

TEORI MØTER PRAKSIS – ER MILJØRIKTIGE BYGG ØKONOMISK GJENNOMFØRBARE?

Scenarioanalyse av konstruksjonsvalg på Ydalir

ZEN REPORT No. 43 – 2022





Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES

ZEN Report No. 43

Marianne Kjendseth Wiik¹, Patricia Schneider-Marin², Irene González Fernández², Jonas Winsvold³, Lukasz Rosochacki⁴, Stein Nørstebøen⁵, Anna-Thekla Tonjer⁶, Heidi Erikstad⁶
¹SINTEF, ²NTNU, ³Multiconsult, ⁴Norlys Arkitektur ⁵Nordbolig, ⁶Elverum Vekst

TEORI MØTER PRAKSIS – ER MILJØRIKTIGE BYGG ØKONOMISK GJENNOMFØRBARE? Scenarioanalyse av konstruksjonsvalg på Ydalir

Keywords: klimagassutslipp, grenseverdier, kost-nytte analyse, scenarioanalyse, konstruksjonsvalg

ISBN 978-82-536-1774-9

Norwegian University of Science and Technology (NTNU) | www.ntnu.no

SINTEF Community | www.sintef.no

<https://fmezen.no>

Preface

Acknowledgements

This report has been written within the Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (FME ZEN). The authors gratefully acknowledge the support from the Research Council of Norway, the Norwegian University of Science and Technology (NTNU), SINTEF, the municipalities of Oslo, Bergen, Trondheim, Bodø, Bærum, Elverum and Steinkjer, Trøndelag county, Norwegian Directorate for Public Construction and Property Management, Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Norwegian Building Authority, ByBo, Elverum Tomteselskap, TOBB, Snøhetta, AFRY, Asplan Viak, Multiconsult, Sweco, Civitas, FutureBuilt, Hunton, Moelven, Norcem, Skanska, GK, Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk - Energi, Smart Grid Services Cluster, Statkraft Varme, Energy Norway and Norsk Fjernvarme.

The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods (ZEN) in Smart Cities

The ZEN Research Centre develops solutions for future buildings and neighbourhoods with no greenhouse gas emissions and thereby contributes to a low carbon society.

Researchers, municipalities, industry and governmental organizations work together in the ZEN Research Centre in order to plan, develop and run neighbourhoods with zero greenhouse gas emissions. The ZEN Centre has nine pilot projects spread over all of Norway that encompass an area of more than 1 million m² and more than 30 000 inhabitants in total.

In order to achieve its high ambitions, the Centre will, together with its partners:

- Develop neighbourhood design and planning instruments while integrating science-based knowledge on greenhouse gas emissions;
- Create new business models, roles, and services that address the lack of flexibility towards markets and catalyze the development of innovations for a broader public use; This includes studies of political instruments and market design;
- Create cost effective and resource and energy efficient buildings by developing low carbon technologies and construction systems based on lifecycle design strategies;
- Develop technologies and solutions for the design and operation of energy flexible neighbourhoods;
- Develop a decision-support tool for optimizing local energy systems and their interaction with the larger system;
- Create and manage a series of neighbourhood-scale living labs, which will act as innovation hubs and a testing ground for the solutions developed in the ZEN Research Centre. The pilot projects are Furuset in Oslo, Fornebu in Bærum, Sluppen and Campus NTNU in Trondheim, an NRK-site in Steinkjer, Ydalir in Elverum, Campus Evenstad, NyBy Bodø, and Zero Village Bergen.

The ZEN Research Centre will last eight years (2017-2024), and the budget is approximately NOK 380 million, funded by the Research Council of Norway, the research partners NTNU and SINTEF, and the user partners from the private and public sector. The Norwegian University of Science and Technology (NTNU) is the host and leads the Centre together with SINTEF.



<https://fmezen.no>



@ZENcentre



FME ZEN (page)

Norwegian Summary

Teori møter praksis – er miljøriktige bygg økonomisk gjennomførbare?

Hovedutfordringen for ZEN pilotområdet Ydalir er å sikre en riktig tilnærming til målet om reduksjon av klimagassutslipp slik at de totalt sett oppnår en balanse mellom samfunnshensyn, miljø og økonomi, for både utbygger og bruker. Denne rapporten ser nærmere på disse parameterne og ser på hvor mye f.eks. isolasjonstykkelse kan reduseres for å optimere samspillet mellom kostnader og klimagassutslipp fra energibruk og materialer. Dette gjøres ved å beregne energibehov, klimagassberegninger og livssyklus-kostnader for bygg 7 og 8 på Ydalir Torg i to scenarier; et scenario som oppfyller byggteknisk forskrift (TEK17) og et scenario som oppfyller passivhus standarden.

Entreprenøren kan oppnå klimagasskravene i Ydalirs Masterplan ved å bygge TEK17-scenariet

Energieresultater viser ca. 23% reduksjon i spesifikt energibehov og 30 -32% reduksjon i spesifikk levert energi mellom TEK17- og passivhus-scenariene. Klimagassresultater viser at bygg 7 har lavere totale klimagassutslipp enn bygg 8 i begge scenariene, på grunn av solcellene på taket til bygg 8. Selv om TEK17-scenariet har høyere totale klimagassutslipp sammenlignet med passivhus-scenariet er de totale klimagassutslippene fortsatt lavere enn grenseverdiene i de ulike programmene. Kostnadsresultater viser at passivhus-scenariet er ca. 300 000 – 367 000 kr eller 3 – 5% dyrere enn TEK17-scenariet for utbyggeren, mens energikostnadene viser en sparing på mellom ca. 5 700 – 6 000 kr hvert år i passivhus-scenariet. Resultatene er nyttige fordi det viser at entreprenøren kan oppnå klimagasskravene sett i Ydalirs Masterplan ved å bygge TEK17-scenariet og samtidig sparer på investeringskostnadene. Dette vil føre til rimelige boenheter på markedet som gjøre det lettere for kjøpere å skaffe seg bolig i et ZEN pilotområde.

Resultatene kan anvendes til videreutvikling av ZEN definisjon og nøkkelindikatorer (KPI) samt i implementering av Ydalirs Masterplan. Studien har involvert Elverum Vekst, Nordbolig, Norlys Arkitektur, Multiconsult, SINTEF og NTNU. Resultatene har en praktisk tilnærming og viser at Nordboligs standardløsning (TEK17-scenariet) kan iverksettes for å oppnå klimagasskravene i Ydalirs Masterplan.

I konklusjon bidrar denne rapporten til videreutvikling og uttesting av ZEN definisjon og KPI på energi, klimagasser og økonomi og gir viktige innspill på metodiske valg, systemgrenser, og datagrunnlag for utvikling av referanseverdier.

Summary

Theory meets practice – are environmentally ambitious buildings economically viable?

The main challenge for the ZEN pilot area Ydalir is to secure an appropriate approach to the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions so that a balance between societal considerations, environment, and economy for both the developer and building owner can be reached. This report investigates those parameters and looks at, for example, how much insulation thickness can be reduced to optimise the balance between costs and GHG emissions from energy use and materials. This is achieved by calculating energy need, GHG emissions, and life cycle costs for building 7 and 8 from Ydalir Torg for two scenarios. The first scenario fulfils Norwegian building code (TEK17), whilst the second scenario fulfils passivhus standard.

The contractor can achieve GHG emission requirements from Ydalir's Masterplan by following Norwegian building code

The energy results show ca. 23% reduction in specific energy demand and 30 – 32% reduction in specific delivered energy between the TEK17 and passivhus scenarios. The GHG emission results show that unit 7 has lower total GHG emissions than unit 8 in both scenarios, this is due to the photovoltaics on the roof of unit 8. Total GHG emissions are lower than the threshold values set by different programme operators, even though the TEK17 scenario has higher total GHG emissions than the passivhus scenario. The investment cost results show that the passivhus scenario is around 300 000 – 367 000 kr or 3 – 5% more expensive than the TEK17 scenario for the contractor, whilst energy costs are between 5 700 – 6 000 kr lower each year in the passivhus scenario. The results are useful since they demonstrate that the contractor can achieve GHG emission requirements set in Ydalirs Masterplan by following Norwegian building code and at the same time save on investment costs. This will lead to more affordable housing units on the market which will make it easier for buyers to obtain a home in a ZEN pilot area.

The results can be used for the further development of the ZEN definition and key performance indicators (KPI) as well as for implementing requirements from the Ydalir master plan. This study has involved Elverum Vekst, Nordbolig, Norlys Arkitektur, Multiconsult, SINTEF and NTNU. The results have a practical application and show that Nordbolig's standard construction solution (TEK17 scenario) can be used to fulfil GHG emission requirements from Ydalir's master plan.

In conclusion, this report contributes to the further testing and development of the ZEN definition and KPIs for energy, GHG emissions and economy, and gives important inputs on methodological choices, system boundaries, and a basis for developing reference values.

Contents

Preface	3
Norwegian Summary	4
Summary	5
1. Bakgrunn	7
2. Om Ydalir	9
Ydalir Torg, byggetrinn 1	9
3. Metode	12
Energiberegninger	12
Livsløpsanalyse	12
Livssyklus kostnader	22
4. Klimagasskrav	25
Byggeteknisk forskrift	25
Ydalirs Masterplan	26
FutureBuilt Zero	27
BREEAM-NOR v6.0	29
ZEN klimagasskrav til materialbruk	29
Sammenlikning	29
5. Energieresultater	32
6. Klimagassutslippsresultater	33
7. Kostnadsresultater	36
8. Diskusjon	38
9. Konklusjon	40
Referanser	41

1. Bakgrunn

Ydalir er et av ni pilotområder i forskningscenter for nullutslippsområde i smarte byer (FME ZEN). Ydalir ligger 1,5 - 2 km nordøst for Elverum sentrum. Her er det bygget ny skole og barnehage (tatt i bruk august 2019), samt 800 – 1 000 boliger. Det skal bygges både kommersielle og kommunale boliger i Ydalir.

Hovedutfordringen for Ydalir er å sikre en riktig tilnærming til målet om reduksjon av klimagassutslipp slik at de totalt sett oppnår en balanse mellom samfunnshensyn, miljø og økonomi, både for utbygger og bruker. Krav til passivhusstandard er både plass- og prisdrivende for utbygger. Formålet med passivhusstandard er imidlertid, på lik linje med for nullutslippsområde (ZEN), redusert utslipp av klimagasser og redusert effekttopper, ikke redusert energiforbruk i seg selv. Et viktig styringsverktøy for utbygger for å unngå suboptimalisering vil være et absolutt referansenivå for klimagassutslipp. Med dette kan man ha en helhetlig tilnærming til eget prosjekt, og velge den løsningen som samlet sett gir best sluttresultat. Hypotesen er at med biofyrt fjernvarme, lokal solstrømsproduksjon, arealeffektive løsninger og bevisst materialbruk kan man redusere materialmengde (f.eks. isolasjonstykkelse) og kostnader, øke energiforbruket, men likevel ha lavt utslipp over nabolagets livsløp. Scenarioanalysen skal se nærmere på disse parametere og se på hvor mye f.eks. isolasjonstykkelse kan reduseres for å optimere samspillet mellom investerings- og driftskostnader sammenlignet med klimagassutslipp fra energibruk og materialer. Samtidig er det slik at utslipp forbundet med materialbruk er utslipp på kort sikt, mens utslipp beregnet for energibruk i livsløpet er utslipp på lang sikt og som dermed kan endres (reduseres) med tiden etter hvert som teknologien utvikler seg. Det er viktig å få reduksjon i utslipp raskt, og man kan argumentere for at raske utslippsreduksjoner vektet tyngre enn reduksjoner på lang sikt.

Det er i dag noen metodiske utfordringer knyttet til punktene om utslippsreduksjoner i veilederen til Ydalir Masterplan (1). Livsløpsmodulene som skal dokumenteres av utbyggere tilsvarer følgende: klimagassutslipp (KGU) nøkkelindikatorer (KPI) i ZEN definisjonen (2); KGU1.1 Materialer (A1 - A3, B4) og KGU1.4 Energibruk (B6). Valgfrie livsløpsmoduler som kan dokumenteres av utbyggere tilsvarer: KGU1.2 Byggefasen (A4 - A5) og KGU1.6 Sluttfasen (C1 - C4), se Figur 1. Målet med klimagasskategorien i ZEN definisjonen er å redusere klimagasser mest mulig over området levetid sammenlignet med en referanse. Men det er flere utfordringer og uavklarte spørsmål knyttet til å lage disse referansebyggene og referanseområdene. For eksempel, hvordan kan OneClick LCA, ZEB-regnearket eller andre klimagassverktøy anvendes i ZEN? Hvordan påvirker tilgjengelighet og kvalitet av modell mulighetene for utslippsreduksjoner? Hvordan påvirker metodevalg og valg av (energi)utslippsfaktorer referansebygg, mål- og grenseverdier? Hvordan avveier man krav mellom energieffektivisering og materialbruk? Og hvordan finner man best mulige løsninger for utbyggeren?

A1-3 Produktstadiet			A4-5 Gjennomføringsstadiet		B1-7 Bruksstadiet								C1-4 Livsløpets sluttstadiet				D
A1: Råvarer	A2: Transport	A3: Produksjon	A4: Transport	A5: Anlegg-, bygge- og monteringsarbeid	B1: Bruk	B2: Vedlikehold	B3: Reparasjon	B4: Utskifting	B5: Ombygging	B6: Energibrukt drift	B7: Vanforbruk i drift	B8: Transport i drift	C1: Riving	C2: Transport	C3: Avfallsbehandling	C4: Avhending	D: Material- og energigjenvinning og ombruk av materialer eksport av egenprodusert energi
x	x	x	(x)	(x)				x		x			(x)	(x)	(x)	(x)	x
KGU1.1			KGU1.2		KGU1.3			KGU1.1	KGU1.2	KGU1.4		KGU1.5	KGU1.6				KGU1.7
ØKO6.1			ØKO6.2														ENE
																	ENE2.2
																	MOB4.5
																	EFF

Figur 1. Livsløpsmodulene i et livsløpsperspektiv (A1-C4, D), krav til dokumentasjon i veilederen til Masterplan x og valgfri (x), og hvordan dette tilsvarer nøkkelindikatorer (KPI) i ZEN definisjonen (KGU1.1-KGU1.7 som tilsvarer KPI i klimagasskategorien, ØKO6.1-6.3 som tilsvarer KPI i økonomi kategorien, ENE som tilsvarer KPI i energikategorien, EFF som tilsvarer KPI i effektkategorien og MOB4.5 som er en KPI i mobilitetskategorien).

Det er også flere problemstillinger knyttet til økonomi (ØKO) indikatorene i ZEN definisjonen. Kan man spare penger som kommer kjøper og utbygger til gode? Økonomi nøkkelindikatorer har så langt ikke blitt testet ut i ZEN, så det er av interesse å gjøre dette og se i hvilken grad livssyklus kostnader (LCC) metoden kan harmoniseres med livsløpsanalyse (LCA) metoden for å spare utbyggere tid og penger, samt i hvilken grad referansebygg for energiberegninger kan anvendes som referansebygg for livsløpskostnader? Tabell 1 viser oversikt over ZEN GHG og ØKO nøkkelindikatorer fra ZEN definisjonen.

