



Miljø- og
Ligestillingsministeriet
Miljøstyrelsen

Landsbyen i Væksthuset Billige Boliger med Tvedelt Klimaskærm og Biogene Materialer MUDP-projekt

MUDP Rapport

August 2025



Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Lars Lundbye, Almenr (hovedforfatter pva teamet)

Grafiker/bureau:

Almenr

Fotos:

Hvis ikke andet nævnt: ALMENR og BIG

ISBN: 978-87-7564-030-0

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5, 5000 Odense| Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk
[MUDP's hjemmeside](#)

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forfattere	6
1. Landsbyen i Væksthuset	8
1.1 Resume af resultater fra forprojektet	9
1.2 Tre radikale løsningsgreb	9
1.3 Nyhedsværdi	10
1.4 Nytænkning af boligbyggeri kræver tværfaglighed	11
2. Yderhusets klima-system	12
2.1 Med et yderhus mindskes kravene til inderhusets ydeevne	12
2.2 Designprincipper for yderhuset	15
2.3 Industridrivhuse	15
2.4 Klimastyring i Yderhusets Design: Inspiration fra Industrielle Drivhuse	16
2.5 LCA-baseret optimering af yderhusets produktions-klimaaftrek	17
2.6 Principdesign for synergi mellem inder- og yderhus	17
2.7 Drivhus tagkonstruktioner	18
2.8 Løsning til opsamling og genbrug af overfladevand	19
2.9 Energicirkulation: Maksimering af Yderhusets Passive Varme til Effektiv Drift	20
2.10 Analyse af lysindfald, afskærmning og udnyttelse	20
2.11 LIV-Konceptets Fællesskabsorienterede Fundament	20
2.12 Konklusion	21
3. Biogene materialer	22
3.1 Opstilling af kriterier for analyse	22
3.2 Materialeprogram	22
4. Montagesystem til medbyg	25
4.1 Skalerbare medbygger-systemer	25
4.2 Opbygning af montagesystem til medbyg	26
4.3 Kriterier for DIY-montering	27
4.4 Anbefalinger til Byggesystemer	28
4.5 Fugtstrategi	30
5. Varmetabsberegningsmodel	32
5.1 Rapport over Varmetabsberegning	32
5.2 Lagring og udnyttelse af overskudsvarme gennem passiv energiopsamling	33
5.3 Håndtering af myndighed og godkendelser	33
6. Preliminær brandstrategi	34
6.1 Brandstrategi	34
7. LCA analyse	37
7.1 LCA model	37
7.2 LCA med Global Warming Potential	38
7.3 LCA Parametre	39

Forfattere

Forfattergruppen bag denne rapport repræsenterer et bredt og stærkt tværfagligt kompetenceniveau, der sikrer en helhedsorienteret tilgang til projektet "Landsbyen i Væksthuset". Med erfaringer fra arkitektur, ingeniørkunst, bæredygtigt byggeri og sociale fællesskaber spænder gruppens ekspertise fra strategisk ledelse og konceptudvikling til teknisk design og gennemførelse. Denne diversitet muliggør innovative løsninger, der kombinerer æstetik, funktionalitet og bæredygtighed.

Almenr, som hovedansøger, bidrager med dyb indsigt i udvikling af bofællesskaber og sociale processer, mens BIG leverer globalt anerkendt arkitektonisk og ingeniørmæssig ekspertise. JDH-BYG's praktiske erfaring med biogene materialer og byggeprocesser supplerer de teoretiske og tekniske analyser fra DTU Construct og Artelia. Konsortiet er desuden styrket af tilknyttede leverandører og eksperter, der sikrer, at projektet kan realiseres med høj teknisk og social værdi. Dette stærke samarbejde danner grundlag for projektets succes og dets potentiale som en international model for bæredygtigt byggeri.

TABEL 1. Konsortium.

Almenr (Hovedansøger)		
<i>Person</i>	<i>Titel</i>	<i>Rolle</i>
Per Feldthaus	Partner og CEO	Styregruppemedlem og sponsor
Lars Lundbye	Partner og Kreativ Direktør	Konceptudvikler
Michael Thomsen	Partner og CTO	Teknisk udvikling af fællesskabsprocessen
Jonas Halfter	Partner og Designer	Fællesskabsplatform og design
Bjarke Ingels Group		
<i>Person</i>	<i>Titel</i>	<i>Rolle</i>
Finn Nørkjær	Partner	Hovedansvarlig Partner
Per Bo Madsen	Associeret	Arkitekt på koncept og design
Matthew Thomsen	Senior Bygningskonstruktør	Tilknyttet bygningskonstruktør
Jeppe Langer	Senior Arkitekt	Projekteringsleder
Victor-Antoine	LCA Specialist	Specialist
JDH-BYG		
<i>Person</i>	<i>Titel</i>	<i>Rolle</i>
Søren Schriver	Bestyrelsesformand	Styregruppe
Samuel Mydland	Strategi og Udviklingschef	Hovedansvarlig for leverancer
Egild Dalsgaard	Byggerådgiver	Brandspecialist på projektet
Tilknyttede eksperter		
<i>Person</i>	<i>Titel</i>	<i>Organisation</i>
Kristoffer Nengendahl	Associate Professor	DTU Construct
Per Lagefod	CEO	Drivadan
Gustav Lanng Madsen	CEO	Artelia

Almenr (Hovedansøger)		
Jan Thomasen	CEO	Influit
Thomas Raunsbæk	CEO	EcoCocon Danmark

1. Landsbyen i Væksthuset

Landsbyen i Væksthuset (LIV) er et potentielt banebrydende og bæredygtigt boligkoncept, hvor en todelt klimaskærm skaber en klimabufferzone omkring boligerne. Ved at kombinere drivhusets passive solvarme med biogene materialer opnås energieffektive og sunde boliger, der styrker både miljøet og fællesskabet. Projektet tilbyder en innovativ tilgang til fremtidens landsby med fokus på bæredygtighed, fleksibilitet og socialt samvær. Forprojektet har undersøgt en række kritiske barrierer for konceptets realisering og har designet og valideret feasibility af løsningsmuligheder.

Byggesektoren står over for en række alvorlige udfordringer: Der skal gøres op med industriens overforbrug af CO₂-tunge materialer, byggelovgivning skal ændres, så bæredygtighed fremmes, der skal findes alternativer til industrialiseringens manglende produktivitet, de notorisk høje byggepriser skal udfordres, den stadigt voksende individualiserede maksimering skal ændres med øget deleøkonomi osv. Der er derfor behov for nytænkende projekter, der på én gang favner både førindustrielle bæredygtige og billige byggetraditioner og de moderne sikkerheds og komfort-krav. Landsbyen i Væksthuset (LIV) er et ambitiøst koncept til dette.

Almenr, BIG og JDH-BYG har indgået et partnerskab for at gentænke boligbyggeri gennem udviklingen af et innovativt boligkoncept baseret på modulære systemer af biogene materialer bygget i et drivhus. Målet er at skabe en ny standard inden for boligbyggeri ved at introducere et dobbelt-hus-system, der består af et yderhus og et inderhus, hvor hver enhed er optimeret til specifikke funktioner. Yderhuset, opført som et drivhus af lette glaselementer, fungerer som en beskyttende skal, der modstår de danske klimaforhold, mens inderhuset sikrer optimal termisk komfort og intimitet ved hjælp af modulære rum, bygget af lette, bæredygtige, naturlige materialer.

