ANALYSIS

Temporal analysis of the material flows and embodied greenhouse gas emissions of a neighborhood building stock

Carine Lausselet | Johana Paola Forero Urrego | Eirik Resch | Helge Brattebø

Research Centre on ZERO EMISSION NEIGHBOURHOODS IN SMART CITIES

8

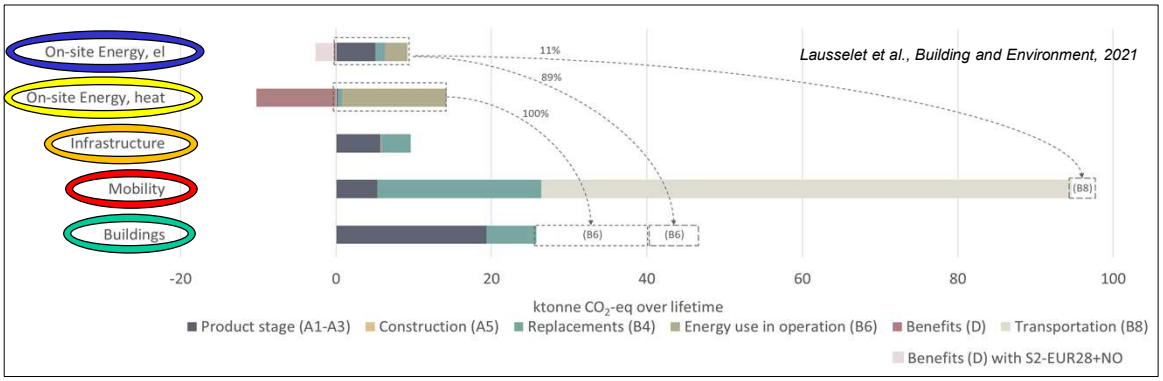
- Vi har også utført LCA-studier for å forstå utslippsbildet på områdenivå. Her ser dere to studier som tidligere phd-student Carine Lausselet har utført for Ydalir i Elverum, et av pilotområdene i ZEN-senteret. Hun er nå forsker i Sintef, og med her på seminaret.
- Det var minimalt med kunnskap om denne type utslipp før Carine startet sitt arbeid, og hun har derfor både gjort viktig modell- og metodeutvikling, og estimert utslippene fra et komplekst utbyggingsprosjekt som omfatter en skole, barnehage og 1000 boliger bygget over de neste 10 årene.
- Arbeidet hennes dokumenterer godt de forholdene som er angitt i blå tekst her.
- La oss se på et par resultater.

Illustrasjon: AsplanViak og Elverum Vekst

LCA-studier for ZEN Ydalir

Helhetlig analyse bygg, mobilitet, infrastruktur og energi

Baseline scenario (i.h.h.t. utbyggingsplan for området)



- Vi ser at utslipp fra beboernes/brukernes mobilitet (B8) over 60-år dominerer samlede utslipp
- Byggene er allerede energieffektive (B6), og litt overskuddsenergi gir også noe unngåtte utslipp (D)
- **Likevel; totale utslipp er langt fra netto-0, slik prosjektet ble spesifisert.**

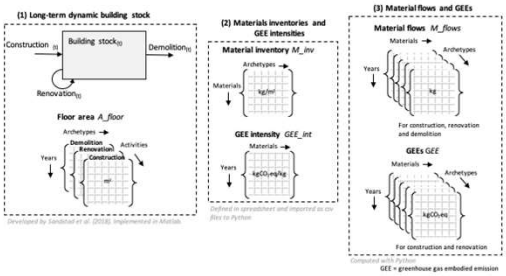
- Her er det mye informasjon, men glem detaljene, for vi leter etter primært to ting:
  - Vil basis scenarioet for Ydalir, slik prosjektet var planlagt, komme nær netto null utslipp?
  - Og, hva er kildene til de største utslippene, som det dermed er viktig å finne bedre løsninger for?
- Vi ser at det er beboernes/brukernes mobilitet (nest nederste liggende søyle) som dominerer totale utslipp over 60 års tidshorisont for Ydalir (selv om prosjektet allerede har begrensninger på antall biler og rask innfasing av elbiler).
- Byggene (nederste liggende søyle) er allerede energieffektive, så her er det lite mer å hente. Og det er betydelige utslipp fra materaler i alle deler av systemet. Det er også noe unngåtte utslipp fra eksport av energi (øverst).
- Likevel, totale utslipp er langt fra netto 0. Om Ydalir skal kunne kalles et "nullutslippsområde" i denne varianten av utbyggingsplan, er derfor tvilsomt.
- Men, Ydalir er jo et ambisiøst prosjekt! Altså, det er svært krevende å nå netto 0 utslipp om alle kilder til utslipp tas med! Det er derfor viktig med denne type pilotprosjekter for å vinne ny kunnskap.