Tabell 1. Oversikt over ZEN GHG og ØKO nøkkelindikatorer

Kategori	Vurderingskriteria	Nøkkelindikatorer
GHG	Utslipsreduksjon	GHG1.1 Materialer (A1-A3, B4)
		GHG1.2 Byggefase (A4-A5)
		GHG1.3 Bruk (B1-B3, B5)
		GHG1.4 Energibruk i driftsfase (B6)
		GHG1.5 Transport i driftsfase (B8)
		GHG1.6 Slutfase (C1-C4)
	Kompensasjon	GHG1.7 Fordeler og belastninger (D)
ØKO	Livsløpsvurdering	ECO 6.1 Investeringskostnader
		ECO6.2 Driftskostnader
	Kost-nytte	ECO6.3 Overall ytelse

2. Om Ydalir

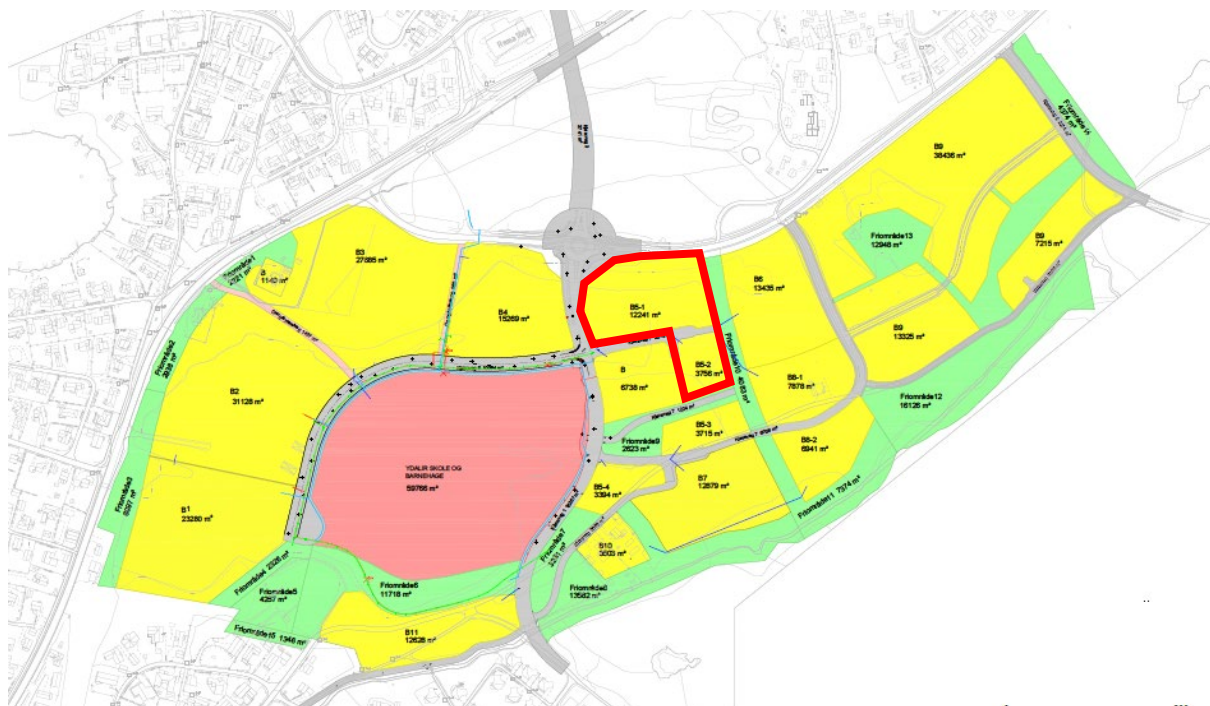
Styringsdokumenter for utbyggere i Ydalir som er relevant for denne case er *Ydalir Masterplan del 1* (3), *Ydalir Masterplan del 2 – ambisjoner og krav* (4) og *Veiledning til Ydalir Masterplan del 2* (1). Veiledning til Masterplan beskriver blant annet hvordan utslippsreduksjon skal dokumenteres av utbyggere (1). Utslippsreduksjon skal dokumenteres av utbyggere både før igangsetting, under bygging og før søknad om ferdigattest. Dette tilsvarer prosjektfasene strategisk planleggingsfase og implementeringsfasen i ZEN definisjonen (2). Veiledning til Masterplan stiller følgende krav til beregning av utslippsreduksjon:

- Klimagassregnskap per utbygging iht. *NS 3720: 2018* basis uten lokalisering (5), og følgende moduler skal beregnes: A1 - A3 - produksjonsstadiet, A4 – transport til byggeplassen (valgfritt), B4 - utskiftninger, B6 – energibruk i drift, C1 - C4 slutfasen (anbefalt). Klimagassregnskapet skal vise ca. 50% forbedring (reduksjon) gjennom livsløpet. Reduksjon i klimagassutslipp fra materialer bør være minimum 20%. For materialer, produkter og byggevarer skal klimagassutslippene også presenteres oppdelt iht. *NS 3451* aggregert til to-siffernivå (6). Beregningsresultatene skal minimum presenteres ift. klimagassutslipp per m² totalt bruttoareal (BTA) i bygningens levetid (kg CO₂e /m²BTA) og klimagassutslipp per bruker ((tonn CO₂e/person).
- For å påvirke leverandører og bidra til redusert utslipp fra tekniske anlegg er det oppfordret utbyggere til å etterspørre miljødeklarasjoner (EPD) på leveranser som utgjør en betydelig del av den totale bygningsmassen.
- Ved søknad om byggetillatelse skal klimagassregnskapet for konseptvalg og prosjekteringsalternativer inkludere beregninger både for det prosjekterte bygget og for et referansebygg, samt en sammenlikning av disse. Resultatet av følsomhetsanalysen skal inngå i presentasjonen av resultatet¹.
- Bebyggelse med passivhusstandard *NS 3700: 2013* eller bedre (7). Energibehov skal dokumenteres med energiberegning iht. *NS 3700: 2013*. For energibruk i drift skal klimagassutslippene presenteres oppdelt i energivare og formål. Fjernvarme basert på bioenergi for boligbebyggelsen. Lokal el-produksjon basert på solceller og bioenergibasert kraft/varme.

Ydalir Torg, byggetrinn 1

Ydalir består av blant annet Ydalir Torg av Nordbolig og Norlys Arkitektur (se Figur 2), Høyden av Hedmark Eiendomsinvest, og eneboliger på Muspelheim bygget av privatpersoner. Denne studien skal testes ut for byggetrinn 1 av Ydalir Torg som består av 13 boliger: ni rekkehus fra 108 til 126 m² bruksareal og tre leiligheter fra 54 til 63 m² bruksareal. Byggetrinn 1 består av B1.1 og B1.2, se Figur 3. B1.1 består av tre leiligheter og en fellesleilighet samt fire rekkehus, mens B1.2 består av fem rekkehus, se Figur 4. Energibehov, klimagassutslipp og livsløpskostnader er beregnet for tomannsboligene nummer 7 og 8. Klimagassutslippsresultatene skaleres opp til hele byggetrinn 1.

¹ Dette trenger man ikke dersom man viser til klimagassberegning innenfor referansenivået.



Figur 2. Tomtekart for alle felt på ZEN pilotområde Ydalir, Arealtek AS. Ydalir Torg med rød ramme.



Figur 3. Arealplan for Byggetrinn 1 og Byggetrinn 2 for Ydalir Torg av Norlys Arkitektur. Byggetrinn 1 består av B1.1 og B1.2, utarbeidet av Norlys arkitektur.



Figur 4. Visualisering av Byggetrinn 1, B1.1 (bak) og B1.2 (foran), utarbeidet av Norlys arkitektur.

3. Metode

Tre metoder er brukt for å teste hypotesen og for å beregne ZEN nøkkelindikatorerne knyttet til klimagassutslipp og økonomi: energiberegninger, livsløpsanalyse (LCA), og livsløpskostnader (LCC). Hypotesen er at med biofyrt fjernvarme, lokal solstrømsproduksjon, arealeffektive løsninger og bevisst materialbruk kan man redusere materialmengde (f.eks. isolasjonstykkelse) og kostnader, øke energiforbruket, men likevel ha lavt utslipp over nabolagets livsløp. Disse er gjennomført for to scenarier, et byggteknisk forskrift (TEK17) scenario og et passivhusscenario.

Energiberegninger

En tidligere studie vurderte klimagassutslipp og energibehov knyttet til 1m² vegg mellom 100 mm til 500 mm isolasjonstykkelse (8). En tilsvarende scenarioanalyse skal gjennomføres på bygg-nivå for Ydalir. Energiberegningene er simulert i energiberegningsprogrammet SIMIEN for småhus av type tomannsbolig (bygg 7 og 8) (9). Bygg 7 og 8 er beregnet i henhold til *SN/NSPEK 3031 Bygningens energiytelse – beregning av energibehov og energiforsyning for TEK* (10) og i henhold til *NS 3700: 2013 kriterier for passivhus og lavenergihus* (7).

TEK17-scenariet er utviklet i samarbeid med entreprenøren Nordbolig og Norlys Arkitektur og representerer entreprenørens standardløsning. Energieffektivitet tilfredsstilles med tiltaksmetoden (energiltaksliste). I TEK17-scenariet har bygg 7 et oppvarmet bruksareal på 126 m² og bygg 8 et oppvarmet bruksareal på 107m². U-verdiene er på yttervegger (tilsvarende 200mm isolasjon) 0,22 W/m²K, på tak 0,09 W/m²k (450mm isolasjon), på gulv 0,15 W/m²K (150mm isolasjon) og på vinduer og dører 0,8 W/m²K. Normalisert kuldebro er på 0,05 W/m²K og lekkasjetall er på 1,5. Temperaturvirkningsgrad av varmegjenvinner er 85%.

I passivhus-scenario har bygg 7 et oppvarmet bruksareal på 107 m² og bygg 8 et oppvarmet bruksareal på 93 m². Grunnen til at oppvarmet bruksareal er mindre i passivhus-scenariet er fordi veggene er tykkere enn i TEK17-scenariet, bruttoareal forblir det samme. I passivhus-scenario er u-verdiene på yttervegger (tilsvarende 500mm isolasjon) 0,09 W/m²K, tak 0,09 W/m²k (450mm isolasjon), gulv 0,09 W/m²K (450mm EPS isolasjon) og vinduer og dører 0,7 W/m²K. Normalisert kuldebro er på 0,03 W/m²K og lekkasjetall er på 0,6. Temperaturvirkningsgrad av varmegjenvinner er 90%.

I begge scenarioene har bygg 7 et bruttoareal på 145 m² og bygg 8 et bruttoareal på 128 m². I tillegg er det beregnet 5,87 m² solceller per boenhet, det vil si 546,5 m² delt mellom 93 boenheter som vil produsere 10 kWh/m^{2BRA}/år eller 1 000 kW/år per boenhet. Fjernvarme vil dekke oppvarming og varmtvannsbehov. Resterende energibehov dekkes av elektrisitet fra nettet.

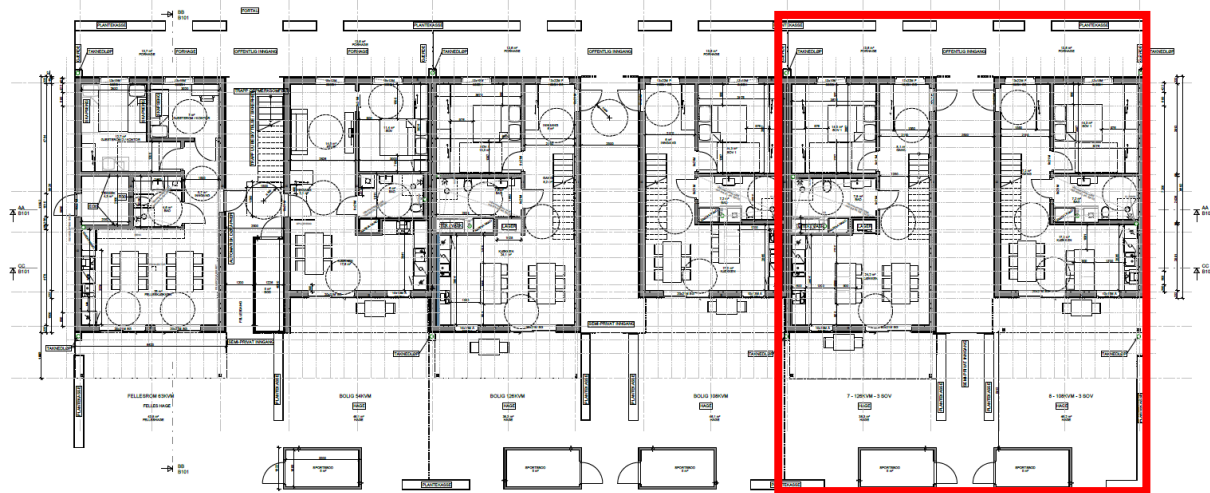
Livsløpsanalyse

Klimagassutslippsberegningene er gjennomført i henhold til metoden beskrevet i *NS 3720: 2018 Klimagassberegninger for bygg* (5). Funksjonell enhet er 1 kvadratmeter oppvarmet bygg i et nabolag over 60 års levetid². Rapporteringsenhetene er tonn CO₂e, kgCO₂e/m^{2BTA} /år og tonn CO₂e/person. Klimagassberegningene er gjennomført for hele livsløpet og inkluderer produksjonsfasen (A1 - A3), byggefasen (A4 - A5), bruksfasen (B1 - B6), sluttfasen (C1 - C4) og fordeler og ulemper utover livsløpet

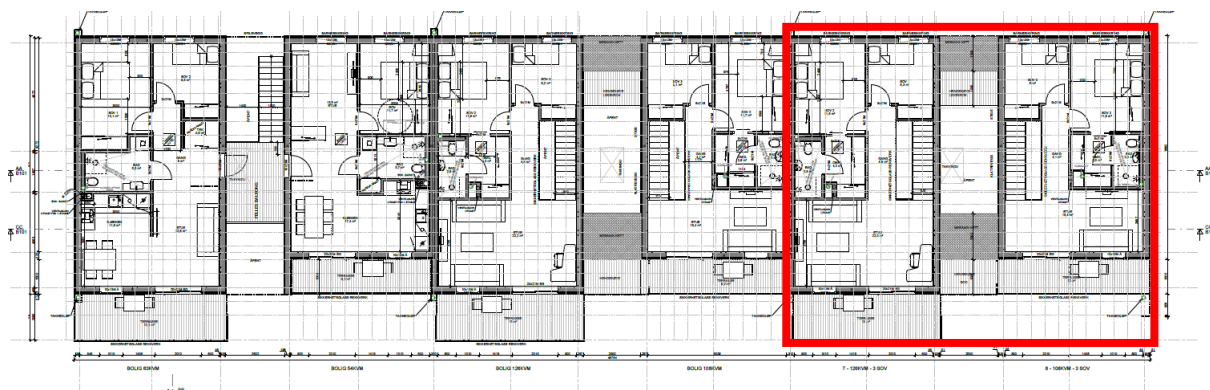
² Direktoratet for byggkvalitet innførte klimagassregnskapskrav 1. juli 2022 med veiledning om å bruke 50 års levetid for bygninger. Livsløpsanalysen var gjennomført før kravet kom, og det vil bety vesentlig mer arbeid i scenarioene utover produksjonsfasen til å regne om fra en referansestudieperiode av 60 til 50 år. Klimagasskravene presentert i kapittel 4 er også basert på en 60 års levetid.

(D). Siden hele livsløpet er inkludert i systemgrense er også biogent karbon inkludert i beregningene. Livsløpsinventaret er strukturert etter *NS 3451: 2022 Bygningsdeltabellen* og inkluderer 21 grunn og fundamenter, 22 bæresystemer, 23 yttervegger, 24 innervegger, 25 dekker, 26 yttertak, 28 trapper og balkonger og 47 lokal elproduksjon (6). I veileder til Masterplan, er det spesifisert at man skal dokumentere klimagassutslipp fra livsløpsmoduler A1 - A3 produksjonsfasen, (A4 transport til byggeplass - valgfri), B4 utskiftning, B6 energibruk i driftsfasen, (C1 - C4 avhending - valgfri) og D konsekvenser utover systemgrensen, se Figur 11 ZEN definisjonen tilsvarende dette ZEN KPI KGU1.1 Materialer, KGU1.4 Energibruk, KGU1.7 konsekvenser utover systemgrensen.