LIV udfordrer traditionelt byggeri i Danmark, hvor klimaet og tunge byggemetoder ofte fører til høje omkostninger, begrænset fleksibilitet og et begrænsende kvalitetsbegreb. Ved at opdele boligstrukturen i to adskilte enheder kan vi reducere både kompleksiteten og omkostningerne ved byggeri markant. Ved at udnytte to klimaskærme gør LIV det muligt at anvende standardiserede, fleksible og lette byggematerialer i biogene og genanvendte materialer, som er udfordret af traditionelle moderne byggetilgange. Disse materialer, kombineret med drivhusets passive solvarme, bidrager til betydelige reduktioner i både bygge- og driftsomkostninger, hvilket også gør boligerne økonomisk tilgængelige foruden de store miljøgevinster.

Byggelovgivning og traditionelle byggemetoder står potentielt i vejen for implementering af konceptet, herunder rammer for ventilation, brand, varmetabsberegninger og dokumentationskrav for dels biogene materialer, dels drivhuses effekt. Forprojektet har haft til formål at analysere de kritiske barrierer og finde løsninger både med design, konstruktion og beregningsmetoder og modeller.

1.1 Resume af resultater fra forprojektet

Partnerne identificerede tidligt, bl.a. ved et review af beslægtede forsøg gennem tiderne, en række kritiske barrierer, som udgjorde væsentlige risici for realisering, og som også tidligere projekter var løbet ind i. Derfor indførtes en feasibility-fase, som med MUDP-forprojektstøtte skulle afdække løsningsrummet og sandsynlighederne for, at tekniske, lovgivningsmæssige og processuelle løsninger på disse barrierer kan gennemføres.

Forprojektet havde således til formål at adressere helt grundlæggende risikofaktorer med følgende konklusion og delkonklusioner:

Ansøger har med sine strategiske samarbejdspartnere som BIG, JDH-BYG, DRIVADAN og DTU CONSTRUCT analyseret de mest kritiske barrierer, og på denne baggrund vurderer vi, at den videre udvikling og realisering af demonstratoren kan tackle de byggetekniske og regulatoriske udfordringer herunder dokumentere den i forprojektet skitserede beregningsmodel for varmetab.

Specifikt på arbejdspakkerne har forprojektet flg. delkonklusioner:

- Vellykket analyse på modulært koncept som tager brandhensyn i betragtning.
- Forprojektet har udviklet en brandstrategi, der sikrer direkte adgang til uderum, store åbninger i fællesarealer, et 5 meters tilgængeligt bælte og en minimumsafstand på 10 meter mellem bygninger. Strategien omfatter røgventilation eller sprinkling, hvor boliger og drivhuse sikres mod brandudvikling. Facadematerialer er valgt for at minimere brandspredning med fokus på konstruktionen i den klimatiske bufferzone for at modvirke røgspredning. Samtidig er der designet en robust beregningsmodel til dokumentation af røg- og varmeudvikling i drivhuse.
- Identifikation af grund i Saksild med interesseret planmyndighed og udvalgte optioner for placering og byggeri af fuldskala demonstrator.
- Forprojektet viser en LCA på under 4,5 kg CO₂e/m²/år, materialebesparelser på næsten 40% med fx 20 cm smallere vægge, 2-lags glas (fremfor 3-lags), fjernelse af bl.a. gips, krydsforskaling, vindspærre, isolering, mv., økonomiske besparelser på foreløbigt 20% og adfærdseffekter fra fællesskabsmodellen med bl.a. 40% mindre madspild og en lavere drifts-belastning.
- Forprojektet har i fokusgrupper testet de sociale modeller, samt benchmarket de forventede sociale og miljømæssige gevinster ved øget social adfærd, og konkluderet at både medbygger- og bofællesskabsmodellen i LIV er robust.

Konceptet "Landsbyen i Væksthuset" har derfor fået grønt lyst i partnergruppen til at fortsætte udviklingen med henblik på at bygge fuldskala testhuse med en yderskærm i form af et industrielt drivhus samt formalisere partnerskabet som joint venture.

Projektteamet føler sig forberedt til at indlede designprocessen og omsætte de identificerede løsninger og modeller i fuld skala med henblik på byggetilladelse til det konkrete pilotprojekt.

1.2 Tre radikale løsningsgreb

De tre radikale greb i LIV skaber både æstetisk, miljømæssig, økonomisk og social værdi

Tvedelt klimaskærm > Radikalt mere miljøvenligt

Udfordring

Den grønne omstilling af byggesektoren til at bruge biogene

LIV Løsning

- LIVs tvedelte klimaskærm ændrer forudsætningerne.
- Tvedelingen gør det muligt og let at bygge i rene biogene materialer.
- Det giver et langt sundere byggeri.

materialer udfordres pga lock-in af materialer og komponenter i byggesystem og lovgivning.

- LIV nedsætter energiforbrug markant med passiv solvarme i drivhuset.
- LIV giver en smukkere og ærligere arkitektur, i naturlige materialer .

Naturlige byggematerialer til DIY -> lettere, bedre og billigere

Udfordring

Byggeri er for dyrt! Billigt DIY og lokalt håndværk er gjort næsten umuligt pga byggesystemer.

LIV Løsning

- LIV gør byggeriet lettere og lokaliserer både materialer og håndværkere.
- Lønomsætninger mindskes med medbyg gjort muligt af simpelt byggesystem i enkle naturlige materialer.
- Materialepriser sænkes med lettere, enklere huse.

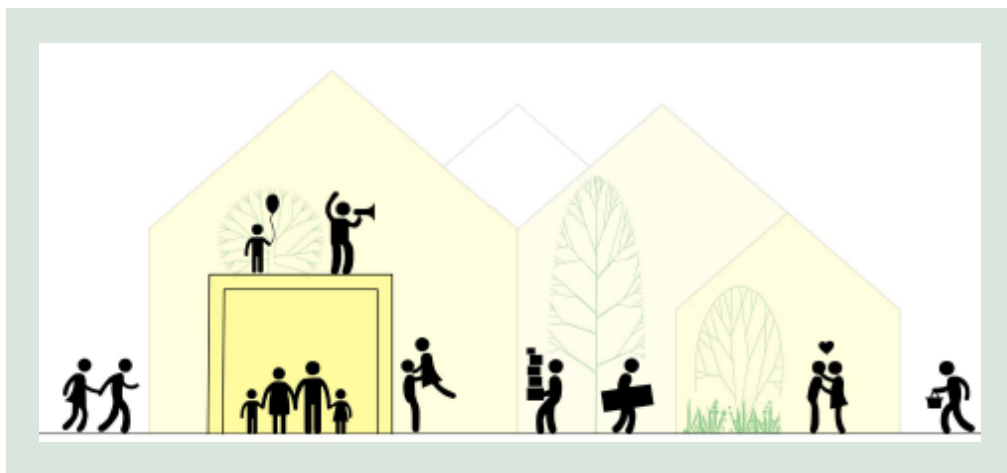
Bygge- og bofællesskaber -> radikalt mere socialt og fair

Udfordring

Ejendomsbranchen har skabt en afkobling mellem bygherre og borger, der resulterer i manglende ansvar, mening og solidaritet

LIV Løsning

- LIV genskaber fællesskabet.
- Byggefælleskab (fælles bygge-sjak) skaber ansvar.
- Bofællesskab muliggør deleøkonomi.
- Det sociale uderum i drivhuset skaber tæt hverdagsfællesskab og koordinering.