Illustrasjon: AsplanViak og Elverum Vekst

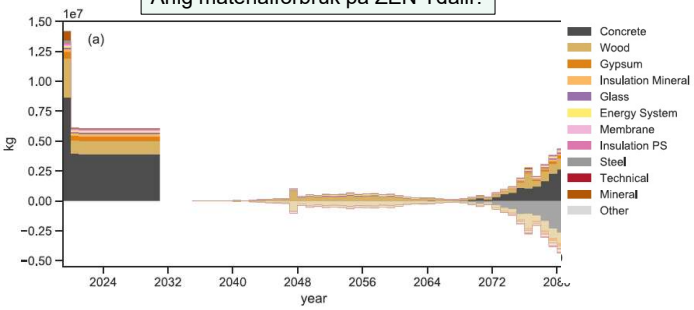
LCA-studier for ZEN Ydalir

Tidsdynamikken for materialrelaterte utslipp

Dynamisk MFA (stock-flow) modellering



Årlig materialforbruk på ZEN Ydalir:



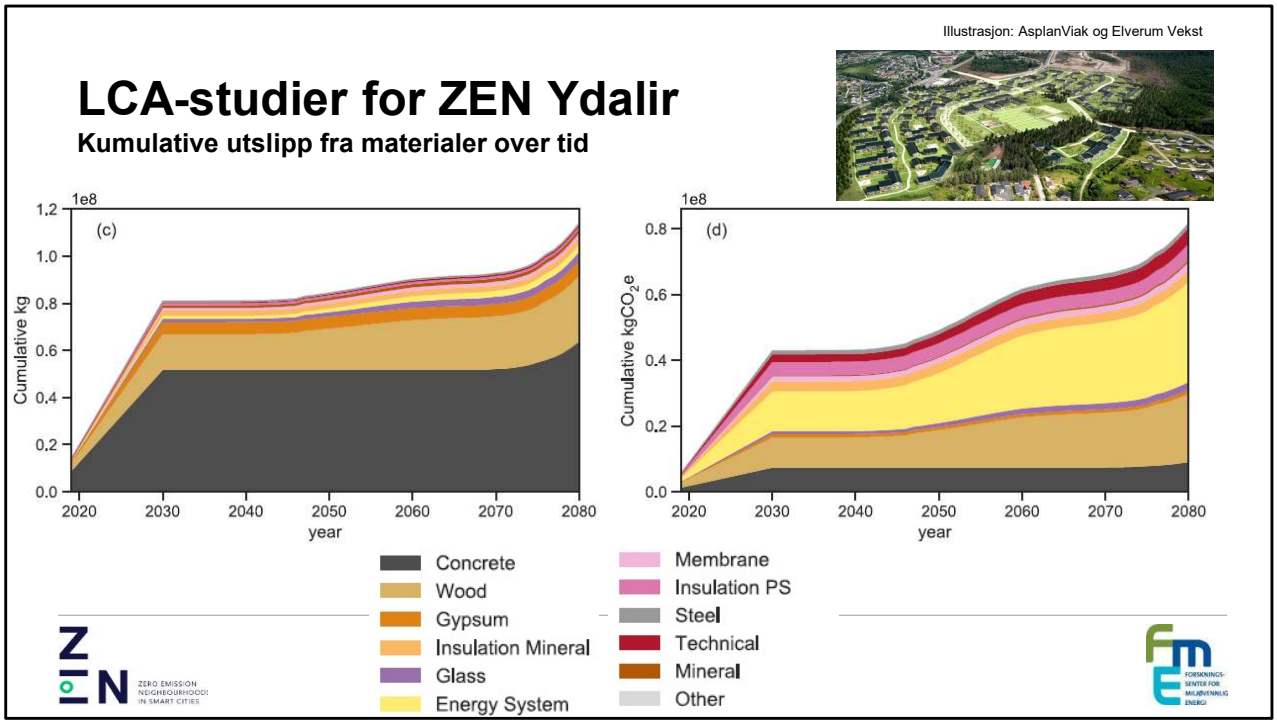
Lausselet et al., Journal of Industrial Ecology, 2020