Klimagassberegningene er gjennomført i ZEB-regnearket (11) og er basert på Norlys arkitektur tegninger og Nordboligs inventarliste. Figur 5 og Figur 6 viser plantegninger for byggetrinn 1 B1.1, Figur 7 viser nord-fasade og Figur 8 viser tverrsnitt for byggetrinn 1 B1.1. Bygg 7 og bygg 8 er fremhevet i rødt. Etter figurene følger en presentasjon av materialinventaret som brukes i både klimagassberegningene og kostnadsberegninger. Utslippsfaktorer for materialer er samlet inn fra EPD-Norge. Hvis det ikke finnes en EPD for produktet så er det brukt EPD for lignende produkter eller EPD fra andre programoperatører som for eksempel Ecoplattform, Environdec eller Ökobaudat (proxy EPD) (12–14). Hvis det ikke finnes EPD så skal utslippsfaktorer fra en generisk database som Ecoinvent brukes (15).



Figur 5. Byggetrinn 1 B1.1 plan for 1. etasje. Bygg 7 og 8 er vist i rød ramme, utarbeidet av Norlys Arkitektur.



Figur 6. Byggetrinn 1 B1.1 plan for 2. etasje. Bygg 7 og 8 er vist i rød ramme, utarbeidet av Norlys Arkitektur.



Figur 7. Byggetrinn 1 B1.1 Nord fasade. Bygg 7 og 8 er vist i rød ramme, utarbeidet av Norlys Arkitektur.



Figur 8. Byggetrinn 1 B1.1 tverrsnitt. Bygg 7 og 8 er vist i rød ramme, utarbeidet av Norlys Arkitektur.

21 Grunn og fundamenter

Grunn og fundamentene består av 600 mm x 100 mm ringmur med 150 – 450 mm EPS isolasjon i gulv mot grunn (avhengig av scenarioet) og 100 mm stålarmeret betongplate. Tabell 2 gir en oversikt over byggematerialer brukt i grunn og fundamenter for bygg 7 og 8.

Tabell 2. Oversikt over byggematerialer brukt i grunn og fundamenter for bygg 7 og 8.

Byggemateriale	Mengde bygg 7	Mengde bygg 8	Enhet	Levetid	Datakilde
600 mm x 100 mm Vartdal ringmur	39,2	35,6	lm	60	NEPD 2795 1495 (2021) Sundolitt EPS S80 EPS insulation board
150 – 450 mm EPS isolasjon*	63	54	m ²	60	NEPD 2795 1495 (2021) Sundolitt EPS S80 EPS insulation board
100 mm grunnflate fundamentering	6,3	5,4	m ³	60	NEPD 2963 1654 (2021) Hokksund Betong B30 M60 22mm Lavkarbon A LB302560
Bærende striper i dekke ca. 200 mm	0,7	0,6	m ³		
Betong i ringmur (75 liter/løpemeteter)	2,7	2,4	m ³		
Stålarmering – 3%	1651	1415	kg	60	NEPD 3294 1938 (2022) Armering og Sveis Steel reinforcement products
6 mm Cembrit fibersementplate	39,2	35,6	lm	30	MD-21010-EN (2021) Cembrit Windstopper Extreme, Windstopper Basic, Construction, and Multi Force fibre cement board (EPD Danmark)
200 mm Isola Grunnmurspapp	7,9	7,3	lm	60	S-P-03761 (2018) BMI Icopal: two-layer waterproofing systems BASE SV + BASE SV**

*avhengig av scenarioet

**proxy EPD

22 Bæresystem

Bæresystemet består av massivtre og er inkludert under de andre bygningsdelene.

23 Yttervegger

Bygg 7: nordveggen er 65 m² og har ingen vinduer eller dører, østveggen er 46 m² og har tre vinduer i størrelse 1300 x 1300 mm og et vindu med dimensjoner 1300 x 2200 mm, sørveggen er 65 m² og har en dør som måler 1000 x 2100 mm, og vestveggen er 46 m² med to vinduer på 1000 x 1300 mm, og to vinduer på 2000 x 2100 mm.

Bygg 8: nordveggen er 56 m² og har en dør som måler 1000 x 2100 mm, østveggen er 46 m² og har tre vinduer i størrelse 1300 x 1300 mm og et vindu med dimensjoner 1300 x 2200 mm, sørveggen er 56 m² og har ingen vinduer eller dører, og vestveggen er 46 m² med to vinduer på 1000 x 1300 mm og to vinduer på 2000 x 2100 mm.

Yttervegg konstruksjonen består av:

- 19 mm utvendig trekledning
- 23 mm hulrom
- 19 mm Hunton vindtett
- 198 x 36 mm trekonstruksjonsvirke
- (198 - 398 + 50) 200 – 450 mm Nativo trefiberisolasjon plater
- 9 mm Fermacell fibergips / kryssfiner plater
- 0,2 mm Hunton Intellio plus



Tabell 3 gir en oversikt over byggematerialer brukt i yttervegger for bygg 7 og 8.

Tabell 3. Oversikt over byggematerialer brukt i yttervegger for bygg7 og 8.

Byggemateriale	Mengde bygg 7	Mengde bygg 8	Enhet	Levetid	Datakilde
48 x 98 mm montasjemateriell/div	50	50	lm	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
36 x 148 mm montasjemateriell/div	50	50	lm	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
36 x 198 – 398 mm trekonstruksjonsvirke*	343	429	lm	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
36 x 198 mm gavltrekanter	80,5	80,5	lm	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
48 x 198 – 398 mm trekonstruksjonsvirke til vinduer/dører*	40	40	lm	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
48 x 148 mm sperre bod	27	27	lm	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
48 x 48 mm spilevegger	518	518	lm	60	NEPD-474-330-NO (2016) Moelven Royalimpregnert trelast
19 x 148 mm utvendig panel gran malt	1792,5	2180,5	lm	60	NEPD 2744 1445 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Kledning Ultimatt av Gran
23 x 48 mm stående utlekting	443,1	539	lm	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
19 x 1200 x 2740 mm utvendig vindtett asfaltplate	184,2	230	m ²	60	NEPD 1247 400 NO (2017) Hunton Vindtett
9 mm gips branntetting inngang	99,8	84	m ²	60	NEPD 3368 1995 (2022) Gyproc Vindtett sheathing board
150 mm isolasjon yttervegger 38	58,5	0	m ²	60	NEPD 2287 1041 (2020) Hunton Nativo Trefiberisolasjon Plate

Byggemateriale	Mengde bygg 7	Mengde bygg 8	Enhet	Levetid	Datakilde
200 – 450 mm isolasjon yttervegger 38*	117	146,3	m ²	60	NEPD 2287 1041 (2020) Hunton Nativo Trefiberisolasjon Plate
50 mm isolasjon påføring yttervegger 38	117	146,3	m ²	60	NEPD 2287 1041 (2020) Hunton Nativo Trefiberisolasjon Plate
48 x 48 mm påføring yttervegg/himling stue	366,6	457,4	m ²	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
12 x 58 mm dør/vindulist hvitmalt	126	120	lm	60	NEPD 1581-604-NO (2018) Moelven Malt heltrelistverk av furu til innvendig bruk
18 x 170 mm utføring hvitmalt	96	90	lm	60	NEPD 1581-604-NO (2018) Moelven Malt heltrelistverk av furu til innvendig bruk
1300 x 1300 mm vindu	3	3	stk.	40	NEPD 2384 1126 (2020) NorDan NTech Tilt turn 3 handle ND105 80 without alu cladding
1000 x 1300 mm vindu	2	2	stk.	40	NEPD 2386-1126-EN (2020) NorDan NTech Fixed frame - FA 105 (without aluminium cladding)
1300 x 2200 mm vindu	1	1	stk.	40	NEPD 2386-1126-EN (2020) NorDan NTech Fixed frame - FA 105 (without aluminium cladding)
1000 x 2200 mm boddør	1	1	stk.	40	NEPD 2389-1125-EN (2020) NorDan NTech Villa Balcony door (security) - TE 105/80 (Without aluminium cladding)
1000 x 2100 mm ytterdør Michigan	1	1	stk.	40	NEPD 2389-1125-EN (2020) NorDan NTech Villa Balcony door (security) - TE 105/80 (Without aluminium cladding)
2000 x 2100 mm skyvedør	2	2	stk.	40	NEPD 3054-1724-NO (2021) Dovista GSD Sliding door 32mm glass thickness, wood cladding
Svillmembran**	50,6	46,9	lm	60	S-P-03761 (2018) BMI Icopal: two-layer waterproofing systems BASE SV + BASE SV
Isola vindspærre tape	6	5	rull	60	Tilleggsmateriale brukt i installasjon av vinduene i livsløpsmodul A5
50 mm Hunton dampbrems tape	6	5	rull	60	Tilleggsmateriale brukt i installasjon av dampbrems i livsløpsmodul A5
Dampbrems vegg og himling**	322,8	272,4	m ²	60	S-P-01006 (2017) Mapei: Mapeplan T TU TPO/FPO waterproffing membrane for tunnels
Dørvridere ytterdør	2	2	stk.	40	Tilleggsmateriale brukt i installasjon av dørene i livsløpsmodul A5

*avhengig av scenarioet

**proxy EPD

24 Innervegger

Tabell 4 gir en oversikt over byggematerialer brukt i innervegger for bygg 7 og 8.

Tabell 4. Oversikt over byggematerialer brukt i innervegger for bygg7 og 8.

Byggemateriale	Mengde bygg 7	Mengde bygg 8	Enhet	Levetid	Datakilde
48 x 148 mm bærevegger	218,4	58,8	lm	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
48 x 98 mm bærevegger	285,6	285,6	lm	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
48 x 198 mm bærevegger	45,36	42	lm	60	NEPD 2748 1441 (2021) G3 Gausdal Treindustrier Høvellast av gran
12 mm gips lydvegger	71,4	0	m ²	60	NEPD-3364-1995-EN (2022) Gyproc Vindtett sheathing board
150 mm lydisolasjon	58	0	m ²	60	NEPD-1696-683-NO (2019) Glava glassull
70 mm lydisolasjon	61,2	61,2	m ²	60	NEPD-1696-683-NO (2019) Glava glassull
Veggflis bad	46	46	m ²	60	NEPD-2048-917-EN (2019) Marazzi group ceramic tiles
Smøremembran bad	57	56	m ²	30	NEPD-1749-736-NO (2019) Protan Litex Banemembran/Våtromsmembran
12 mm veggplater standard gips	360,8	342,1	m ²	60	NEPD-3364-1995-EN (2022) Gyproc Vindtett sheathing board
Swedoor byggedører 1000 x 2100 mm	1	1	stk.	30	NEPD-2025-897-NO (2020) Knudsen dørfabrikk innerdør
Opus innvendige dører hvit 900 x 2100 mm	4	4	stk.	30	NEPD-2025-897-NO (2020) Knudsen dørfabrikk innerdør
Opus slett skyvedør 900 x 2100 mm	2	2	stk.	30	NEPD-2025-897-NO (2020) Knudsen dørfabrikk innerdør
Dørvidere innerdør Habo New York	4	4	stk.	30	Tilleggsmateriale brukt i installasjon av dørene i livsløpsmodul A5

25 Dekker

Både bygg 7 og 8 har to etasjer. Bygg 7 har et bruttoareal på 145 m². I TEK17-scenarioet er oppvarmet bruksareal for bygg 7 på 122 m² på grunn av 200 mm isolasjon i veggene, og i passivhus-scenarioet er oppvarmet bruksareal 107 m² på grunn av 450 mm isolasjon i veggene. Bygg 8 har et bruttoareal på 128 m². I TEK17-scenarioet er oppvarmet bruksareal for bygg 8 på 107 m² på grunn av 200 mm isolasjon i veggene, og i passivhus-scenarioet er oppvarmet bruksareal 93 m² på grunn av 450mm isolasjon i veggene. Tabell 5 gir en oversikt over byggematerialer brukt i dekker for bygg 7 og 8.

Tabell 5. Oversikt over byggematerialer brukt i dekker for bygg7 og 8.

Byggemateriale	Mengde bygg 7	Mengde bygg 8	Enhet	Levetid	Datakilde
45 x 300 mm I-bjelkelag	75,46	64,9	m ²	60	NEPD-3201-1842-EN (2021) Masonite Beams I beam H300
Forestia gulvspan	75,46	64,9	m ²	60	NEPD-2003-885-NO (2020) Forestia Sponplater Ekstra
Sponplatelim (1 stk. per 3 m ²)	23	20	stk.	60	Tilleggsmateriale brukt i installasjon av gulvspanplate i livsløpsmodul A5
11 x 36 mm klemlerter	154	154	lm	60	NEPD-2748-1441-NO (2021) Gausdal Bruvoll Høvellast av gran
150 mm lydisolasjon bjelkelag	69	59	m ²	60	NEPD-2287-1041-NO (2020) Hunton Trefiberisolasjon plate

Byggemateriale	Mengde bygg 7	Mengde bygg 8	Enhet	Levetid	Datakilde
36 x 48 mm nedlekting himling	532,8	464,4	lm	60	NEPD-2748-1441-NO (2021) Gausdal Bruvoll Høvellast av gran
12 mm himling Gyproc planum gips	162,8	141,9	m ²	60	NEPD-3364-1995-EN (2022) Gyproc Normal – Standard Plasterboard
12 mm OSB plate	10,34	7,7	m ²	60	NEPD-1579-604-NO (2018) Moelven Vanerply kryssfiner av gran
18 mm rupanel bad	50,6	50,6	m ²	60	NEPD-2748-1441-NO (2021) Gausdal Bruvoll Høvellast av gran
Smøremembran bad	10,7	9,7	m ²	30	NEPD-1749-736-NO (2019) Protan Litex Bademembran/Våtromsmembran
300 x 600 mm gulvflis gang	5,5	5,5	m ²	60	NEPD-2048-917-EN (2019) Marazzi group ceramic tiles
200 x 200 mm gulvflis bad	10,7	9,7	m ²	60	NEPD-2048-917-EN (2019) Marazzi group ceramic tiles
14 mm parkett	93	77	m ²	60	NEPD-1578-736-NO (2018) Moelven Heltregulv av furu med hardvoksolje
12 x 58 mm gulvlist	132	126,5	lm	60	NEPD-1581-604-NO (2018) Moelven heltrelistverk av furu til innvendig bruk

26 Yttertak

For bygg 7 er yttertaket nordvendt og for bygg 8 er yttertaket sørvendt. Begge takene er på 92 m². PV-installasjonen på bygg 8 er rapportert under bygningsdel 47 og har et areal på 76,5 m². Tabell 6 gir en oversikt over byggematerialer brukt i yttertak for bygg 7 og 8.

Tabell 6. Oversikt over byggematerialer brukt i yttertak for bygg 7 og 8.

Byggemateriale	Mengde bygg 7	Mengde bygg 8	Enhet	Levetid	Datakilde
19 x 148 mm himlinger UTV låve	369,6	475,2	lm	60	NEPD-2744-1445-NO (2021) Gausdal Bruvoll Kledning Ultimatt av gran
23 x 123 mm avstivning takstoler	50	50	lm	60	NEPD-2748-1441-NO (2021) Gausdal Bruvoll Høvellast av gran
Takverk komplett inkl. limtre*	4,6	5,5	m ³	60	NEPD-1576-605-NO (2018) Moelven Standard limtrebjelke
12,5 mm Gips branntetting	18,9	18,9	m ²	60	NEPD-3364-1995-EN (2022) Gyproc Normal – Standard Plasterboard
2 lag papptekking kalde tak	237,8	237,8	m ²	60	S-P-03761 (2018) BMI Icopal two-layer waterproofing systems
Gradrenner / kilrenner beslag (antagelse 2 kg/m)**	13,2	0	lm	60	NEPD nr.: 3338-1975-EN (2022) Smith Stål: cold formed hollow structural sections
600 mm vindski/forkant beslag (antagelse 0,75 kg/m)**	16	28	lm	60	
120 mm takrenner komplett svart (antagelse 1,1 kg/m)**	5,5	15	lm	60	
75 mm nedløp komplett svart (antagelse 1,1 kg/m)**	15	21	lm	60	
50 x 145 x 50 mm parapetbeslag /toppbeslag (antagelse 1 kg/m)**	6,6	6,6	lm	60	

Byggemateriale	Mengde bygg 7	Mengde bygg 8	Enhet	Levetid	Datakilde
450 mm trefiber innblåst isolasjon yttertak*	74	64,5	m ²	60	NEPD-2286-1041-NO (2020) Hunton Trefiberisolasjon innblåst
200 mm isolasjon tak inngang	18	18	m ²	60	NEPD-1696-683-NO (2019) Glava glassull
55 x 100 mm loftsluke**	1	1	stk.	30	NEPD-2025-897-NO (2020) Knudsen dørfabrikk innerdør

* avhengig av scenariolet

**proxy EPD

28 Balkong og trapper

Tabell 7 gir en oversikt over byggematerialer brukt i balkong og trapper for bygg 7 og 8.