FIGUR 1. Skitseillustration af yderskærm og inderhus.

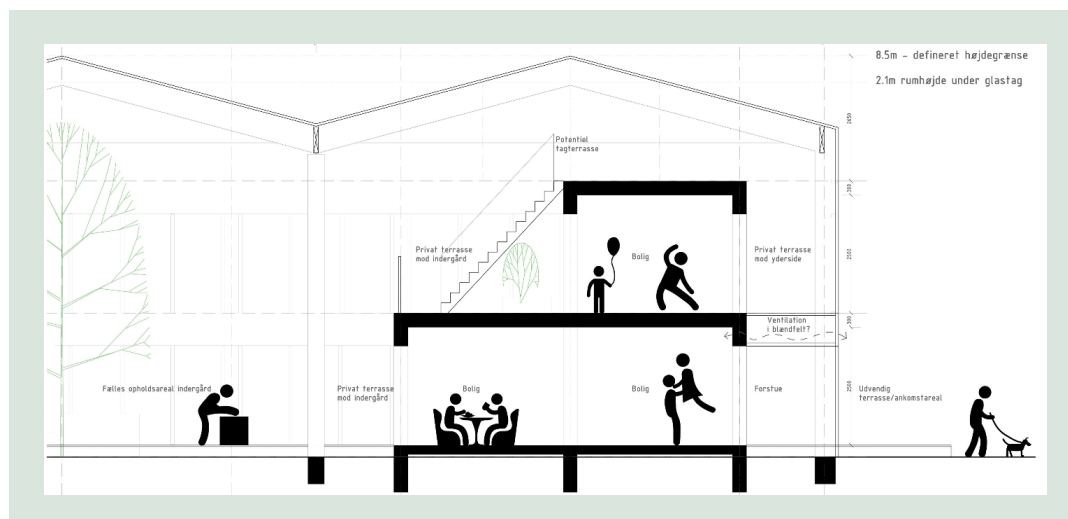
1.3 Nyhedsværdi

Konceptet bygger videre på de mange både konceptuelle og faktiske eksperimenter gennem det sidste århundrede med tvedelte klimaskærme, der har vist potentialet¹. Potentialet er stort som et alternativ til moderne byggeri i Danmark, hvor klimaet og tunge byggemetoder ofte fører til høje omkostninger, begrænset fleksibilitet og et begrænsende kvalitetsbegreb. Ved at opdele boligstrukturen i to adskilte enheder viser forprojektet, at vi, foruden at skabe en ny

¹ Eksempler på koncepter og projekter, vi har analyseret og/eller er i dialog med: Flere af Drivadans projekter, herunder Naturhus/Greenhouseliving (Sverige), Tanderupkær (Danmark) og Hillerød Lilleskole (Danmark), Daylesford Longhouse (Australien), Barkholt Planteskole (Danmark), Bovierans og Agorahavernes atrium-byggerier (Danmark og Sverige), og en række historiske og nutidige koncepter fra US, Holland, Tyskland og DK.

attraktiv typologi, kan reducere både kompleksiteten og omkostningerne ved byggeri markant. Tvedelingen gør det muligt at anvende standardiserede, fleksible og lette byggematerialer, fremfor alt biogene og genbrugsmaterialer. Disse materialer, kombineret med drivhusets passive solvarme bidrager til betydelige reduktioner i både bygge- og driftsomkostninger, hvilket gør boligerne økonomisk tilgængelige og miljømæssigt bæredygtige.

Resultaterne fra forprojektet har skabt forudsætningerne for den videre udvikling, som vil føre til et demonstrations- og besøgssted for LIVs innovative boligform, som ikke blot vil tiltrække interesse fra potentielle beboere og investorer, men også skabe en platform for vidensdeling og læring om bæredygtigt byggeri. Med den fuldt demonstrerede løsning inkl. testfaser og dokumentation fjernes ellers urørlige barrierer for biogene materialer, medbyg og økonomi.



FIGUR 2. Principssnit af landsbyen i drivhuset.

1.4 Nytænkning af boligbyggeri kræver tværfaglighed

Forprojektet har vist den store værdi af konsortiets tværfaglige kompetence og erfaringer fra hele værdikæden. Fra JDH-BYGs viden om biogene materialer og byggeprocesser, og Deforche Group og Drivadans erfaringer med house-in-house og drivhuse, over BIGs arkitekt- og ingeniørkompetencer med erfaringer fra hele verden, Artelias unikke kompetencer indenfor brand, INFLUITs specialviden om varmetabsberegning DTU Constructs adgang til og erfaring med avancerede beregningsmodeller, og de direkte engagerede leverandører (som Ecococon og NOWI), til Almenrs specialiserede viden om bofællesskaber og sociale processer, har LIV forprojektet kunne afdække komplicerede problemstillinger og løbende validere løsninger. Forprojektet har vist det kommende joint venture som potentielt en førende innovator inden for bæredygtigt byggeri og biogene materialer.

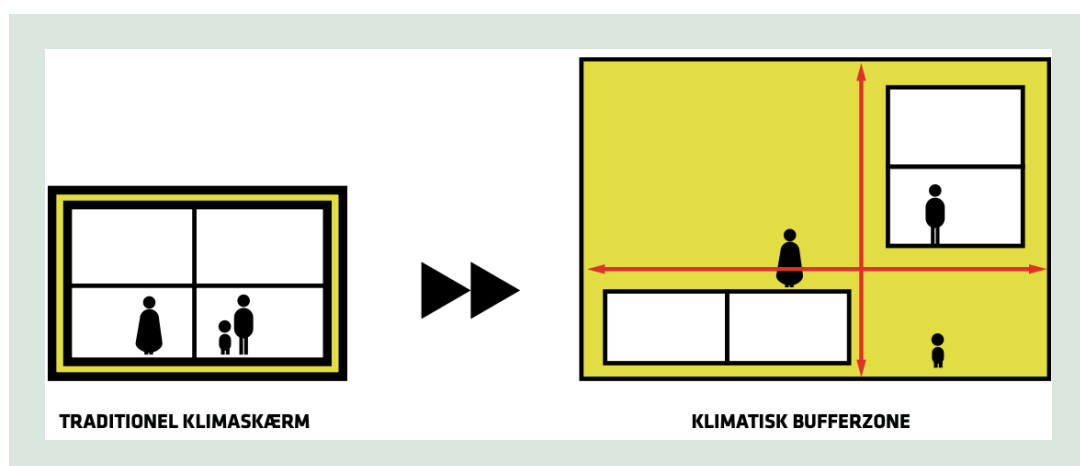
2. Yderhusets klima-system

2.1 Med et yderhus mindskes kravene til inderhusets ydeevne

Kravene til inderhusets primære facades ydeevne reduceres, hvilket muliggør følgende optimeringer:

- **Reduktion i isoleringstykkelse:** Mindre krav til isolering mindsker materialeforbrug og øger bygningens fleksibilitet uden at gå på kompromis med komforten.
- **Brug af 2-lags glas frem for 3-lags glas:** Ved at anvende 2-lags glas opnås en balanceret energiydelse, samtidig med at vægten på facadens konstruktion reduceres, hvilket er fordelagtigt for både installation og materialemæssige hensyn.
- **Lettelse og tyndere vægopbygning:** Den reducerede vægtykkelse giver en lavere lastpåvirkning på fundamenterne, hvilket medfører mindre strenge strukturelle krav og øger designfleksibiliteten.
- **Reduceret drift og vedligehold:** Mindre komplekse konstruktionskrav og færre materialelag betyder, at både driftsomkostninger og vedligeholdelsesbehov reduceres, hvilket giver bygningen en længere og mere bæredygtig levetid.