ZEN ZERO EMISSION NEIGHBOURHOODS IN SMART CITIES

10

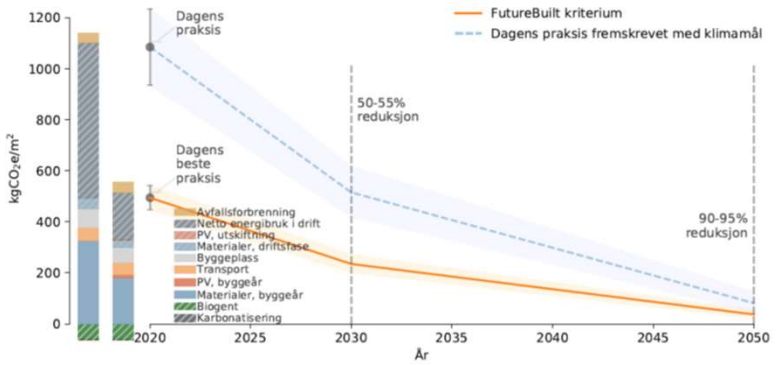
FME FORSKNINGSSENTER FOR MILJØVENNLIG ENERGI

- Her er et annet eksempel på studie fra Ydalir.
- Carine og en masterstudent ville finne ut hvordan utslippet fra materialer til bygging, rehabilitering og riving/nybygging over 60 års horisont fordeler seg i tid.
- Det ble laget en dynamisk materialregnskapsmodell, suplert med utslippsdata fra LCA, og her ser dere anslåtte mengder av ulike materialforbruk.
- Siden Ydalir er et nybyggingsprosjekt, er det stort materialforbruk i byggefasen de første 10 årene, så litt rundt 2050-2060 pga rehabilitering, og til sist en ny bølge av materialbruk sist i perioden pga riving og nybygging.
- Dette materialregnskapet kan brukes til å beregne de tilhørende utslipp, f.eks. med data miljøvaredeklarasjoner.



- Her ser du kumulative tall for materialforbruk (i kg) for ulike materialer til venstre, og til høyre de tilhørende utslipp av klimagasser.
- To ting er særlig interessant:
  - Betong og tre dominerer totalt forbruket i kg, men utslippene av klimagasser domineres av materialer fra energisystemet (solcellepanel og et lokalt lite kraftvarmeanlegg) samt utslipp fra bruk av tre. Solceller gir altså ikke utslippsfri energi!
  - Nesten alt av kumulative utslipp før 2050 er fra materialproduksjon i utbyggingsfasen de første 10 år.
- I lys av Parisavtalen og Norges mål for 2030, 2040 og 2050 må det derfor fokuseres på å få lave utslipp fra det som blir bygd. Det peker mot arealaffektive og materialeffektive designløsninger, og på bruk av lavutslippsmaterialer.