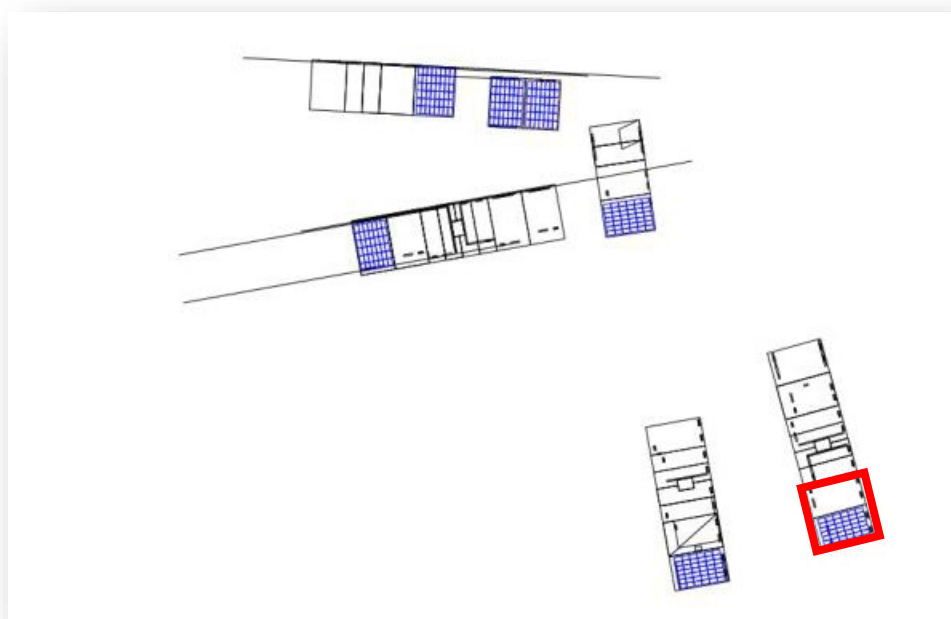
Tabell 7. Oversikt over byggematerialer brukt i balkong og trapper for bygg7 og 8.

Byggemateriale	Mengde bygg 7	Mengde bygg 8	Enhet	Levetid	Datakilde
11,5 x 300 mm limtre balkong til stue	11	10,2	lm	60	NEPD-1576-605-NO (2018) Moelven Standard limtrebjelke
11,5 x 11,5 mm limtresøyler IMP balkong	6	6	lm	60	NEPD-1576-605-NO (2018) Moelven Standard limtrebjelke
48 x 98 mm terrassebjelker skrånkjært	80	80	lm	30	NEPD-474-330-NO (2016) Moelven Royalimpregnert trelast
48 x 198 mm balkongbjelker	80	80	lm	30	NEPD-474-330-NO (2016) Moelven Royalimpregnert trelast
28 x 120 mm terrasse / balkong gulv	153,6	153,6	lm	30	NEPD-474-330-NO (2016) Moelven Royalimpregnert trelast
Glassrekkeverk**	11	6,6	lm	60	NEPD nr.: 3003-1678-EN (2021) CSK Steel: Prefabricated steel balconies with glass railings
22 x 120 mm undertak og undergulv balkong	1248,45	1248,45	lm	60	NEPD-2748-1441-NO (2021) Gausdal Bruvoll Høvellast av gran
150 mm glassullisolasjon balkong	16	16	m ²	60	NEPD-1696-683-NO (2019) Glava glassull
Innvendig trapp rett inkl. returjelender glass (antagelse 0,3 m ³ /stk)**	1	1	stk.	60	NEPD-1576-605-NO (2018) Moelven Standard limtrebjelke

**proxy EPD

47 Lokal elproduksjon

Nettkoblet solcelle (PV)-anlegg er dimensjonert for byggetrinn 1 og 2 av Energi Pluss i Meteororm 8.1 (Meteororm er en meteorologisk database for solenergisimuleringer) og tar utgangspunkt i 300 PV moduler med 6 vekselrettere på et samlet overflateområde på 546,5 m². Se Figur 9 for situasjonsplan og 3D-design av PV-anlegget. PV modulene har en ytelse på 108 kWp og utnyttelsesgrad på 91,6% som vil gi en beregnet energiproduksjon på ca. 910 kWh/kWp eller 98 494 kWh/år for hele PV-anlegget. PV produsenten er Luxor Solar GmbH og PV modulene er LX-360M/166-120+ 1500V, full black og installeres med 15° helling. Vekselrettere er fra Ginlong (Solis) og modell Solis-3P15K-4G og Solis-25K-5G. PV-anlegget på byggetrinn 1 er fordelt jevnt på B1.1 og B1.2 og tilsvarer 76,5 m² eller 42 PV moduler og en vekselretter hver. Anlegget er rettet mot sør og er plassert på taket til bygg 8. Energiproduksjon på byggetrinn 1 er beregnet til å være 29 778 kWh/år. Tabell 8 gir en oversikt over byggematerialer brukt i lokal elproduksjon for bygg 7 og 8.



Figur 9. Situasjonsplan og 3D-design av PV-anlegget på Ydalir Byggetrinn 1 og 2, utarbeidet av Energi Pluss. Bygg 7 og 8 er vist i rød ramme.

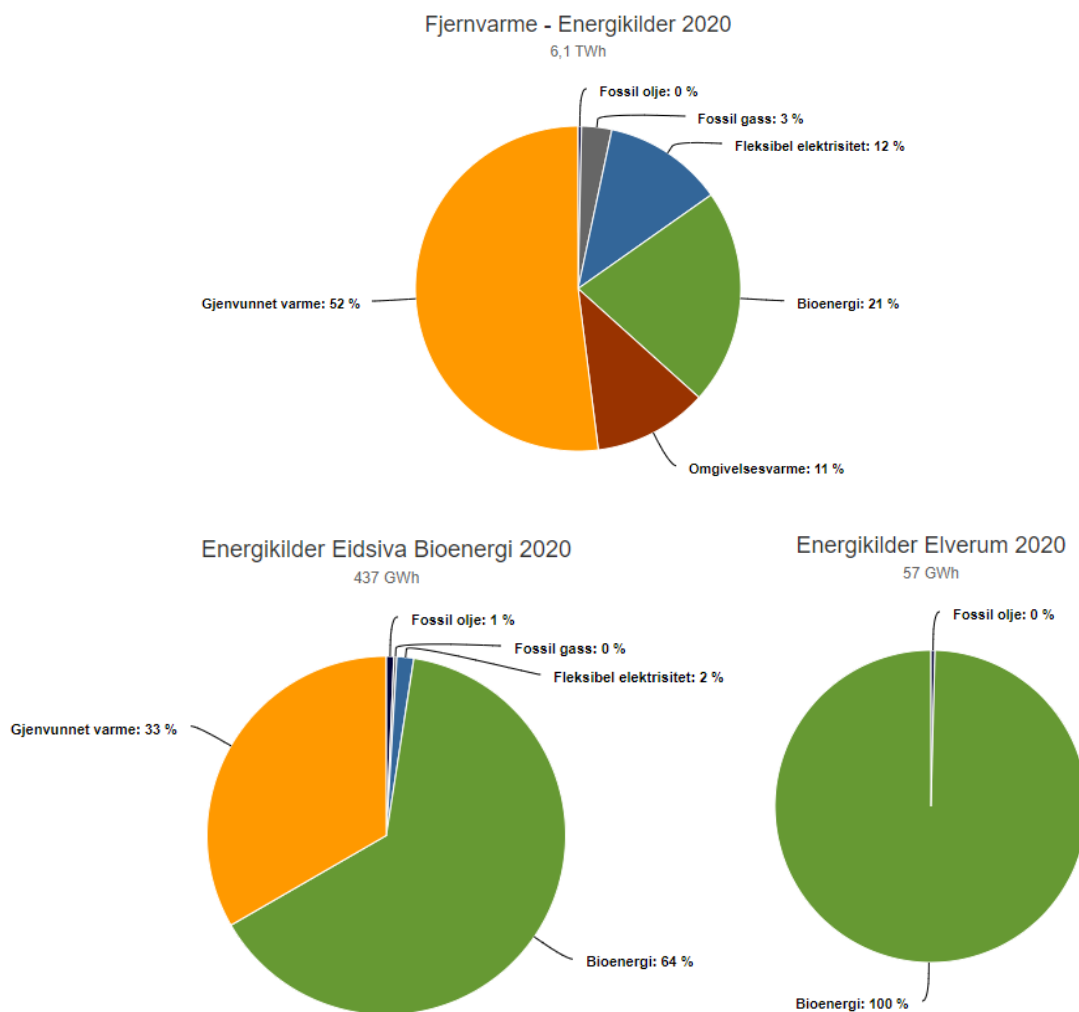
Tabell 8. Oversikt over byggematerialer brukt i lokal elproduksjon for bygg7 og 8.

Byggemateriale	Mengde bygg 7	Mengde bygg 8	Enhet	Levetid	Datakilde
PV moduler	-	76,5	m ²	30	NEPD 3087 1726 (2021) Sunpower Maxeon 3 mono-crystalline PV module

Levert energi

Bygg 7 og 8 får levert energi i form av fjernvarme, elektrisitet og sol. Eidsiva Bioenergi har ti forskjellige fjernvarmeanlegg i Innlandet. Anlegget på Elverum forbrenner returtre (RT-flis) fra tre forskjellige aktører i nærområdet, blant annet norsk gjenvinning. De kverner rivingsavfall som består av ubehandlet trevirke fra gjenbrugsstasjon (95% rent trevirke, 5% forurenset trevirke) og kjører det til anlegget 3 km

unna. Figur 10 viser energikilder fra fjernkontrollen for fjernvarme på nasjonalbasis, Eidsiva Bioenergi og Elverum-anlegget.



Figur 10. Energikilder for fjernvarme på nasjonal basis, Eidsiva Bioenergi og Elverum-anlegget i 2020 (16).

På fjernvarmesentral i Elverum er RT-flis og spisslast basert på trebriketter og olje. I 2020 var fordelingen 99,6% bioenergi (flis) og 0,4% fossil olje. Når man bruker anbefalte utslippsfaktorer fra Norsk Energi (se Figur 11) fører dette til en utslippsfaktor på 13,11 gCO₂/kWh for fjernvarme i Elverum. Eidsiva Bioenergi informerer at dette tallet er forholdsvis sammenfallende med 2021 og vil trolig bli slik i årene framover. I motsetning er utslippsfaktor for Eidsiva Bioenergi på 12,77 gCO₂/kWh og gjennomsnitt på nasjonalbasis på 23,01 gCO₂/kWh. Det blir mest riktig å bruke utslippsfaktoren for Elverum siden dette gjenspeiler realiteten for Ydalir Torg.

	Energibærer**	Forbrenning	Produksjon og transport	Totalt
ANBEFALT FAKTORER gCO ₂ e/kWh	Elektrisitet	NA	NA	110
	Avfall*	7	4	11
	Lettolje	268	21	289
	Tungolje	290	21	311
	LPG	235	39	274
	Naturgass (LNG)	203	40	243
	Naturgass (tørrgass)	204	40	244
	Energivekster	9	28	37
	GROT og stubber	9	7	16
	Skogsflis	9	9	18
	RT-flis	9	3	12
	Bark og spon	9	5	14
	Pellets og trepulver	6	13	19
	Briketter	6	15	21
	Bioolje (med bærekraftskriterier)	6	4	10
	Bioolje (uten bærekraftskriterier)	292	4	296
	Spillvarme	0	0	0

Figur 11. Anbefalte utslippsfaktorer for ulike energibærere fra Norsk Energi.

Utslippsfaktorer for elektrisitet følger *NS 3720: 2018* og bruker utslippsfaktor for EU28+NO (5). EU28+NO er basert på Europeisk forbruksmik (gjennomsnitt per år over objektets levetid) og er beregnet på bakgrunn av Eurostat og EUs Roadmap2050 til 136 gCO₂e/kWh/år, og er gjennomsnitt for perioden 2015 til 2075. Utslippsfaktoren for solenergi er satt til null siden utslippene fra PV-systemet er tatt hensyn til i bygningsdel 47 lokal elproduksjon for bygg 8.

Livssyklus kostnader

Kostnadskalkylen gir et øyeblikksbilde av kostnader. Kostnadsberegninger er gjennomført i henhold til *NS 3454: 2013 livssyklus kostnader (LCC) for byggverk* (17) og *NS 3453: 2016 Spesifikasjon av kostnader ved byggeprosjekt* (18). Resultatene er gitt i norske kroner (NOK) og pris per bruttoareal per år (NOK/m²BTÅ/år). Omfanget av studien er begrenset til '*1 Anskaffelses- og restkostnader: 12 Nybygg*' og '*5 Forsyningskostnader: 51 Energi*' fra Tabell 2 – Kostnadsklassifisering i *NS 3454: 2013* (17) som vil si kostnadsrammen for entreprenøren (tilsvarende ZEN KPI ØKO6.1 Investeringkostnader) og driftskostnader for direkte energibruk i driftsfasen for brukerne (tilsvarende ZEN KPI ØKO6.2 Driftskostnader). Bygningsdelene inkludert i analysen tilsvarende det som er brukt i livsløpsvurderingene. Analyseperioden er 60 år og kalkulasjonsrente er 4%. Kostnadsberegningene er gjennomført høsten 2022 og baserer seg på spesifikke kostnadsdata for 2022 og generisk kostnadsdata fra Norsk prisbok siste kvartal 2021. Kostnadsberegningene er sammenlignet i et nytte-kostnadsperspektiv for å avveie krav mellom energieffektivisering og materialbruk. I ZEN definisjonen tilsvarende dette ØKO6.3 Overordnet ytelse.

ZEN KPI ØKO6.1 Investeringkostnader

En spesifikasjon av kostnader er gitt i Tabell 9. Tabellen inkluderer en oppsummering av antagelser gjort i forhold til fordeling av huskostnadene (konto 01-06) og prosentssatsøkninger for de andre type kostnadene. For *02 Bygning* er materialprisene basert på materialemengder fra livsløpsanalysen og byggevarerpriser hentet inn av utbyggeren. Mange entreprenører har rabattavtaler med byggevarerforhandlere som ligger på rundt 10 - 50% lavere enn veiledende/ordinær pris avhengig av varer, disse

er ikke inkludert i beregningene. For arbeidskostnaden så er det antatt 6,3 arbeidstimer/m² for TEK17-scenariet og 6,6 arbeidstimer/m² for passivhus-scenariet med en timepris på 620 kr/time i begge scenarioene (19). Passivhus-scenariet har et høyere timebruk enn TEK17-scenariet siden det vil ta lengre tid for byggarbeiderne å oppføre et bygg med tykkere vegger og tette et bygg til passivhus standarden. Når materialpris og arbeidskostnad summeres så legges det til et påslag på 11%. Der kostnadsdata ikke var tilgjengelig hos utbyggeren er priser hentet fra industrien eller basert på prosentsats for "rekkehus uten kjeller" fra norsk prisbok (19).

Tabell 9. Spesifikasjon av kostnader ved byggeprosjekt NS 3453:2016 (18).