Denne optimerede facadeopbygning giver dermed både økonomiske og miljømæssige fordele og er særligt tilpasset den beskyttende yderskal, som drivhusets konstruktion tilbyder.



FIGUR 3. Sammenligning af traditionel klimaskærm og klimatisk bufferzone.

Illustrationen på næste side viser hvordan klimaskærmen opdeles i en primær og en sekundær facade. Den primære facade beskytter selve boligenheden, mens den sekundære facade – som er en del af et overordnet drivhus – fungerer som en klimabufferzone omkring boligen. Dette to-lags system har flere miljømæssige og funktionelle fordele.

I vintermånederne fungerer den sekundære facade som en barriere mod kulde, hvilket reducerer behovet for at opvarme selve boligen og dermed sænker energiforbruget. Om sommeren ventileres overskudsvarmen naturligt ud gennem tagfladen, og varmeopsamlingen kan anvendes til opvarmning af brugsvand eller til køling af fællesområder. Den klimatiske bufferzone, der opstår mellem de to facader, giver også private og fælles opholdsområder, der kan benyttes året rundt.

Ydermere giver den sekundære facade støj- og vejrskring, idet den beskytter mod både trafikstøj og ekstreme vejrforhold som kraftig vind og regn. Dette to-lags system skaber

således en komfortabel, stabil og energieffektiv bolig, hvor både indeklima og brugsmuligheder forbedres, samtidig med at belastningen på det primære bygningselement reduceres.

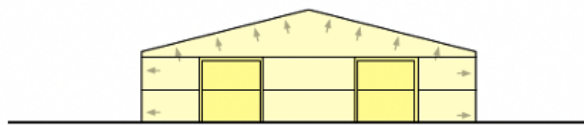
Klimaskærm

Under normale omstændigheder placeres klimaskærmen som en samlet enhed på bygningskroppens yderside



Primær og sekundær facade

Vi foreslår at opdele klimaskærmen i to dele: en Primær og Sekundær facade.



Klimatisk bufferzone

Mellem den primære og sekundære facade etableres overdækkede, private og fælles opholdsarealer.



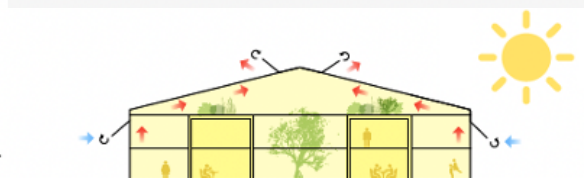
De kolde måneder

Den sekundære facade fungerer som et skjold mod vinterens kulde og nedbringer derved behovet for at opvarme den primære bygningskrop i de kolde måneder.



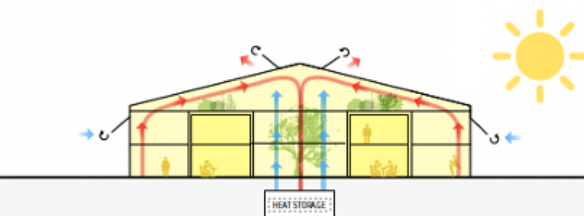
De varme måneder

I de varmere måneder ventileres overskudsvarme naturligt ud i tagfladen.



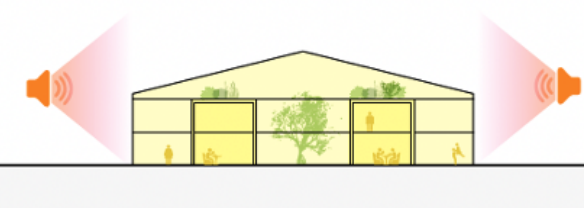
De varme måneder

Overskudsvarmen kan opsamles og udnyttes til eksempelvis opvarmning af brugsvand eller til nedkøling af fællesområderne på tagniveau.



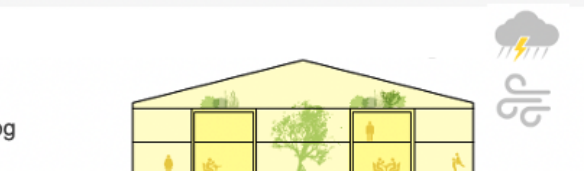
Værn mod støj

Den sekundære facade skærmer boligerne for støj fra trafik eller erhevr



Værn mod vind og vejr

Den sekundære facade skærmer den primære facade for påvirkning fra vind og vejr.



FIGUR 4. Illustration af gevinster ved yderhuset.

2.2 Designprincipper for yderhuset

Hovedprincipperne for yderhuset er:

- De præfabrikerede dele er optimeret til industriel plante- og afgrødeproduktion, hvilket sikrer et effektivt og skalerbart system. Forprojektet har valideret modeller til at overføre dokumentation fra landbrug til boliger.
- Konstruktioner og profiler er designet med minimalt, men effektivt materialeforbrug, hvilket reducerer ressourcer uden at gå på kompromis med funktionaliteten.
- Yderhuset kan etableres først, hvilket skaber en overdækket byggeplads til opførelsen af inderhusene og dermed muliggør en mere beskyttet og effektiv byggeproces.

Design af klimaregulerende system i yderhuset til flere inderhuse, baseret på industrielle drivhuses egenskaber, inkl. hensyn til madlavning og luftkvalitet:

- **Industrielt drivhus-system:** Systemet er avanceret og oprindeligt udviklet til at understøtte planter med høj følsomhed. De mange reguleringsmuligheder gør det muligt at skabe et indeklima med stor fleksibilitet, der kan justeres i forhold til temperatur, fugtighed, sol- og skyggeforskel.
- **Flytning af regnskærm:** Ved at anvende et industrielt drivhus flyttes regnskærmen væk fra selve bygningens konstruktion. Dette muliggør et fælles overdækket udendørsareal, der forlænger opholdssæsonen og skaber nye muligheder for socialt samvær.
- **Optimering af byggemetoder:** Yderhusets klimaskærm kan anvendes til at udvikle en ny boligform og til at forenkle traditionelle byggemetoder, hvilket bidrager til en effektiv og bæredygtig byggeproces.
- **Mekaniserede opluknings-systemer:** Drivhusets mekaniserede vinduesåbninger anvender enkle løsninger, hvor trækrør er koblet til et tandstangssystem, der åbner og lukker vinduerne samt holder dem i den ønskede position. Systemet inkluderer et tagprofil, kendt som "hollænder-taget," der skaber gentagne tagrygge med opluk i hele glastagets længde. Åbningerne i taget kan måle op til 140 cm fra tagryggen til den første tagås, hvilket muliggør effektiv styring af indeklimaet og hurtig røgventilation i tilfælde af brand.
- **Styringsmekanismer:** Systemet tillader justering af opluk i forhold til vindretning og læsiden samt flere andre parametre, hvilket sikrer et stabilt og behageligt indeklima.
- **Afskærmningssystemer:** Det industrialiserede system er udstyret med standardiserede løsninger til afskærmning, som kan overføres til projektet. Disse systemer reducerer varmeophobning om sommeren og fungerer som vintergardiner for at minimere varmetab om vinteren.
- **Kondenshåndtering:** Kondens på indersiden af glasset, som er et kendt fænomen i drivhuse, ledes fra glasset til opsamlingsprofiler på undersiden af glasprofilen, som derefter fører vandet til tagfoden.