FutureBuilt Zero kriterium mot 2050



Figur 1: FutureBuilt hovedkriterium for hvert år frem mot 2050. Klimagassutslipp for 'dagens praksis' og 'dagens beste praksis', med fremskrivinger basert på klimamål. For startverdiene vises også et 95% usikkerhetsintervall, som er fremskrevet på lik måte. I søylene er fremtidige utslipp er skravert.

ZEN ZERO EMISSION NEIGHBOURHOODS IN SMART CITIES

12

FME FORSKNINGSSENTER FOR MILJØVENNLIG ENERGI

- FutureBuilt er en av partnerne i ZEN-senteret, og FutureBuilt Zero har sine egne kriterier og beregningsmetodikk for utslipp fra bygg, for å kunne nå målene mot 2030 og 2050.
- FutureBuilt Zero skal representere Dagens beste praksis, som dere her ser er veldig mye bedre enn Dagens praksis.
- Vi utfører nå en studie der vi ser på hvordan regnereglene de har utviklet for utslipp avviker i forhold til de fra NS3720

NS3720 versus FutureBuilt Zero metodikk

Sammenlignende studie av tre bygg

E. Resch et al. 2022.

- FutureBuilt Zero metodikken avviker fra NS3720, bl.a.
  - Teknologiutvikling også for materialer
  - Tidsvekting av fremtidige utslipp (relevant mht 2050 målene)
  - Utslipp og opptak av biogent karbon
  - 50% allokering av utslipp fra avfallsforbrenning i fjernvarme
  - Ombrukbarhet for materialer
  - Gevinster utenfor systemgrensen (modul D)
- Studien viser effektene av disse metodiske forskjellene
  - På tre eksempelbygg i Oslo (nybygg og rehabilitering)
  - Vitenskapelig konsistens i metodikk versus politikk og incitamenter til å endre praksis hos ulike aktører

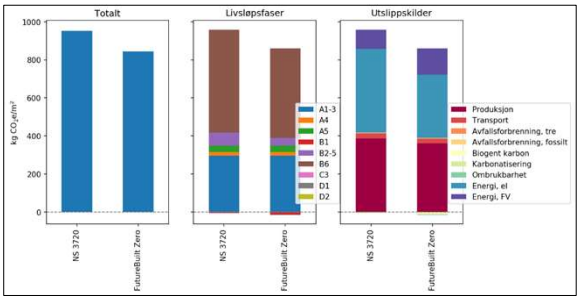
Research Centre on ZERO EMISSION NEIGHBOURHOODS IN SMART CITIES

13

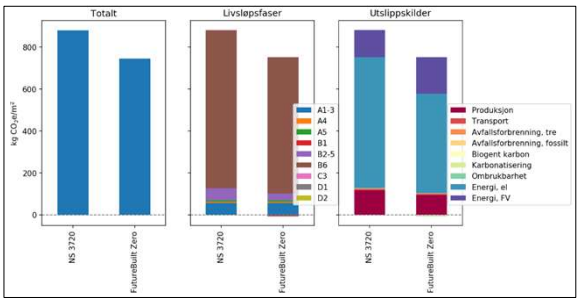
FORSKNINGSSENTER FOR MILJØVENNLIG ENERGI

- Rapporten fra denne studien blir klar litt senere i vinter, men her er vist litt av det metodiske innholdet.
- Beregningsmetodikken deres avviker fra NS3720 på flere punkter. Jeg har ikke tid til å gå inn på detaljene, men det går på hvorvidt man skal anta teknologiutvikling med mindre utslipp for materialer som produseres frem i tid, om fremtidige utslipp skal tidvektes lavere utslipp i nær fremtid, fordi de har kortere oppholdstid i atmosfæren gitt et politisk 2050-perspektiv, om utslipp fra avfallsforbrenning til fjernvarme også i noen grad skal allokeres til fjernvarmen, osv.
- Studien dokumenterer resultater for tre eksempelbygg der materialinventarer er godt kjent.
- Rasjonalet bak FutureBuilt Zero metodikken er bedre vitenskapelig konsistens, med utvidede systemgrenser, og å gi incitamenter til å endre praksis hos ulike aktører.
- Du kan lese mer om deres metodikk på deres websider.