Konto	Type kostnad	Prosentsats (19)
01	Felleskostnader	10,5%
02	Bygning	64,9%
03	VVS-installasjoner	15,9%
04	Elkraft	7,5%
05	Tele og automatisering	0,6%
06	Andre installasjoner	0,6%
01 – 06	Huskostnad	100%
07	Utendørs	0
01 – 07	Entreprisekostnad	
08	Generelle kostnader	+ 14,3%
01 – 08	Byggekostnad	
09	Spesielle kostnader	0
10	Merverdiavgift	+ 25%
01 – 10	Basiskostnad	
11	Forventet tillegg (inkl. MVA)	+ 5,7%
01 – 11	Prosjektkostnad	
12	Usikkerhetsavsetning (inkl. MVA)	+ 1,4%
01 – 12	Kostnadsramme	146,4%
13	Prisregulering (inkl. MVA)	0
01 – 13	SUM	146,4%

ZEN KPI ØKO6.2 Driftskostnader

Driftskostnadene er beregnet ved å multiplisere resultatene for levert energi med energipris. Det er ingen framskriving av energikostnadene.

Elektrisitetspriser i Norge i første kvartal 2022 for husholdninger inkludert kraft, nettleie og avgifter er i snitt på 188,8 øre/kWh ekskl. MVA (20). Ny nettleiemodellen som kom 1. juli 2022 er ikke tatt hensyn til. Gjennomsnittspris for fjernvarme i Norge i 2021 er 92,2 øre/kWh ekskl. MVA (21). Utbyggeren er i dialog med Ohmia energi eid av Trønder Energi for å bli enige om en kjøpsavtale for strøm fra solcellene. Ohmia Energi skal drifte solcelleanlegget på en-til-en pris på ca. 120 øre/kWh i 30 år med mulighet for å forlenge perioden med 10 - 15 år.

ZEN KPI ØKO6.3 Overordnet ytelse

Nåverdien, årskostnad og tilbakebetalingsperiode er beregnet for bygg 7 og 8 for å vurdere overordnet økonomisk ytelse.

Netto nåverdien (NPV) er dagens verdi av fremtidige kontantstrømmer. NPV av en fremtidig kostnad (K_t) er verdien av kostnaden målt i forhold til basisåret (t_0) ved en kalkulasjonsrente på 4%. Nåverdien beregnes ved å multiplisere den fremtidige kostnaden (K_t) med diskonteringsfaktoren (d_t) for det året kostnaden forekommer (17):

$$NPV = K_t \cdot d_t = K_t \cdot (1 + r)^{-t}$$

$$d_t = 1 / (1 + r)^t = (1 + r)^{-t}$$

Årskostnad (ÅK) er annuiteten av nåverdien av kostnadene (NPV) over analyseperioden (T) på 60 år. Tilbakebetalingsperiode er den tiden det tar å dekke investeringskostnadene og er ofte vurdert som den perioden hvor investeringen er en risiko. Det er beregnet ut ifra antall år før NPV er større enn den opprinnelige investeringen.

$$\text{ÅK} = NPV \cdot a = NPV \cdot \frac{r}{1 - (1 + r)^{-T}}$$

4. Klimagasskrav

I løpet av de siste par årene har forskjellige aktører i Norge utviklet forslag til klimagasskrav til norske bygninger. Det har for eksempel kommet følgende:

- krav til klimagassberegninger i byggt teknisk forskrift,
- OneClickLCA tilbyr et referansebygg å redusere klimagassutslipp i forhold til,
- FutureBuilt har utviklet en beregningsmetode for klimagassutslipp fra bygninger med maksimale utslipp på energibruk og materialbruk,
- BREEAM-NOR har utviklet referanseverdier for ulike bygningstyper, og
- ZEN har også publisert en rapport om krav til klimagassutslipp i bygninger.

Dette kapitlet presenterer de forskjellige kravene og en sammenlikning av klimagasskrav for materialbruk i bygninger.

Byggt teknisk forskrift

Høsten 2021 kom Direktoratet for byggkvalitet (DIBK) med forslag til endringer i byggt teknisk forskrift angående klimabaserte energikrav til bygg (22). Her var det beskrevet:

'For boligblokk og yrkesbygning skal det utarbeides et klimagassregnskap basert på metoden i NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger. Klimagassregnskapet skal som minimum inkludere modulene A1-A3 og B4-B5 for bygningselementene angitt i tabell Bygningsdeler. Kjelleretasjer kan utelates i klimagassregnskapet. For boligblokk og yrkesbygning som følger bestemmelsen i § 14-2 første ledd, gjelder ikke U-verdiene for yttervegg, tak, gulv, vindu og dør satt som minimumsnivå i § 14-3 første ledd bokstav a der det kan dokumenteres at klimagassutslipp fra bygningens materialbruk ikke overstiger 6 kg CO₂-ekvivalenter per m² BTA per år for boligbygning og 4,5 kg CO₂-ekvivalenter per m² BTA per år for yrkesbygning'.

Fra 1. juli 2022 har TEK17 innført følgende krav til klimagassregnskap:

Kapittel 17 Klima og livsløp

§ 17-1. Klimagassregnskap fra materialer

"Ved oppføring og hovedombygging av boligblokk og yrkesbygning skal det utarbeides et klimagassregnskap basert på metoden i Norsk Standard NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger. Klimagassregnskapet skal som minimum inkludere modulene A1–A4, B2 og B4 for bygningselementene angitt i tabell Bygningsdeler. I tillegg skal avfallet fra byggeplassen inngå i klimagassregnskapet."

Tabell 10. Bygningsdeler

Bygningsdel *)	Bygningselement
215	Pelefundamentering
216	Direkte fundamentering
22	Bæresystemer
23	Yttervegger
24	Innervegger
25	Dekker
26	Yttertak

* Tallene refererer til Norsk Standard NS 3451:2022 Bygningsdelstabell og systemkodetabell for bygninger og tilhørende uteområder.

Ydalirs Masterplan

OneClickLCA Carbon Designer (23) er et beregningsverktøy som kan brukes til å lage et referansebygg med tanke på å oppnå en 50% reduksjon i klimagassutslipp i forhold til referansebygget. Her har konsulentfirma Erichsen Horgen/Multiconsult (24) utviklet referansebygget (basert på TEK17) for Ydalir og et optimert scenario som illustrerer hva som kan oppnås av klimagassreduksjon på Ydalir. Tabell 11 viser hva som er inkludert i livsløpsinventarene for referansebygget og optimert scenario for byggetrinn 1. Både referansebygget og optimert scenarioet er laget i CarbonDesigner fra OneClickLCA (23), men er tilpasset for å inkludere klimagassutslipp fra fundament og kjeller.

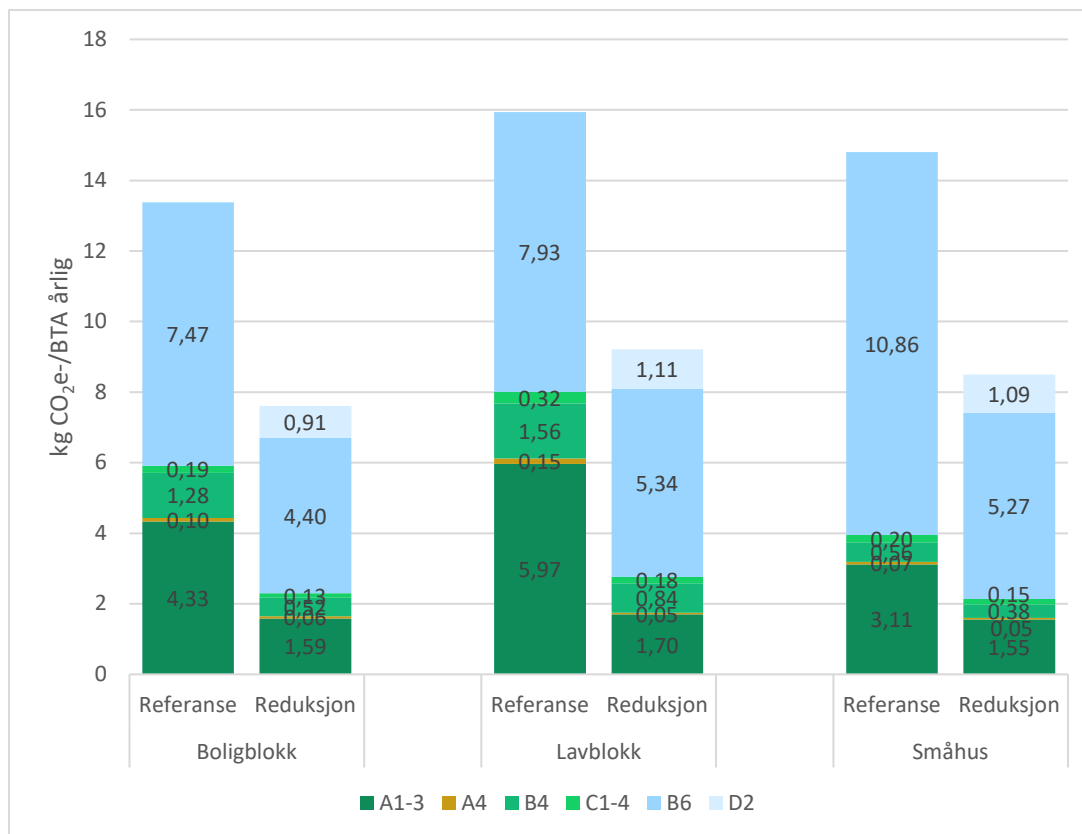
Tabell 11. Oppbygning av referansebygget og optimert scenario for Ydalir Masterplan, tilpasset fra (24).

Bygningsdel	Småhus - referanse	Småhus - optimert
21 Fundament	Ekskl.	
21 Kjeller	Ekskl.	
22 Bæresystem	Limtrebjelke	100 % Limtre
23 Yttervegger	95 % tre-stenderverk, 5 % leca	95 % trestenderverk, 5 % leca
23/24 Kledning	100 % tre	100 % tre
24 Innervegger	90 % stål-stenderverk, 10 % leca	90 % trestenderverk, 10 % leca
25 Dekke og gulv på grunn	100 % bjelkelag av limtre	Grunndekke fjernet påstøp 100% Bjelkelag av limtre
26 Yttertak	Her mangler referansen	100 % trebjelkelag
28 Balkong	Ekskl.	Ekskl.
28 Heissjakt/trapp	100 % limtre	100 % limtre

Multiconsult har utviklet både et referansebygg og et optimert scenario for Ydalir Byggetrinn 1. Referansebygget har med teknisk kvalitet som tilfredsstillende gjeldende forskriftskrav og tilsvarende energibruk. Bygget har et romprogram som er typisk for sin bygningskategori og materialvalg som representerer det vanligste i markedet. Materialvalg i referansebygg er forhåndsdefinert i programvaren OneClickLCA Carbon Designer og kontrollert med erfaringer. Optimert scenarioet har tilsvarende romprogram, og byggets tekniske kvalitet tilfredsstillende passivhusstandard, hvor energibesparelsen også er inkludert. Det er også lagt til grunn en reduksjon i elektrisitetsforbruk på 10 kWh/m^{2BRA}/år som følge av egenprodusert strøm fra solcellepaneler. Materialutslipp fra solceller er ikke inkludert. Miljøvennlig materialvalg er lagt til grunn for større bidragsyttere, for eksempel på betong, massivtre, vindu, gulvbelegg og gips. I optimert scenarioet er følgende forbedringer gjennomført (24):

- Betong er byttet til lavkarbon A betong
- Skandinavisk gjennomsnittet for massivtre er brukt
- Vinduer har redusert klimagassutslipp på 60,43 kgCO₂e/m^{2BTA}
- Parkett har redusert klimagassutslipp på 1,17 kgCO₂e/m^{2BTA}
- Gips har redusert klimagassutslipp på 1,7 kgCO₂e/m^{2BTA}
- Gulvbelegg (linoleum) har redusert klimagassutslipp på 2,6 kgCO₂e/m^{2BTA}
- Innerdører har redusert klimagassutslipp på 25,66 kgCO₂e/m^{2BTA}

Figur 12 viser utslippsnivåene for referansebygget og optimert scenario (reduksjon) for boligblokk, lavblokk og småhus på Ydalir. For Ydalir har klimagassutslippsnivå (grenseverdier) for livsløpsmoduler A1-A3, B4 og B6 blitt foreslått i Tabell 12 av Multiconsult.



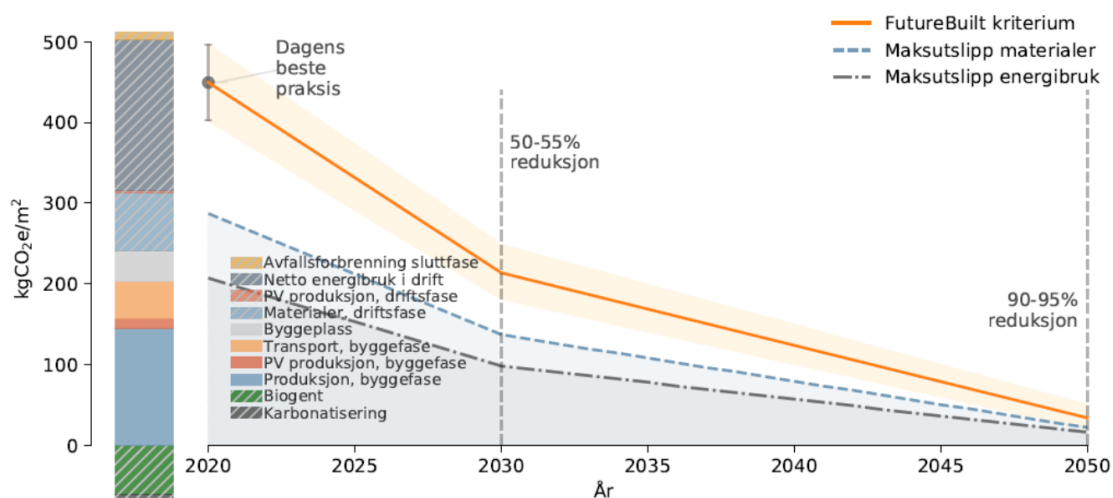
Figur 12. Utslippsnivåer Ydalir og ZEN Case.

Tabell 12. Grenseverdier for Ydalir Masterplan fra Multiconsult (kgCO₂e/m²/år).

	Referanse - Totale klimagassutslipp	Optimert - Totale klimagassutslipp	Materialer - 20% reduksjon (A1-A3, B4)	Materialer - 50% reduksjon (A1-A3, B4)	Energi - 50% reduksjon (B6)
Boligblokk	13,4	6,7	4,5	2,8	3,7
Lavblokk	15,9	8,0	6,0	3,8	4,0
Småhus	14,8	7,4	2,9	1,8	5,4
Gjennomsnitt	14,7	7,4	4,5	2,8	4,4

FutureBuilt Zero

FutureBuilt har et sett kvalitetskriterier inkludert i FutureBuilt Zero som gir en metode for klimagassberegninger og grenseverdier i tråd med Paris-avtalen, se Figur 13 og Tabell 13. Utbyggingsår for Ydalir er 2022 - 2023 som gir en grenseverdi i tråd med Paris-avtalen på 378 - 401 kgCO₂/BTA som tilsvarer 6,3 - 6,7 kgCO₂e/m²BTA/år (25). Systemgrense inkluderer hele livsløpet med livsløpsmoduler A1 – C4 og bygningsdeler 21 – 29.



Figur 13. Diagrammet viser nivå for hovedkriterium (rød kurve), samt krav til maksutslipp fra energibruk i drift – den sorte stiplede kurven, og maksutslipp fra materialbruk – den blå stiplede kurven, i [kgCO₂e/m² BTA]. Tallverdier er gitt i Tabell X (25).

Tabell 13. FutureBuilt ZERO hovedkriterium (som tilsvarer den røde kurven i Figur X), samt minstekrav til (maksimum) utslipp fra materialer og energibruk i drift, [kgCO₂e/m^{2BTA}] (25).