I den næste fase skal omfanget og udformningen af de industrialiserede systemer fastlægges med henblik på specifikke krav til indeklima og brandsikring. Denne udviklingsproces vil foregå i tæt samarbejde med leverandøren af drivhuset, en brandrådgiver og en indeklimaspecialist.

2.3 Industridrivhuse

De industrielle drivhuse, udviklet til planteproduktion, har avancerede systemer til at styre temperatur, fugtighed og sollys, hvilket gør dem velegnede som klimabuffer for boliger. Inspireret af industri-drivhuset kan yderhuset derved skabe en stabil og beskyttende ramme omkring bygningerne, opretholde et behageligt indeklima og samtidig minimere materialeforbruget for inderhusene gennem lette, men holdbare konstruktioner.

De nedenstående industridrivhuse har derfor været en vigtig inspirationskilde i vores research og designudvikling af yderhuset.



FIGUR 5. Industridrivhuse. Referencebilleder til inspiration for yderhuset. Kilde: DRIVADAN, cambridgehok.co.uk, Naturvillan.

2.4 Klimastyring i Yderhusets Design: Inspiration fra Industrielle Drivhuse

Yderhusets design er inspireret af teknologier fra industrielle drivhuse, som tilbyder avancerede klimaregulerende systemer. Disse drivhuse er udstyret med automatiserede ventilationssystemer, der gør det muligt at kontrollere temperatur, fugt og luftcirkulation præcist. De tekniske komponenter i dette system omfatter en geardreven motor til styring af både ventilation og gardiner, som sikrer optimal luftudveksling og skygge ved behov. Et tandstangssystem gør det muligt at åbne og lukke vinduerne automatisk, hvilket forbedrer energistyringen og opretholder et stabilt indeklima. Der kan desuden tilføjes ekstra ventilation afhængigt af yderhusets størrelse, antal inderhuse og beboerantal, hvilket giver fleksibilitet til at imødekomme forskellige klimaforhold og behov.

For yderligere at forbedre systemets funktionalitet er LIV-drivhuset udstyret med sensorer, der kan overvåge og regulere klimaet i realtid. Temperatur- og fugtfølere (RT F-6 / RTFC-7) sikrer nøjagtig styring af klimaforholdene, mens et energibesparende klimastyringsanlæg, kombineret med en vejstation tilpasser ventilationen efter eksterne vejforhold. Denne

integration af teknologi gør yderhuset selvregulerende og energivenligt, hvilket skaber en stabil og behagelig atmosfære for de underliggende boliger.

Desuden er der af Deforche Group udført energiberegninger, som er baseret på et standardiseret industridrivhusdesign med forskellige designmuligheder. Disse beregninger har valideret, at systemet opfylder energikravene for at minimere varme- og kølebehov, hvilket styrker projektets bæredygtige profil, og forprojektet har endvidere valideret, at disse beregninger kan moduleres til at opfylde danske krav til dokumentation.

2.5 LCA-baseret optimering af yderhusets produktions-klimaaftryk

For at reducere klimaaftrykket fra produktionen af yderhuset er der gennemført en LCA-baseret optimering med fokus på genanvendelse af materialer som aluminium, stål, fundamenter og glas, i samarbejde med producenterne for at sikre lang levetid.

- 80 % genanvendt stål og aluminium er standard og kan integreres i projektet.
- De primære (bærende) konstruktioner kan ændres fra stål til træ, hvilket reducerer CO₂-aftrykket.
- Fundamenter kan udføres som skruefundamenter i stedet for betonfundamenter, hvilket mindsker brugen af høj-emissionsmaterialer.
- Sekundære konstruktioner kan opføres i træ frem for aluminium eller stål, hvilket yderligere mindsker miljøbelastningen.
- Anvendelse af genanvendt glas i konstruktionen bidrager til et lavere klimaaftryk.

Denne optimeringsstrategi understøttes af LCA-beregninger fremhæver potentialet for yderligere miljømæssige forbedringer.

2.6 Principdesign for synergi mellem inder- og yderhus

Designet af yderhuset som en kombineret regn- og vindskærm skaber et beskyttende klimaskjold omkring inderhusene og adskiller dem fra traditionelle boligbygninger. Denne tekniske skærm beskytter inderhuset mod store vindpåvirkninger og reducerer varmetab, hvilket resulterer i et markant lavere materialeforbrug. Med dette design mindskes behovet for isolering, og vægkonstruktionen kan forenkles, hvilket understøtter muligheden for selvbyggeri. Forprojektet har også peget på en mulig elimination af behovet for dampspærre. Desuden kan antallet af glaslag i inderhusenes vinduer reduceres, da yderhuset bidrager til den samlede klimaskærm.

Yderhuset fungerer også som et vejrbeskyttet uderum, der forlænger sæsonen for udendørs ophold. Det ventileres primært gennem naturlig ventilation, som etableres ved hjælp af de industrielle drivhussystemers teknologier. Inderhuset drager fordel af naturlig ventilation både gennem yderhuset, som ofte er varmere end omgivelserne, og via direkte ventilation til det fri, hvilket yderligere sænker energibehovet til ventilation.

Dette design reducerer desuden risikoen for kuldebroer, kuldenedfald og kuldestråling, hvilket giver mulighed for simple og mere effektive opvarmningssystemer i boligerne.



FIGUR 6. Rendering af Landsbyen i Drivhuset.

2.7 Drivhus tagkonstruktioner

Drivhusets tagkonstruktion er designet med både funktionalitet og æstetik for øje, hvilket understøtter projektets overordnede vision om en harmonisk og bæredygtig boligstruktur. Konstruktionen sikrer effektiv afvanding, strukturel holdbarhed og fleksibilitet, samtidig med at den integrerer arkitektonisk variation, som tilfører bebyggelsen en dynamisk og indbydende karakter.

- Tagkonstruktionen er skaleret, så den harmonerer med boligens proportioner og skaber en æstetisk og funktionel balance.
- Konstruktionsprincippet er klart defineret og sikrer holdbarhed og tilpasningsevne til boligerne.
- Afvandingssystemet leder effektivt vand væk fra tagfladerne over gårdrummet og sikrer et tørt og anvendeligt, overdækket udeområde.
- Variation i bebyggelsens udformning skaber et dynamisk og levende udtryk, der understøtter projektets arkitektoniske profil.



FIGUR 7. Tag-konstruktioner.

2.8 Løsning til opsamling og genbrug af overfladevand

Drivhusets design inkluderer en løsning til opsamling og genbrug af overfladevand, hvor vandet kan opbevares i tanke og anvendes til vanding af afgrøder og planter samt som gråt vand til toiletskyl og andre formål. Dette system understøtter en bæredygtig vandcyklus ved at udnytte nedbør direkte i drivhusets nærområde.

Afhængigt af den samlede vandmængde kan det desuden være nødvendigt at etablere nedsivning på grunden gennem lavteknologiske løsninger såsom Lokal Afledning af Regnvand (LAR). Her kan overskydende regnvand ledes til regnbede, render eller andre permeable overflader, der fremmer naturlig nedsivning.

Da der forekommer fordampning i drivhusets overdækkede områder, viser første analyse, at alt regnvand, der falder på drivhuset, med stor sandsynlighed kan genanvendes til vanding af planter og afgrøder. Disse tiltag sikrer dermed en høj grad af vandrecirkulering og minimal udledning af spildevand, hvilket støtter projektets miljømæssige bæredygtighedsmål.