NS3720 versus FutureBuilt Zero metodikk



Kristian August gate 13 nybygg
(700 m² med høy grad av ombruk)



Kristian August gate 13 eksisterende bygg
(3350 m² rehabilitering med høy grad av ombruk)

ZEN ZERO EMISSION NEIGHBOURHOODS IN SMART CITIES

14

FME FORSKNINGSSENTER FOR MILJØVENNLIG ENERGI

- Her ser dere resultatene gitt som utslipp i kg/m2 for et nybygg på 700m2 i Kristian August gate 13 og rehabilitering av et eksisterende bygg på 3350 m2 samme sted.
- Metodikken til FutureBuilt Zero gir lavere utslippsverdier for begge byggene, og du kan se hvordan disse fordeler seg på livsløpsfaser og på utslippskilder.
- Mye kunne vært kommentert mht disse og andre resultater i denne studien, men dere får vente til rapporten er klar.
- Det som kan sies nå er likevel dette:
    - Beregningsmetodikk er viktig, og det er ikke nødvendigvis slik at NS3720 gir oss den beste metoden
    - Det blir viktig å harmonisere metodikk så langt det er hensiktsmessig fremover, på tvers av aktører og prosjekter
    - Som vist for nybygget i KA13 spiller utslipp fra materialer og produksjonsfasen en stor rolle, selv for et moderne ambisiøst bygg med høy grad av ombruk.

Konklusjoner

Forskningsfokus er netto null klimagassutslipp over livsløpet

- Vi utvikler, forbedrer og tester metodikk for å estimere slike utslipp på en vitenskapelig god måte
- Dette brukes til å få kunnskap om hva som gir vesentlige bidrag til utslipp og hvilke løsninger som bør velges
- Omstillingen vil bli krevende, spesielt i lys av Parisavtalen (2030/2040/2050)

Om metodikken og estimering av klimagassutslipp

- Standarder som utgangspunkt (NS 3720:2018, NS 3475-3:2013, NS 3451:2009, NS-EN 15978:2011..)
- Likevel vil metodiske valg og antakelser gi vesentlige utslag på estimerte utslippsverdier
- I dag mangefull dokumentasjon av utslippsnivå, men vi har nøkkelverdier og kunnskap om hva som er god metodikk

Om vesentlige bidrag til utslipp og løsninger som bør velges

- Energibruk i drift -> Passivhus, plusshus, energioppgradering ved rehabilitering
- Materialer -> Lavutslippsmaterialer, material- og arealeffektivitet, bruk av ombruksmaterialer
- Mobilitet i bruksfasen -> Bilbruk og elektrifisering svært viktig
- Lokalprodusert overskudds-energi og sesonglager for varme -> Avgjørende for å oppnå netto null utslipp

ZEN Research Centre on ZERO EMISSION NEIGHBOURHOODS IN SMART CITIES

15

FME FORSKNINGS-SENTER FOR MILJØVENNLIG ENERGI

- Her er konklusjonene fra mitt innlegg, om forskningsfokuset, om metodikk og om hva som gir vesentlige bidrag til utslipp fra bygg.
- La meg spesielt fremheve:
  - Ut fra kunnskapen vi får ser vi at omstillingen fremover vil bli krevende i lys av Parisavtalen, fordi norske bygg og områder i dag er langt fra netto null. Det blir viktig med konsensus om hva som er de gode løsningene og om å sette strenge krav.
  - Metodiske valg og antakelser kan gi store utslag på estimerte resultater, og vi har noen nøkkeltall men likevel mangelfull dokumentasjon av utslipp fra bygg og områder.
  - Alle delene av et bygg eller område gir vesentlige bidrag, og må få bedre løsninger enn det som er vanlig i dag. Særlig viktig og trolig underfokusert er material- og arealeffektivitet, mobilitet og lokalprodusert overskuddsenergi evt med sesonglager for varme der det er mulig.
- Takk for oppmerksomheten