	FutureBuilt kriterium	Maksutslipp materialer (A1-A5, B1-B5, C1-C4)	Maksutslipp energi (B6)
2020	449	287	207
2021	425	271	196
2022	401	256	185
2023	378	241	174
2024	354	226	163
2025	331	211	153
2026	307	196	142
2027	284	181	131
2028	260	166	120
2029	237	151	109
2030	213	136	98
2031	204	130	94
2032	195	125	90
2033	186	119	86
2034	177	113	82
2035	168	107	78
2036	159	102	73
2037	150	96	69
2038	141	90	65
2039	132	85	61
2040	123	79	57
2041	114	73	53
2042	105	67	49
2043	96	62	44
2044	87	56	40
2045	78	50	36
2046	70	44	32
2047	61	39	28
2048	52	33	24
2049	43	27	20
2050	34	21	16

BREEAM-NOR v6.0

En rapport om klimavennlige byggematerialer (26) brukes som underlag i BREEAM-NOR v6.0 MAT01 Bærekraftige materialvalg. LCA og klimagassberegningkalkulator (27) og DFØ kalkulator (28) gir en grenseverdi for boligbygg på ca. 8 kgCO₂e/m^{2BTA}/år, se Tabell 14. Omfanget er begrenset til livsløpsmoduler A1-A4 og B4. Rapporten vurderer også mulighetsrom for utslippsreduksjon på ca. 40-60% og presenterer en rekke tiltak.

Tabell 14. Mat 01-03 Referanseverdier per bygningstype (27).

Bygningstype	Referanseverdier (kgCO ₂ e/m ^{2BTA} /år) (A1-A4, B4)
Boligbygg	8,0
Kontor	6,8
Skole	6,4
Forretningsbygg	6,0
Sykehjem	6,8
Oppvarmet kjeller	5,2
Uoppvarmet kjeller	3,6

ZEN klimagasskrav til materialbruk

En tidligere ZEN rapport nr.24 "*Klimagasskrav til materialbruk i bygninger. Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger*", samlet livsløpsbaserte klimagassberegninger fra over 130 norske bygninger fra perioden 2009-2020 med fokus på produksjonsfasen (A1-A3) og utskiftninger av materialer i bruksfasen (B4) (29). Resultatene er presentert i Tabell 15 og sammenstillingen viser en kvartilbredde på 240 - 492 kgCO₂e/m², eller 4,1 - 8,1 kgCO₂e/m^{2BRA}/år og en median på 324 kgCO₂e/m^{2BRA} eller 5,4 kgCO₂e/m^{2BRA}/år for alle bygningstypene som er bygget.

Tabell 15. Resultater for statistisk analyse av livssyklusmoduler A1-A3 og B4 i som bygget fasen (kgCO₂e/m^{2BRA}/år) (29).

Bygningstype	Alle*	Boligbygg*	Kontorbygg*	Skolebygg*	Barnehage*	Rehabilitering
Maks verdi	22,4	21,3	11,0	22,4	9,1	5,6
95 prosentil	12,9	15,2	10,5	12,6	8,9	4,8
75, prosentil	8,1	8,7	7,8	7,1	8,2	3,0
Gjennomsnitt	6,6	7,2	5,7	6,1	7,0	2,6
Median	5,4	4,9	5,0	4,5	7,0	2,3
25. prosentil	4,1	4,3	3,5	3,8	5,4	2,0
5. prosentil	2,8	3,8	2,5	2,8	5,4	0,9
Min verdi	2,0	3,2	2,0	2,8	5,4	0,7
Sample størrelse	119	31	21	37	15	14
Faktisk størrelse	51	13	11	21	5	8

* Resultatene ekskluderer rehabiliteringsprosjekter.

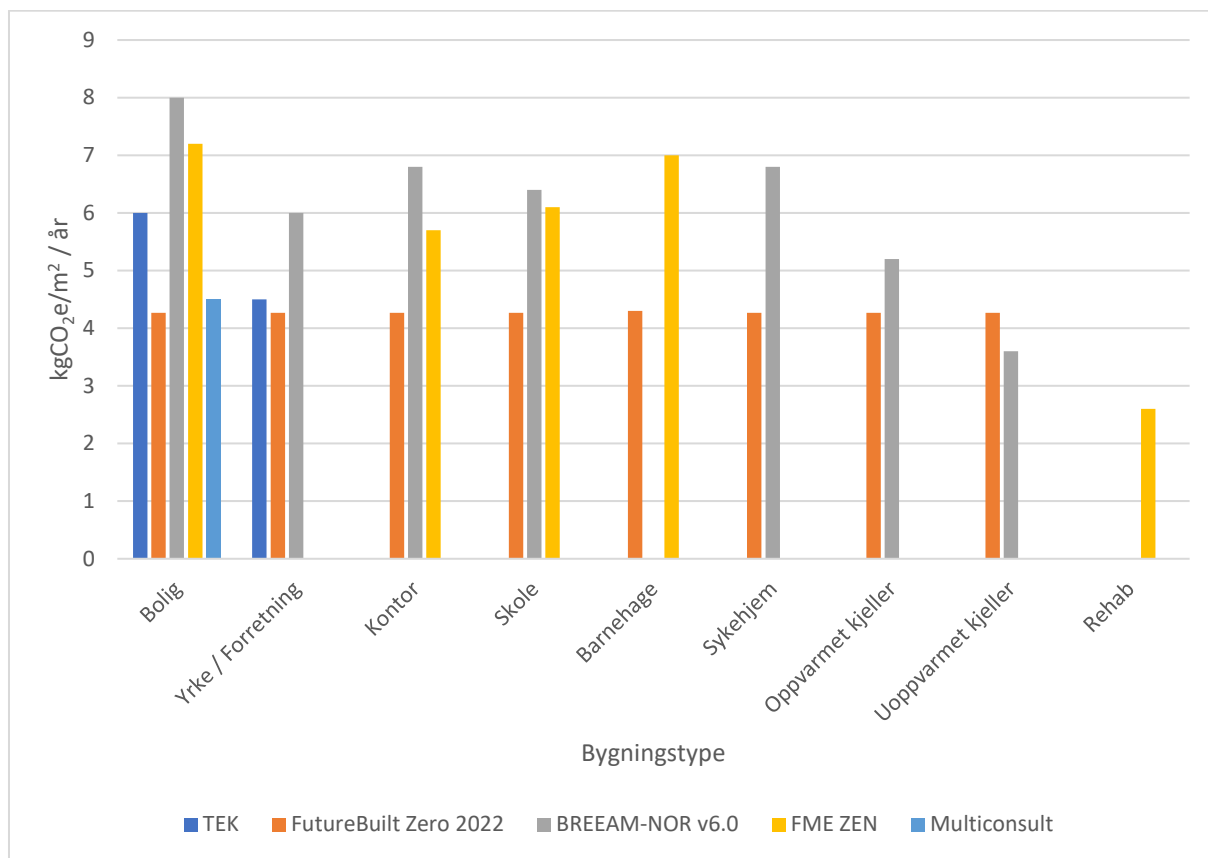
Sammenlikning

Figur 14 viser at hver aktør har ulike systemgrense for beregning av klimagassutslipp i bygninger. Alle inkluderer livsløpsmoduler A1-A3 og B4 i sin systemgrense. ZEN og FutureBuilt er de mest ambisiøse og inkluderer hele livsløpet. Det viser også hvor vanskelig det er for utbyggerne i Ydalir å vite hvilke livsløpsmoduler de skal inkludere i analysen sin når Ydalir Masterplan, TEK17 og ZEN er forskjellige. I tillegg er det en stor prosess for utbyggerne å tilpasse resultatene til forskjellige rapporterings-systemer/systemgrenser.

	A1-3 Produktstadiet			A4-5 Gjennomføringsstadiet		B1-7 Bruksstadiet							C1-4 Livsløpets sluttstadiet				D	
	A1: Råvarer	A2: Transport	A3: Produksjon	A4: Transport	A5: Anlegg, bygge- og monteringsarbeid	B1: Bruk	B2: Vedlikehold	B3: Reparasjon	B4: Utskiftning	B5: Ombygging	B6: Energiforbruk i drift	B7: Vannforbruk i drift	B8: Transport i drift	C1: Riving	C2: Transport	C3: Avfallsbehandling	C4: Avhending	D: Material- og energigjenvinning og ombruk av materialer eksport av egenprodusert energi
Ydalir masterplan	x	x	x	(x)	(x)		x		x		x			(x)	(x)	(x)	(x)	x
TEK17	x	x	x	x	(x)									(x)	(x)	(x)	(x)	x
OneClick referansebygg	x	x	x	(x)							x			(x)	(x)	(x)	(x)	x
FutureBuilt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
BREEAM-NOR	x	x	x	x					x									
ZEN	KGU1.1			KGU1.2		KGU1.3	KGU1.1	KGU1.2	KGU1.4	KGU1.5	KGU1.6				KGU1.7			

Figur 14. Varierende systemgrenser for klimagassutslipp i bygninger.

Resultatene fra Figur 15 viser at klimagasskravene for materialbruk (A1-A3, B4-B5) i bygninger ligger mellom 4,3 – 8 kgCO₂e/m²/år for boliger selv om systemgrensene og metodene varierer mellom de ulike systemene.



Figur 15. Sammenlikning av klimagasskrav for materialbruk i bygninger (A1-A3, B4-B5). NB: BREEAM-NOR v6.0 inkluderer i tillegg livsløpsmodul A4, og FutureBuilt Zero 2022 inkluderer hele livsløpet bortsett fra livsløpsmodul B6.

5. Energieresultater

Energibehov og levert energi resultatene fra SIMIEN beregningene er visst i Tabell 15 for bygg 7 og 8 i TEK17- og passivhus-scenarioene. Resultatene viser ca. 23% reduksjon i spesifikt energibehov og 30-32% reduksjon i spesifikk levert energi mellom TEK17- og passivhus-scenarioene. Resultatene i Tabell 16 er brukt videre for å beregne klimagassutslipp fra livsløpsmodul B6 og D samt driftskostnadene.

Tabell 16. Energibehov og levert energi resultater for bygg7 og bygg 8.

	TEK17-scenario				Passivhus-scenario			
	Energibehov (kWh)		Spesifikt energibehov (kWh/m ^{2BRA})		Energibehov (kWh)		Spesifikt energibehov (kWh/m ^{2BRA})	
	Bygg 7	Bygg 8	Bygg 7	Bygg 8	Bygg 7	Bygg 8	Bygg 7	Bygg 8
1a Romoppvarming	6 151	5 845	50,4	54,6	2 726	2 617	25,5	28,1
1b Ventilasjonsvarme	493	451	4,0	4,2	155	135	1,4	1,5
2 Varmtvann	3 635	3 188	29,8	29,8	3 188	2 769	29,8	29,8
3a Vifter	672	613	5,5	5,7	605	533	5,7	5,7
3b Pumper	225	192	1,8	1,8	110	104	1,0	1,1
4 Belysninger	1 390	1 219	11,4	11,4	1 219	1 059	11,4	11,4
5 Teknisk utstyr	2 137	1 875	17,5	17,5	1 875	1 629	17,5	17,5
6a Romkjøling	0	0	0	0	0	0	0	0
6b Ventilasjonskjøling	0	0	0	0	0	0	0	0
Totalt netto energibehov	14 704	13 382	120,5	125,1	9 877	8 846	92,3	95,1
	Levert energi		Spesifikk levert energi		Levert energi		Spesifikk levert energi	
1a Direkte el	4 424	3 899	36,3	36,4	3 808	3 325	35,6	35,8
4 Fjernvarme	11 366	10 512	93,2	98,2	6 560	5 989	61,3	64,4
7 Solstrøm til egenbruk	-1 377	-1 229	-11,3	-11,5	-1 261	-1 115	-11,8	-12
Totalt levert energi	14 413	13 181	118,1	123,2	9 108	8 199	85,1	88,2
Solstrøm til eksport	-518	-657	-4,2	-6,1	-634	-771	-5,9	-8,3
Netto levert energi	13 896	12 525	113,9	117,1	8 473	7 428	79,2	79,9

6. Klimagassutslippsresultater

Klimagassutslippsresultantene er visst i Tabell 17 og Figur 16 for bygg 7 og 8 for TEK17- og passivhus-scenarioene for hver livssyklusmodul. Resultatene er oppgitt i kgCO_{2eq} per kvadratmeter bruttoareal per år (kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år) og totale klimagassutslipp er gitt i tCO_{2e} og tCO_{2e}/person. Her er det antatt at det er 1,5 person per dobbeltrom og 1 person per enkeltrom som tilsvarer 4 personer per bygg. Tabell 18 viser resultatene per bygningsdel. Resultatene viser at bygg 7 har lavere totale klimagassutslipp enn bygg 8 i begge scenarioene, på grunn av solcellene på taket til bygg 8 i bygningsdel 47. Dette fører også til høye klimagassutslipp i livsløpsmodul B4 for bygg 8 på grunn av utskiftning av solcellene etter 30 år. Resultatene viser at TEK17-scenarioene har høyere totale klimagassutslipp enn passivhus-scenarioene på grunn av høyere energibehov som fører til høyere klimagassutslipp i livsløpsmodul B6 selv om det er høyere klimagassutslipp fra materialer i passivhus-scenarioene fra tykkere konstruksjons-elementer og mer isolasjon i vegger, tak og grunn. Resultatene viser at den største andelen av klimagassutslipp kommer fra bygningsdel 47 lokal elproduksjon (solceller), etterfulgt av 23 yttervegger, 21 grunn og fundamentene, 26 yttertak, 24 innervegger, 28 balkonger og trapper og 25 dekker. Figur 17 viser når i livsløpet de ulike klimagassutslippene oppstår for bygg 7 TEK17-scenario. Figur 17 viser negative klimagassutslipp i livsløpsmodulene A1-A3 på grunn av biogent karbon fra en høy andel av treprodukter i konstruksjonen som for eksempel bærekonstruksjon i massivtre, trefiberisolasjon og trekledning. Disse sparte klimagassutslippene er sluppet ut igjen i sluttfasen i livsløpsmodul C3 når byggene er demontert og treproduktene er forbrent i avfallshåndtering.

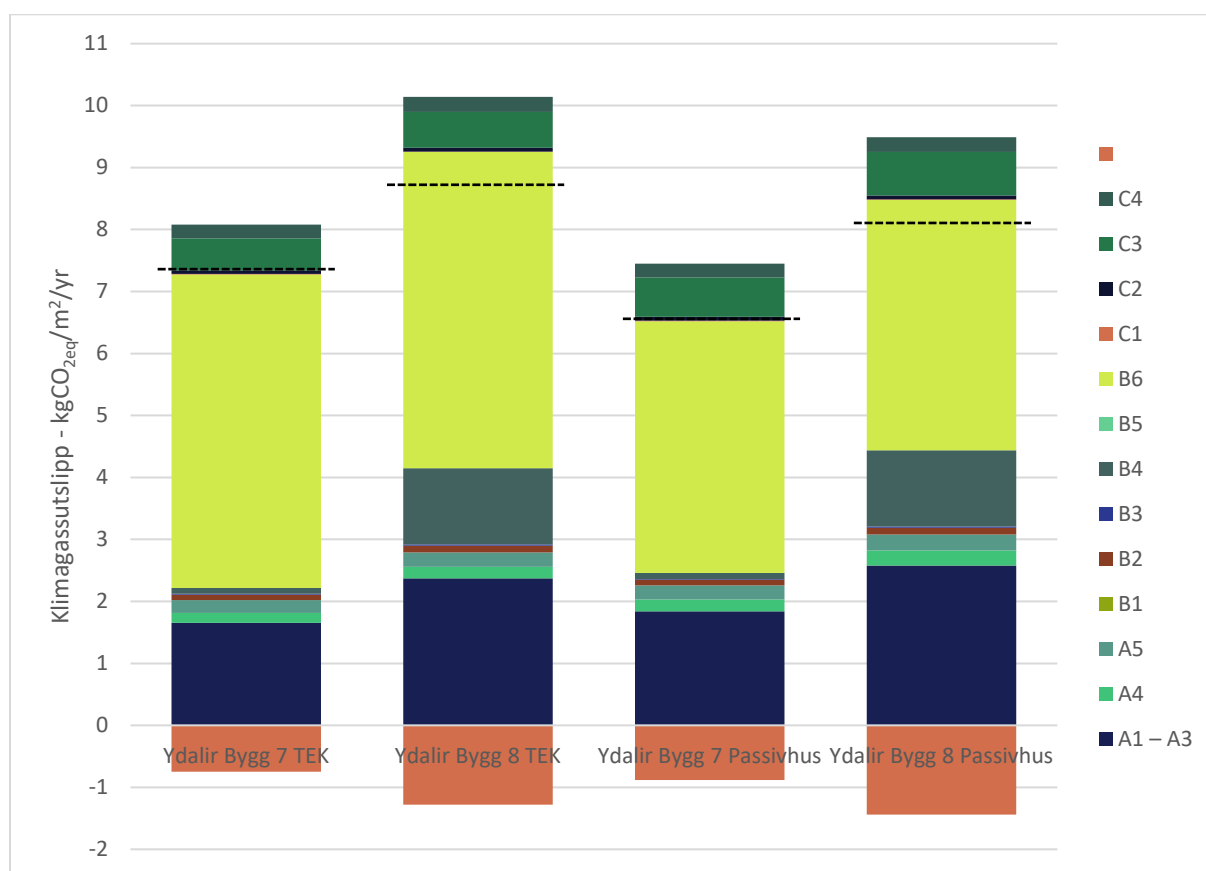
Tabell 17. Klimagassutslippsresultatene for bygg 7 og bygg 8 i TEK17- og passivhus-scenarioene per livsløpsmodul.