2.9 Energicirkulation: Maksimering af Yderhusets Passive Varme til Effektiv Drift

En analyse af den mest egnede energiforsyning og cirkulation for bebyggelsen indikerer, at de gunstige temperaturforhold inden for yderhusets rammer vil føre til et reduceret varmeforbrug. Denne temperaturfordel betyder, at der kan anvendes en lav fremløbstemperatur, hvilket gør varmepumpeteknologi særligt velegnet som varmekilde. En del af energien til varmepumperne kan genereres af solceller monteret på tagfladen, hvilket understøtter en positiv effekt på det samlede CO₂-regnskab og bidrager til projektets bæredygtigheds mål.

Desuden anbefales et centralt energisystem, der placeres uden for drivhusene, eventuelt i forbindelse med områder som affaldshåndtering eller cykelparkering. Et centralt system vil minimere behovet for teknisk udstyr i de enkelte boliger og udnytte de fordelagtige driftsforhold til at opretholde en høj varmefaktor (COP). Denne løsning sikrer effektiv energiforsyning, samtidig med at pladsforbruget i boligerne reduceres, hvilket øger den samlede funktionalitet og effektivitet.

2.10 Analyse af lysindfald, afskærmning og udnyttelse

Lysindfaldet inde i yderhuset svarer til det naturlige udendørs lys, men det kan reguleres og afskærmes ved hjælp af skærme og gardinløsninger, som allerede er udviklet til industrielt drivhusbrug. Disse løsninger giver mulighed for præcis styring af lysniveauet. Inderhusenes lysindfald påvirkes kun minimalt af yderhusets struktur, hvilket sikrer, at kravene til dagslys opretholdes i boligerne.

2.11 LIV-Konceptets Fællesskabsorienterede Fundament

LIV-konceptet er grundlæggende bygget op omkring aktivering af fællesskabet – både i produktionsfasen (jf. AP3), i den arkitektoniske udformning (jf. AP1) og i selve livsstilen. Forprojektet har primært fokuseret på at undersøge tekniske udfordringer, men sideløbende har vi, ved hjælp af data fra Almenrs platform, forskning i bofællesskaber og inddragelse af fokusgrupper, analyseret de sociale og miljømæssige potentialer i LIV. Resultaterne har bekræftet vores hypoteser om betydelige potentielle fordele.

Basistypologien i LIV er baseret på en tæt landsbystruktur med åbne facader og tage, hvor boligerne omkranser intime fællesarealer under glastag. Denne struktur fremmer social koordinering og skaber naturlige mødesteder, som styrker kvaliteten af samværet i drivhuset. Anvendelsen af drivhuset til udendørs ophold og fællesaktiviteter som fx fællesspisning forventes at øge både den formelle og uformelle sociale interaktion markant.

Gennem research i andre bofællesskaber og analyse af LIV har vi desuden defineret en række forventede KPI'er, som projektet vil måle på. Ud over de mange KPI'er knyttet til byggeriet omfatter disse:

- **Økonomi:** Reduceret materielt forbrug pr. familie (via deleøkonomi) og lavere driftsomkostninger pr. familie (ved delt drift og delte ressourcer).
- **Miljø:** Mindre areal pr. person (forventet 30 % reduktion), reduceret madspild pr. person (forventet 40 % reduktion) og lavere kødforbrug pr. person (forventet 25 % reduktion).
- **Social kapital:** Øget antal nabointeraktioner.
- **Sundhed:** Forbedret oplevet livskvalitet og større følelse af nærhed til naturen.
- **Indflydelse og governance:** Øget følelse af beslutningsnærhed, forbedret demokratisk indflydelse og flere deltagelsesmuligheder.

Forprojektet har samtidig identificeret kritiske faktorer, der påvirker fællesskabet. Behovet for god akustik og privatliv har ført til beslutningen om at placere fælleshuset uden for drivhuset

som en selvstændig enhed. Derudover er privatliv udvidet gennem udnyttelse af flugtveje i brandstrategien, hvilket skaber private forrum i boligenhederne.

2.12 Konklusion

Analysen viser markante synergifordele ved at adskille yderhus og inderhuse, hvilket bidrager til et optimeret, bæredygtigt og funktionelt bygningsdesign. Nøglefordelene ved denne adskillelse inkluderer:

- Yderhuset skaber en tør byggeplads, som er afgørende for anvendelsen af biogene materialer, der skal beskyttes mod fugt under byggeperioden. Dette eliminerer behovet for omkostningstunge fuldoverdækninger og gør byggeriet mere effektivt.
- Med yderhusets beskyttelse mod regn opnås større fleksibilitet til at designe enklere og mindre materialekrævende inderhus-konstruktioner, hvilket reducerer både konstruktionens kompleksitet og materialeforbruget.
- Yderhuset reducerer vindpåvirkningen på inderhusene, hvilket muliggør lettere og mindre strukturer, der kræver mindre støtte og optimerer således bygningsdesignet.
- Beskyttelsen mod frost inden for yderhusets rammer tillader, at inderhusene kan bygges med simple fundamentløsninger, såsom skruefundamenter, som yderligere reducerer byggeomkostninger og klimaaftryk.
- Designet minimerer varmetab og reducerer varmebehovet, hvilket forbedrer bygningens energieffektivitet.
- Den forlængede sæson for ophold i uderum, skabt af yderhuset, understøtter både fællesskabet og dyrkning af planter og afgrøder, hvilket styrker den sociale og miljømæssige bæredygtighed i boligmiljøet.

Dette koncept fremmer både en effektiv byggeproces og et bæredygtigt og energibesparende design, der understøtter fællesskab og miljøvenlige boligformer.



FIGUR 8. Rendering af Landsbyen i Væksthuset.

3. Biogene materialer

3.1 Opstilling af kriterier for analyse

Analysen fokuserer på en række centrale kriterier for udvælgelse og vurdering af biogene materialer, der er velegnede til bæredygtigt byggeri og opfylder kravene til både miljømæssige og funktionelle forhold. Kriterierne inkluderer:

- Tilgængelighed: Materialer skal være bredt tilgængelige på markedet og egnede til brug i selvbyg-projekter.
- Brandmodstandsevne: Materialeopbygninger skal kunne opfylde gældende krav til brandsikring.
- Isoleringsevne: Materialer skal opfylde kravene til termisk isolering, der sikrer energieffektivitet og komfort.
- Fugthåndtering: Materialer skal være i stand til at modstå og regulere fugtforhold uden at påvirke indeklimaet negativt.
- Lydisolering: Materialeopbygningen skal kunne opfylde krav til lydreduktion, hvilket bidrager til en forbedret oplevelse af boligkomfort.
- Lavt CO₂-aftryk: Materialer med minimal klimabelastning prioriteres for at understøtte projektets bæredygtigheds mål.

Indsamling af data fra demonstrationer og beregninger

Relevante data og tekniske specifikationer for de valgte materialer er blevet indsamlet fra demonstrationer, beregninger og analyser fra leverandører samt tredjepartsrapporter. Materialerne er nøje udvalgt baseret på deres ydeevne og bæredygtighedsprofil. Eksempler inkluderer:

- Biobaserede vægelementer som træskelet med udfyldning af naturlige materialer.
- Isolering baseret på cellulosefibre og andre genanvendelige komponenter.
- Materialer til konstruktion og fundament med dokumenteret lavt CO₂-aftryk.
- Upcycled og genbrugte elementer som vinduer og glas, der reducerer ressourceforbrug.

Analyse af miljøaftryk

De udvalgte materialer er analyseret ud fra hele deres livscyklus, herunder produktion, bearbejdning, transport og levetid. Fokus har været på at identificere materialer, der kombinerer funktionalitet med bæredygtighed og lav miljøpåvirkning. De samlede resultater viser, at anvendelsen af biogene materialer og genanvendte komponenter kan reducere bygningens samlede CO₂-aftryk væsentligt, samtidig med at de opfylder alle nødvendige tekniske krav. Dette understøtter projektets overordnede mål om at skabe innovative og bæredygtige boligformer.

Konklusion

Analysen fremhæver, hvordan en strategisk brug af biogene og genanvendte materialer kan optimere bæredygtigheden i byggeriet. De udvalgte materialer viser både høj ydeevne og lave miljømæssige konsekvenser, hvilket gør dem ideelle til fremtidens hus-i-hus-byggeri.

3.2 Materialeprogram

Projektets materialeprogram bygger på en omfattende benchmarkanalyse af udvalgte biogene byggematerialer med fokus på miljøaftryk, produktions- og leverancetider samt konstruktive og designmæssige konsekvenser. Analysen er udført for at sikre, at de valgte materialer opfylder både tekniske og miljømæssige krav, samtidig med at de understøtter projektets bæredygtige ambitioner.

De valgte materialer er vurderet ud fra en række parametre, herunder:

- **Produktion:** Energiforbrug og CO₂-udledning under fremstillingen.
- **Bearbejdning:** Ressourceforbrug og affaldshåndtering under tilpasning til byggeformål.
- **Transport:** Emissioner og energi fra logistik, med fokus på lokale eller regionalt producerede materialer for at minimere transportafstande.
- **Livscyklus:** Materialernes holdbarhed, genanvendelsespotentiale og miljøpåvirkning ved bortskaffelse.

Nedenstående matrix opstiller de analyserede parametre, som tages i betragtning for at opnå balance mellem de ydre klimatiske forhold, de indre klimatiske behov og komfortkravene til boligerne.

CONSTRUCTION		CHARACTERISTIC (what is needed for the housing)				GWP (per m ² of assembly)		Thermal CAPACITY	Thermal PROTECTION	ACOUSTIC (need deeper calculation)	MOISTURE CLASS	FIRE CLASSIFICATION				PRODUCTION/PROCESSING/TRANSPORT			LIFETIME	COMMENTS	
Layer		Density kg/m ³	Area m ²	Thickness mm	Volume m ³	Mass kg	GWP kg CO ₂ e/m ²	GWP kg CO ₂ e/m ²	Heat capacity kJ/m ² K	U-value W/m ² K	Required R _s m ² K/W	LIU m ² K/W	Class 1 EN 13501-1	Class 2 EN 13501-1	Class 3 EN 13501-1	City/country	see page	km	year		Production year
	1 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	2 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	3 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	4 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	1 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	2 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	3 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	4 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	1 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	2 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	3 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	4 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	1 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	2 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	3 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	4 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	1 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	2 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	3 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	4 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	1 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	2 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	3 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	4 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	1 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	2 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	3 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
	4 - 10 cm concrete placed	2400	144	0.10	14.4	14.4	0.1	0.1	1.0	0.10	0.10	0.10	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	

FIGUR 9. Tabel fra materiale benchmark analyse. Highlightede materialevalg vist i FIGUR 10.

			Layer	Material
Ground floor			1	+15 mm underfloor plywood
			2	45x95 mm joist frame structure 450 c/c perpendicularly place over layer 5.
Outside wall			3	95 mm cellulose insulation
			4	Vapor barrier
Common wall			5	45x195 mm joist frame structure
			6	195 mm cellulose insulation
first floor			7	+15 mm joined sealed waterproof treated plywood
			8	Crawl space +- 150 mm over 100 mm hempcrete (panel toward gravel bed+foundation wall)
Roof			1	25 mm interior clay plaster
			2	45x95 Load-bearing twin stud frame (from Ecococon or other similar company)
Inside wall			3	250 mm straw insulation made with multidirectional press technology
			4	Airtight diffusion-open membrane prevents heat-loss and ensures humidity transfer
			5	45 mm Wood fiber insulation panel
			6	10 mm Limestone / clay outside breathable render on steel mesh or other retaining system
			1	10 to 25 mm interior clay plaster (fire requirement should be the guide)
			2	95 mm Wood Wool Cement Board (airbounds sounds)
			3	75 mm mineral wool (impact sounds)
			4	95 mm Wood Wool Cement Board (airbounds sounds)
			5	10 to 25 mm interior clay plaster (fire requirement should be the guide)
			1	+15 mm underfloor plywood
			2	+45x245 mm joist frame structure 450mm c/c (the structure thickness should considered the balconies situated on the roof of the ground floor)
			3	25 x75 understructure fur 450 c/c
			4	+13 mm gypsum board
			1	Roof membrane
			2	+75 mm mineral wool panel for flat roof application
			3	+15 mm plywood or other wooden board.
			4	45x195 joist frame structure 450mm
			5	195 mm cellulose insulation
			6	Vapour membrane
			7	25 x75 understructure fur 450 c/c
			8	+13 mm gypsum board
			1	+10 mm interior clay plaster
			2	95 mm hemcrete panel/block
			3	+10 mm interior clay plaster

FIGUR 10. Materialematrix med udvalgte materiale for hvert lag af inderhuset.

4. Montagesystem til medbyg

4.1 Skalerbare medbygger-systemer

For at understøtte fleksibilitet og tilpasningsevne er boligerne i projektet designet som skalerbare moduler, der kombinerer funktionalitet, bæredygtighed og sociale kvaliteter. Det konstruktive modul er opbygget som et let træ-skelet, hvor etagedæk udføres i biobaserede materialer. Udfyldningselementerne inden for modulerne er ligeledes skabt af biogene materialer, der kan varieres for at imødekomme forskellige æstetiske og funktionelle behov.

Modulsystemet muliggør en kontrolleret opbygning, samtidig med at det tilbyder fleksibilitet til selvbygning, tilføjelser og ændringer. Dette giver beboerne mulighed for at tilpasse boligen til deres specifikke ønsker og behov. De enkelte boliger kan kombineres og grupperes i et fleksibelt system, hvor familier kan skabe deres eget miljø. Dette system skaber en naturlig graduering mellem private og sociale rum, inden for rammerne af det beskyttende drivhus, og understøtter således både individualitet og fællesskab.

Modulsystemet giver mulighed for at etablere nicher, fremspring, overdækkede uderum og terrasser. Disse elementer skaber en divers, rumlig oplevelse og graduerer overgangen mellem private og semiprivate, overdækkede rum. Som påpeget af Jan Gehls forskning i byrum er semiprivate områder afgørende for en tryk overgang til fællesrum. Systemets fleksibilitet sikrer, at disse rum kan vokse organisk og tilpasses efter behov, hvilket styrker både fællesskab og individuelle præferencer.



FIGUR 11. Montage system.