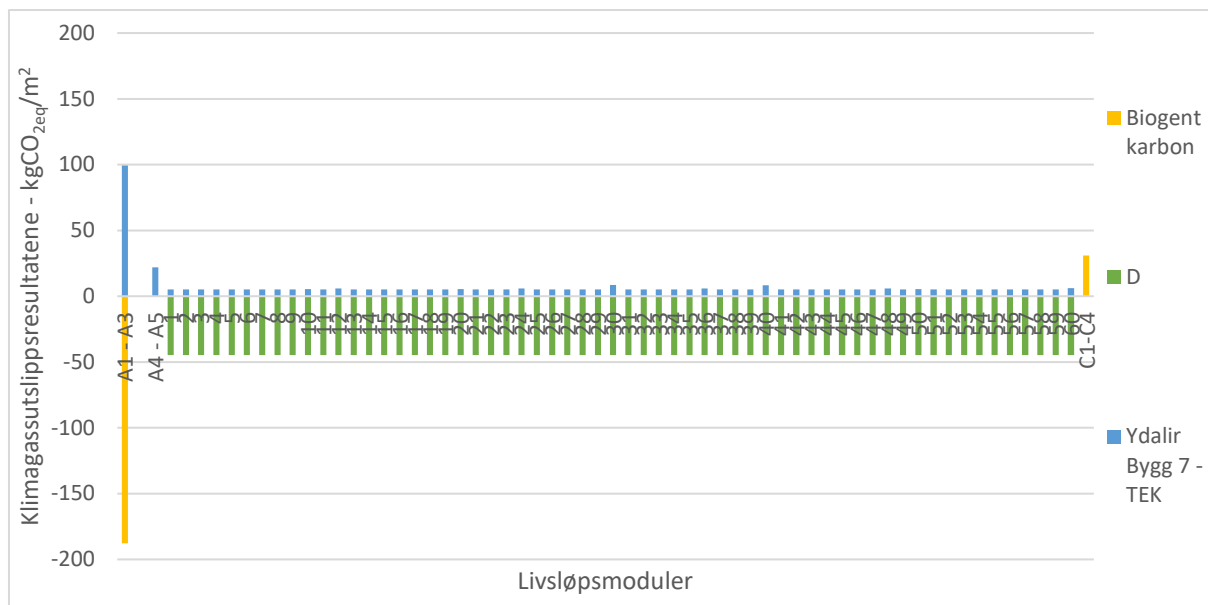
Livsløpsmodul	TEK17-scenario (kgCO _{2e} /m ^{2BTA} /år)		Passivhus-scenario (kgCO _{2e} /m ^{2BTA} /år)	
	Bygg 7	Bygg 8	Bygg 7	Bygg 8
A1- A3	1,64	2,35	1,84	2,58
A4	0,15	0,19	0,19	0,24
A5	0,21	0,23	0,23	0,26
B1	0	0	0	0
B2	0,09	0,11	0,09	0,11
B3	0,01	0,02	0,01	0,02
B4	0,1	1,23	0,1	1,23
B5	0	0	0	0
B6	5,06	5,1	4,06	4,04
C1	0,01	0,01	0,01	0,01
C2	0,06	0,06	0,06	0,06
C3	0,52	0,58	0,64	0,70
C4	0,22	0,24	0,22	0,24
D	-0,74	-1,27	-0,88	-1,44
SUM nZEB	7,32	8,84	6,57	8,06
tCO _{2e}	64	68	57	62
tCO _{2e} /person	16	17	14	15
Biogent karbon	-2,99	-3,44	-3,58	-4,26

Tabell 18. Klimagassutslippsresultatene for bygg 7 og bygg 8 i TEK17- og passivhus-scenarioene per bygningsdel (A1-A5, B2-B4,C1-C4, D).

Bygningsdel	TEK17-scenario (kgCO _{2e} /m ² BTA/år)		Passivhus-scenario (kgCO _{2e} /m ² BTA/år)	
	Bygg 7	Bygg 8	Bygg 7	Bygg 8
21	0,52	0,51	0,77	0,75
22*	0	0	0	0
23	1,07	1,18	1,17	1,33
24	0,34	0,33	0,34	0,33
25	0,16	0,16	0,16	0,16
26	0,34	0,39	0,34	0,4
28	0,3	0,21	0,3	0,21
47	0	1,62	0	1,62
SUM	2,75	4,44	3,09	4,81

* Bærekonstruksjonen inngår i bygningsdel 23, 25 og 26.

**Figur 16.** Klimagassutslippsresultatene for bygg7 og bygg 8, TEK17- og passivhus-scenarioene (stiplet linje viser nZEB balansen).



Figur 17. Klimagassutslippresultatene for bygg7 TEK17 over hele referansestudieperioden av 60 år, inkludert biogent karbon.

Klimagassutslippresultatene kan oppskaleres til hele byggetrinn 1 avbildet i Figur 4 siden en tilsvarende konstruksjon til bygg 7 og 8 er brukt på de andre enhetene. Boligfelt 1 (B1.1) består av tre bygg 7-enheter og tre bygg 8-enheter, mens Boligfelt 2 (B1.2) består av tre bygg 7-enheter og to bygg 8-enheter. Byggetrinn 1 har et samlet bruttoareal på 1 510 m². Resultatene for hele byggetrinn 1 finnes i Tabell 19. Klimagassutslippene fra solcellene i bygningsdel 47 og kompensasjon i klimagassutslipp fra energi-produksjon fra solcellene i livsløpsmodul D er tilpasset for å gjenspeile hva som skal installeres av solceller for hele byggetrinn 1, det vil si to arealer på 76,5 m². Totale klimagassutslippresultatene for byggetrinn 1 er på 7,72 kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år for TEK17-scenariet og 6,99 kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år for passivhus-scenariet. TEK17-scenariet har lavere klimagassutslipp fra produksjon og installasjon av materialer i livsløpsmoduler A1 – A5 samt avfallshåndtering i livsløpsmodul C3, og høyere klimagassutslipp fra energibruk i driftsfasen i livsløpsmodul B6 enn passivhus-scenariet. Totale klimagassutslippresultater fra byggetrinn 1 kan brukes videre sammen med klimagassresultatene fra andre tomteutbyggelse på Ydalir (f.eks. barnehage og skole) for å vurdere hele ZEN Ydalir pilotområde i forhold til ZEN definisjon og nøkkelindikatorer.

Tabell 19. Klimagassutslippresultatene for byggetrinn 1 for TEK17- og passivhus-scenariene per livsløpsmodul.

Livsløpsmodul	TEK17-scenario		Passivhus-scenario	
	kgCO _{2e}	kgCO _{2e} /m ^{2BTA} /år	kgCO _{2e}	kgCO _{2e} /m ^{2BTA} /år
A1- A3	170 102	1,43	177 262	1,96
A4	14 350	0,16	18 379	0,20
A5	19 345	0,21	21 744	0,24
B1	0	0	0	0
B2	8 700	0,10	8 700	0,10
B3	1 465	0,02	1 465	0,02
B4	26 412	0,29	26 412	0,29
B5	0	0	0	0
B6	459 616	5,07	367 141	4,05
C1	890	0,01	894	0,01
C2	5 045	0,06	5 663	0,06
C3	337 450	3,72	410 429	4,53
C4	20 852	0,23	20 856	0,23
D	- 64 682	- 0,71	- 75 560	- 0,83
SUM nZEB	699 561	7,72	633 168	6,99
Biogent karbon	- 299 984	- 3,31	- 350 218	- 3,87

7. Kostnadsresultater

Tabell 20 viser kostnadsrammen for TEK17- og passivhus-scenarioene for bygg 7 og 8. Kostnadene er oppgitt i norske kroner (NOK). Resultatene viser et øyeblikksbilde av investeringskostnader for utbyggeren i 2022 og er sensitive til prisendringer. Resultatene viser at investeringskostnader for bygg 7 i TEK17-scenarioet er opptil ca. 67 000 kr dyrere enn bygg 8 å bygge siden bygg 7 er 12% større enn bygg 8. Forskjellen er mindre i passivhus-scenarioet (ca. 3 000 kr) på grunn av tykkere isolasjon og derfor høyere materialbruk i byggene. Grunnen til at bygg 8 har høyere elkraft kostnader enn bygg 7 er fordi 04 *Elkraft* inkluderer installasjonskostnaden for PV-systemet.

Tabell 20. Kostnadsramme for TEK17- og passivhus-scenarioene for bygg 7 og 8.

Konto	Type kostnad	TEK17-scenario (NOK)		Passivhus-scenario (NOK)	
		Bygg 7	Bygg 8	Bygg 7	Bygg 8
01	Felleskostnader	292 694	268 404	313 462	293 554
02	Bygning	1 809 129	1 658 992	1 937 493	1 814 445
03	VVS-installasjoner	443 223	406 440	474 671	444 525
04	Elkraft	209 067	379 140	223 901	397 104
05	Tele og automatisering	16 725	15 337	17 912	16 775
06	Andre installasjoner	16 725	15 337	17 912	16 775
01 – 06	Huskostnad	2 787 563	2 743 651	2 985 351	2 983 178
07	Utendørs	0	0	0	0
01 – 07	Entreprisekostnad	2 787 563	2 743 651	2 985 351	2 983 178
08	Generelle kostnader	398 622	365 541	426 905	399 793
01 – 08	Byggekostnad	3 186 185	3 135 993	3 412 256	3 409 773
09	Spesielle kostnader	0	0	0	0
10	Merverdiavgift	796 546	730 442	853 064	798 887
01 – 10	Basiskostnad	3 982 731	3 919 991	4 265 320	4 262 216
11	Forventet tillegg	227 016	223 440	243 123	242 946
01 – 11	Prosjektostnad	4 209 747	4 143 431	4 508 443	4 505 163
12	Usikkerhetsavsetning	58 936	58 008	63 118	63 072
01 – 12	Kostnadsramme	4 268 683	4 201 439	4 571 561	4 568 235
13	Prisregulering	0	0	0	0
01 – 13	SUM	4 268 683	4 201 439	4 571 561	4 568 235

Tabell 21 viser energikostnader for TEK17- og passivhus-scenarioene for bygg 7 og 8 for ett års drift. Energifkostnadene er beregnet utifra energireultatene og energiprisene for de ulike energibærerne elektrisitet, fjernvarme og solceller. Resultatene viser en sparing på mellom ca. 5 700 – 6 000 kr hvert år i energikostnader i passivhus-scenarioet sammenlignet med TEK17-scenarioet, eller mellom 34 – 37 NOK/m²BTA/år.

Tabell 21. Energifkostnader for TEK17- og passivhus-scenarioene for bygg 7 og 8.

Energifkostnader	TEK17-scenario		Passivhus-scenario	
	Bygg 7	Bygg 8	Bygg 7	Bygg 8
SUM (NOK)	19 006	17 001	12 936	11 293
SUM (NOK/m ² BTA/år)	155	158	121	122

Tabell 22 viser nåverdi og årskostnad for TEK17- og passivhus-scenarioene for bygg 7 og 8. Resultatene viser at passivhus-scenarioet er ca. 300 000 – 367 000 kr eller 3 – 5% dyrere enn TEK17-scenarioet. Dette tilsvarer ca. 2 000 – 2 800 kr/m²BTA i økte investeringskostnader for passivhus-scenarioet. Dette er fordi det er en økning i materialkostnader, for eksempel mer isolasjon og flere lag glass i vinduene. Årskostnaden er mellom ca. 7 000 – 10 500 kr dyrere i passivhus-scenarioet sammenlignet med TEK17-scenarioet, dette tilsvarer ca. 50 – 80 kr/m²BTA/år dyrere. Med en elektrisitetspris på 1,888 kr/kWh (20) er det ikke mulig å tilbakebetale passivhus-scenarioet innenfor bygningens levetiden av 60 år. I løpet

av det siste året har Norge opplevd større variasjon i strømpriser, og det er forventet at denne trenden vil fortsette de neste årene.. Bygg 8 har en lengre tilbakebetalingstid på grunn av PV-systemet.

Tabell 22. Nåverdi og årskostnad for TEK17- og passivhus-scenariene for bygg 7 og 8.

	TEK17-Scenario (NOK)		Passivhus-Scenario (NOK)	
	Bygg 7	Bygg 8	Bygg 7	Bygg 8
Nåverdi (NV)	4 698 665	4 586 057	4 864 224	4 823 733
Merkostnad			302 878	366 796
Årskostnad (AK)	207 690	202 712	215 008	213 218
Årskostnad per kvadratmeter	1 430	1 580	1 480	1 662

Resultatene i Tabell 23 viser en sammenlikning av resultatene fra denne rapporten opp mot norsk prisbok (19). Resultatene viser at kvadratmeterpris for investeringskostnadene fra denne studien likner på prisene for "rekkehus uten kjeller" i norsk prisbok. Resultantene viser også at årskostnaden per kvadratmeter er lavere i denne studien sammenlignet med årskostnaden i norsk prisbok. Dette kan forklares ved forskjell i både energiforsyningssystemet og energipriser. Det kan også være regionale forskjeller i priser siden norsk prisbok er basert på Oslo-priser mens denne studien er basert i Elverum og bruker lokale kostandsdata. En annen tidligere studie av TEK17 versus passivhus så på merkostnaden av en enebolig og fant at merkostnaden for bygningskroppen er beregnet til 1 100 – 1 500 kr/m² for passivhus nivå (30).

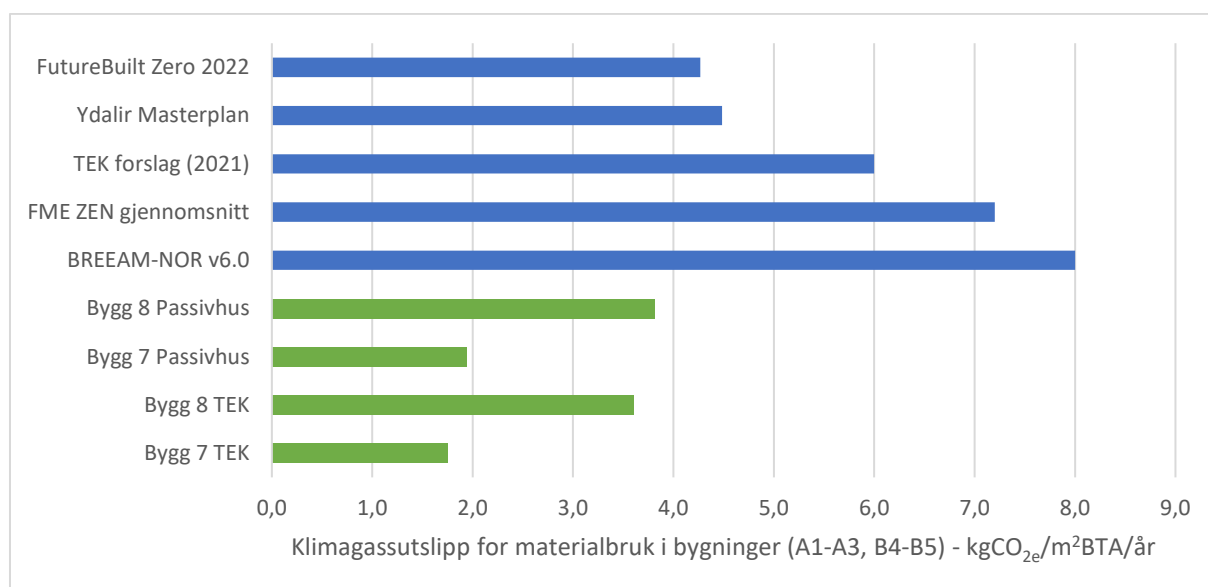
Tabell 23. Sammenlikning av investeringskostnader og årskostnader med norsk prisbok

	Pris/m ² BTA	ÅK/m ² BTA
TEK17-scenario: Bygg 7	29 390	1 430
TEK17-scenario: Bygg 8	32 741	1 580
Passivhus-scenario: Bygg 7	31 476	1 480
Passivhus-scenario: Bygg 8	35 600	1 662
Norsk prisbok 2021-02: Rekkehus uten kjeller	31 344	2 050
Norsk prisbok 2021-02: Rekkehus uten kjeller (passivhus)	32 551	2 112

8. Diskusjon

Ifølge reguleringsplanen for Ydalir har utbyggerne en utnyttelsesgrad på tomtene de ikke kan overstige, så vegger med tykkere isolasjon og en bedre u-verdi vil ha en ugunstig effekt på oppvarmet bruksareal selv om bruttoarealet forblir det samme. Dette vil ha en effekt på energiberegningene siden oppvarmet bruksareal er brukt som enhet. Når det gjelder klimagassberegningene så er bruttoareal brukt som funksjonell enhet og tar hensyn til at alle byggematerialene er brukt innenfor bruttoarealet. I kostnadsberegningene så er bruttoareal også brukt som enhet, men utbyggeren vil ha en økt salgsverdi for scenarioet med tynnere vegger (TEK17-scenarioet) siden byggene vil ha et større bruksareal for framtidige brukere.

Når man sammenlikner klimagassresultatene for Ydalir Torg byggetrinn 1 med klimagasskravene fra de ulike programmene ser vi at både TEK17- og passivhus-scenario klimagassutslippsresultatene for bygg 7 og 8 oppfyller klimagasskravene, se Figur 18. Det nylig innførte kravet på å levere klimagassregnskap (for livsløpsmodulene A1-A4, avfall fra A5, B2 og B4) i byggt teknisk forskriftene er oppfylt samt tidligere forslag til klimagasskrav i byggt teknisk forskriftene, og klimagassutslippene fra materialene (A1 – A3, B4 og B5 for bygningsdelene 21 - 26) er under den foreslåtte grenseverdien på 6 kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år. Elverum Vekst vil at utbyggeren tilfredsstiller klimagasskravene gitt i Ydalir Masterplan og av Multiconsult på 7,4 kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år for livsløpsmoduler A1-A4, B4, B6, C1-C4 og D, eller 4,5 kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år for materialbruk (A1-A3, B4). FME ZENs rapport nr. 24 om klimagasskrav til materialbruk i bygninger fant at gjennomsnittlige klimagassutslipp i som bygget-fasen er på ca. 7,2 kgCO_{2e}/m^{2BRA}/år og BREEAM-NOR v6.0 setter grenseverdi på 8 kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år for materialbruk (A1-A4, B4), mens FutureBuilt Zero for 2022 er på 4,3 kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år for materialbruk (A1-A5, B1-B5, C1-C4).



Figur 18. Klimagassutslippsresultatene for materialbruk i bygg7 og bygg 8, TEK17- og passivhus-scenarioene sammenlignet med klimagasskravene fra ulike operatører. NB: BREEAM-NOR v6.0 inkluderer i tillegg livsløpsmodul A4, og FutureBuilt Zero 2022 inkluderer hele livsløpet bortsett fra livsløpsmodul B6.

Klimagassutslippsresultatene for livsløpsmodul B6 – energibruk i driftsfasen viser at det er en sparing på ca. 1 kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år ved å velge passivhus-scenarioet over TEK17-scenarioet. Det er også en sparing i modul D på ca. 0,5 kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år. Resultatene viser en økning på ca. 1,6 kgCO_{2e}/m^{2BTA}/år fra produksjon og utskifting av solcellene på bygg 8. Det er her solcellene skal plasseres ifølge NS 3720, men det kan argumenteres for at dette fører til en feil allokering siden alle klimagassutslippene fra

solcellene belastes på bygg 8 mens gevinsten av lokal, fornybar energiproduksjon er for hele nabolaget. Det er en metodisk svakhet å allokere energisystemet på et bygg når man skal gjøre en livsløpsanalyse på nabolagsnivå og når energien skal brukes av nabolaget. Et alternativ kan være å allokere klimagassutslippene fra produksjon og utskiftning av solcellene på nabolagsnivå når man deler energisystem, som ble gjort i Tabell 19. Klimagassutslippsresultatene for byggetrinn 1 for TEK17- og passivhus-scenarioene per livsløpsmodul. Dette kan for eksempel allokeres per enhet, per kvadratmeter eller per person. Et tilsvarende allokeringproblem oppstår når klimagassutslippsresultatene for bygg 7 og 8 oppskaleres til hele byggetrinn 1 som også inkluderer en fellesleilighet. Dette ble løst ved å telle leiligheten som en av enhetene i bygningsmassen.

Resultatene i denne rapporten er basert på mange forskjellige parametere som for eksempel bygningsgeometri, energistandard, utslippsfaktorer, materialpriser og energipriser. Det vil være av interesse å gjennomføre en følsomhetsanalyse på noen sentrale parametere for å se hvilken effekt de har på resultatene. Ett eksempel kan være valg av utslippsfaktor for elektrisitet (i denne rapporten er NS 3720 EU28+NO på 136 kgCO₂/kWh/år brukt). Det er forventet at valg av utslippsfaktor vil ha en avgjørende effekt på valg av energisystemet. Norge har i det siste året opplevd stor variasjon i energipriser, også regionalt, noe som vil ha effekt på tilbakebetalingstid av scenarioene. Ett annet eksempel er valg av levetid på komponenter med høye klimagassutslipp som for eksempel solcellesystemet.

Byggenæringen må levere bygg til en overkommelig pris og samtidig sikre en lønnsom næringsvirksomhet (30). Kostnadsresultatene gir et øyeblikksbilde, og er sensitiv til blant annet rabattavtalene entreprenørene har med produsentene, material- og energiprisutvikling. Et eksempel på dette er demonstrert med utvikling i pris på trelast. Det er vanlig at prisjusteringer på byggevarer kommer to ganger i året (vår og høst), men i 2022 har prisjusteringer på trelast kommet oftere (31,32).

Denne rapporten har sett på energibehov, klimagassutslippene og kostnadene knyttet til Ydalir Torg byggetrinn 1, men det finnes muligheter for videre arbeid. Utbyggeren er fortsatt usikker på om solcellene skal installeres på taket til rekkehusene eller på taket til parkeringshuset på byggetrinn 2. Med installasjon på parkeringshuset vil det være mulig å ha billading på dagtid for eksempel til omsorgsboligene i nærheten. Det er også tenkt at det vil være billigere å samle solcellen på et felt med tradisjonelt (ikke bygningsintegrert) montering, og for dyrt med batterilagring, men dette har ikke blitt vurdert i denne studien. Det vil også være av interesse å gjennomføre samme studien for flere byggetrinn på Ydalir, slik at energibehov, klimagassberegninger og kostnadsdata kan samles og avveies for hele nabolaget. Kan man oppnå samme resultatene for byggetrinn 2 med moduler og elementer istedenfor plassbygd konstruksjoner? Kan man regne ut tilbakebetalingstid per tiltak og for ulike designvalg? Og kan man bruke dynamisk LCC på energipriser? Resultatene kan anvendes til videreutvikling av ZEN definisjon og nøkkelindikatorer (KPI) samt i implementering av Ydalirs Masterplan.

9. Konklusjon

Denne studien har beregnet energibehov, klimagassutslippene og livssyklus kostnadene for bygg 7 og 8 på Ydalir Torg for to scenarier: TEK17 og passivhus. Energieresultater viser ca. 23% reduksjon i spesifikt energibehov og 30 -32% reduksjon i spesifikk levert energi mellom TEK17- og passivhus-scenariene. Klimagassresultater viser at bygg 7 har lavere totale klimagassutslipp enn bygg 8 i begge scenariene, på grunn av solcellene på taket til bygg 8 i bygningsdel 47. Dette fører også til høye klimagassutslipp i livsløpsmodul B4 for bygg 8 på grunn av utskiftning av solcellene etter 30 år. Selv om TEK17-scenariet har høyere totale klimagassutslipp sammenlignet med passivhus-scenariet er de totale klimagassutslippene fortsatt lavere enn grenseverdiene i de ulike programmene. Kostnadsresultater viser at passivhus-scenariet er ca. 300 000 – 367 000 kr dyrere enn TEK17-scenariet for utbyggeren, mens energikostnadene viser en sparing på mellom ca. 5 700 – 6 000 kr hvert år i passivhus-scenariet. Resultatene er nyttige fordi det viser at entreprenøren kan oppnå klimagasskravene sett i Ydalirs Masterplan og av Multiconsult ved å bygge TEK17-scenariet og samtidig sparer på investeringskostnadene. Dette vil føre til rimelige boenheter på markedet som gjøre det lettere for kjøpere å skaffe seg bolig i et ZEN pilotområde.

Referanser

1. Elverum Vekst. Veiledning til Ydalir Masterplan del 2. Elverum: Elverum Vekst; 2021 p. 5.
2. Wiik MK, Fufa SM, Andresen I, Brattebø H, Gustavsen A. A Norwegian zero emission neighbourhood (ZEN) definition and a ZEN key performance indicator (KPI) tool. IOP Conf Ser Earth Environ Sci EES. 2019 Oct;352:012030.
3. Elverum Vekst. Ydalir Elverum. Masterplan del 1. Elverum: Elverum Vekst; 2017 p. 33.
4. Elverum Vekst. Ydalir Elverum. Masterplan del 2 - ambisjoner og krav. Elverum: Elverum Vekst; 2019 p. 10.
5. NS 3720. Metode for klimagassberegninger for bygninger / Method for greenhouse gas calculations for buildings. 2018;
6. NS 3451:2022. Bygningsdelstabell og systemkodetabell for bygninger og tilhørende uteområder - Table of building elements and table of codes for systems in buildings with associated outdoor areas [Internet]. Lysaker, NO: Standard Norge (SN); 2022. Report No.: NS 3451:2022. Available from: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1411592>
7. NS 3700. Criteria for passive houses and low energy buildings - Residential buildings (in Norwegian). 2013;
8. Gaarder JE, Friis NK, Larsen IS, Time B, Kvande T. Optimization of thermal insulation thickness pertaining to embodied and operational GHG-emissions in cold climates. Build Environ.
9. Simenergy. Simien tool. 2020.
10. SN-NSPEK 3031:2021 SN. Bygningers energiytelse — Beregning av energibehov og energiforsyning. 2020.
11. Wiik MK, Schlanbusch RD, Wiberg AH, Kristjansdottir T. ZEB tool - technical guide. Version 1. A tool for life cycle GHG emission calculations of buildings. 2017 p. 110.
12. Home - Eco Platform en [Internet]. [cited 2022 Sep 29]. Available from: <https://www.eco-platform.org/home.html>
13. EPD International [Internet]. [cited 2022 Sep 29]. Available from: <https://www.environdec.com/home>
14. ÖKOBAUDAT [Internet]. [cited 2022 Sep 29]. Available from: <https://www.oekobaudat.de/en.html>
15. Ecoinvent. Ecoinvent database v3.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland. 2014.
16. Norsk Fjernvarme. Fjernkontrollen [Internet]. 2021. Available from: <https://www.fjernkontrollen.no/>
17. NS 3454:2013. Livssyklus kostnader for byggverk - Prinsipper og klassifisering / Life cycle costs for construction works - Principles and classification. Standard Norge; 2013.
18. Standard Norge. NS 3453: 2016 Spesifikasjon av kostnader i byggeprosjekt. Oslo, Norway: Standard Norge; 2016 p. 15. Report No.: NS 3453.

19. Norconsult Informasjonssystemer AS, Bygganalyse AS. Norsk prisbok. Norsk prisbok. 2021.
20. SSB. Elektrisitetspriser: Kraftpriser i sluttbrukermarkedet, kvartalvis. Øre/kWh [Internet]. Online; 2022 [cited 2020 Jul 28]. Available from: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitetspriser>
21. SSB. Fjernvarme og fjernkjøling. Levert fjernvarme, fjernvarmepris, investeringer [Internet]. 2022. Available from: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/fjernvarme-og-fjernkjoling>
22. TEK 17. The Norwegian building regulations (Byggteknisk forskrift, TEK 17). <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/9/9-8/>. 2017;
23. Bionova. OneClick LCA [Internet]. online: Bionova; 2018 [cited 2019 Jan 1]. Available from: <https://www.oneclicklca.com/>
24. Winsvold JR. NOTAT-RIM-01 Utslippsnivåer. Trondheim: Erichsen Horgen; 2021 p. 12.
25. Resch E, Andresen I, Selvig E, Wiik MK, Tellnes LG, Stoknes S. FutureBuilt Zero - Materialer og Energi Metodebeskrivelse. Versjon 2. 2021.
26. Fuglseth M, Haanes H, Andvik OD, Nordby AS, Brekke-Rotwitt P, Våtevik S. Klimavennlige byggematerialer. Potensial for utslippskutt og barrierer mot bruk. Oslo, Norway; 2020 p. 224.
27. Grønn byggallianse. BREEAM-NOR v6.0 for nybygg. Teknisk manual SD5076NOR. 2022.
28. DFØ. Klimagassutslipp fra bygg [Internet]. 2020. Available from: <https://anskaffelser.no/verktoy/analyseverktoy/klimagassutslipp-bygg>
29. Wiik MK, Selvig E, Fuglseth M, Resch E, Lausset C, Andresen I, et al. Klimagasskrav til materialbruk i bygninger. Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger [Internet]. Oslo: SINTEF Academic Press; 2020 p. 41. (SINTEF, editor. ZEN report). Available from: https://fmezen.no/wp-content/uploads/2020/05/ZEN-Report-no-24_Klimagasskrav-til-materialbruk-i-bygninger.pdf
30. Skeie KS, Lien AG, Svensson A, Andresen I. Kostnader for nye småhus til høyere energistandard. Oslo: SINTEF Academic Press; 2016 p. 39. Report No.: 37.
31. Treindustrien. Mai: Trelastsalget faller nasjonalt, fortsatt økning i eksport [Internet]. Mai: Trelastsalget faller nasjonalt, fortsatt økning i eksport. 2022. Available from: https://www.treindustrien.no/pressemeldinger/pressemeldinger-salgsstatistikk/mai-trelastsalget-faller-nasjonalt_-fortsatt-okning-i-eksport
32. Treindustrien. Trelastmarkedet - årsaker til prisendringer [Internet]. 2021. Available from: <https://www.treindustrien.no/aktuelt/trelastmarkedet--arsaker-til-prisendringer>



VISION:

**«Sustainable
neighbourhoods
with zero
greenhouse gas
emissions»**

Z E N

Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



<https://fmezen.no>