Lette, simple materialer og byggesystem muliggør medbygger og DIY

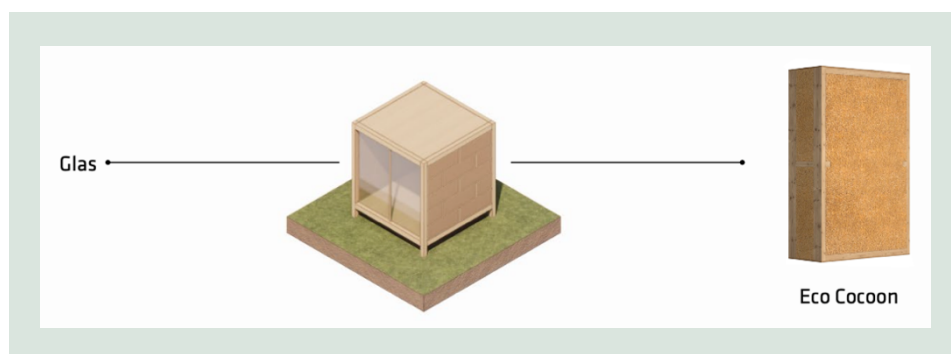
Med et designprincip for byggesystemet om "fire hænder og en skruemaskine" muliggør projektet, at beboerne kan bidrage aktivt til boligens opbygning og vedligeholdelse. Stolpesystemet, inspireret af bindingsværk, kan samles enkelt. Forprojektet har undersøgt fræsedede tap-systemer, som inddrages i næste fase for at simplificere samling yderligere, og endvidere har vi valideret at alle komponenter kan holdes i en skala der muliggør samling på stedet under tag uden brug af stort byggemaskinel. Dette genopliver traditionelle håndværkskompetencer og inddragelse af lokale håndværkere – og skaber også en unik social dimension, hvor fællesskab og samarbejde bliver en naturlig del af boligmiljøet. DIY-fleksibiliteten understøtter således ikke kun reducere omkostninger men også sociale relationer i fællesskabet.

Sociale og æstetiske kvaliteter

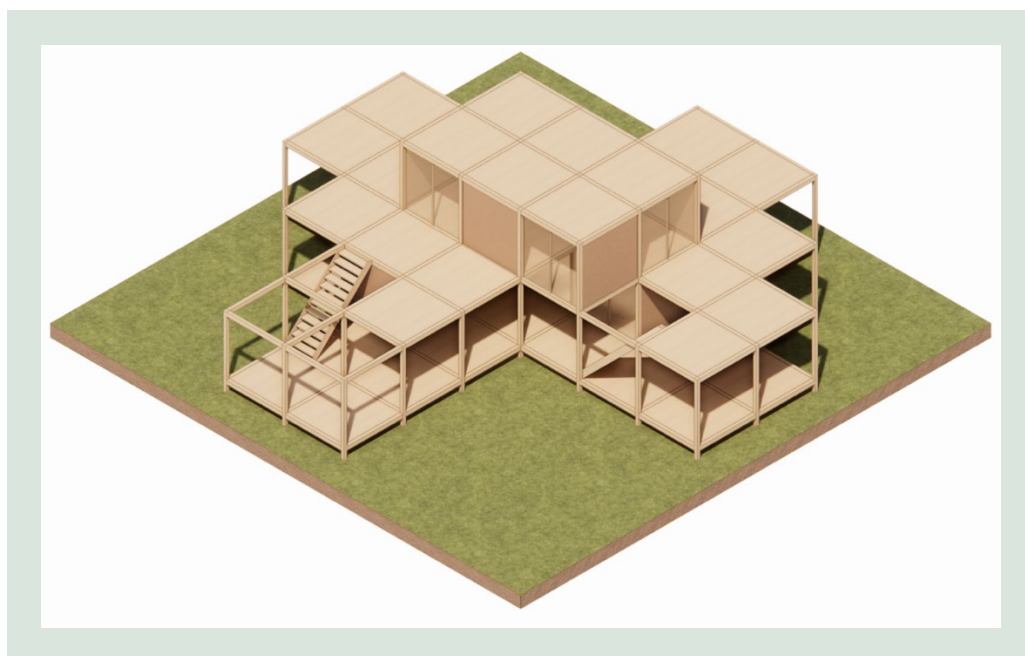
Forskning viser, at grønne rum i højere grad end industrielle miljøer fremmer sociale interaktioner. Tilsvarende inviterer taktile materialer, ornamenter og elementer i menneskelig skala til nærvær og ophold. LIV's fokus på skala, design og materialer bidrager således til at skabe en boligform, der understøtter både sociale og æstetiske værdier.

Dette modulbaserede design er ikke kun en arkitektonisk løsning, men et fundament for at skabe en bæredygtig, social og tilpasningsdygtig boligform, der imødekommer fremtidens behov for fleksible og miljøvenlige boformer.

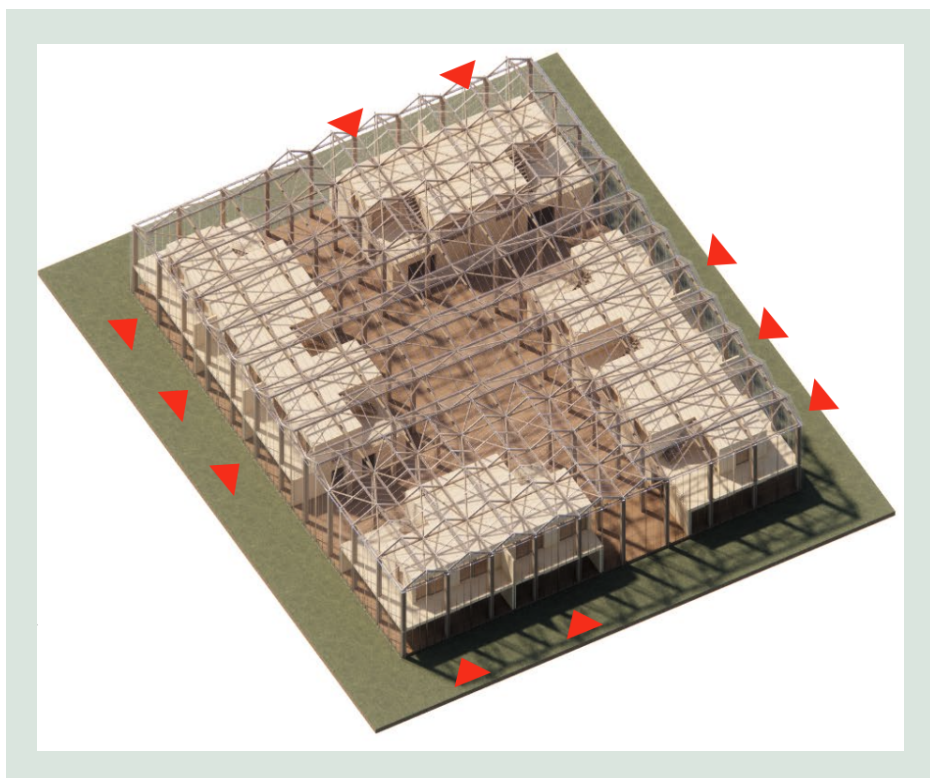
4.2 Opbygning af montagesystem til medbyg



FIGUR 12. Montage modul.



FIGUR 13. Eksempel på sammensætning af montage moduler.



FIGUR 14. Illustration af modul baseret byggeri af 10 testhuse under yderskærm.

4.3 Kriterier for DIY-montering

For at sikre brugervenlighed og fleksibilitet i designet opstilles følgende kriterier for DIY-montering, med fokus på enkle løsninger, der er tilgængelige for lægfolk:

Konstruktive Elementer

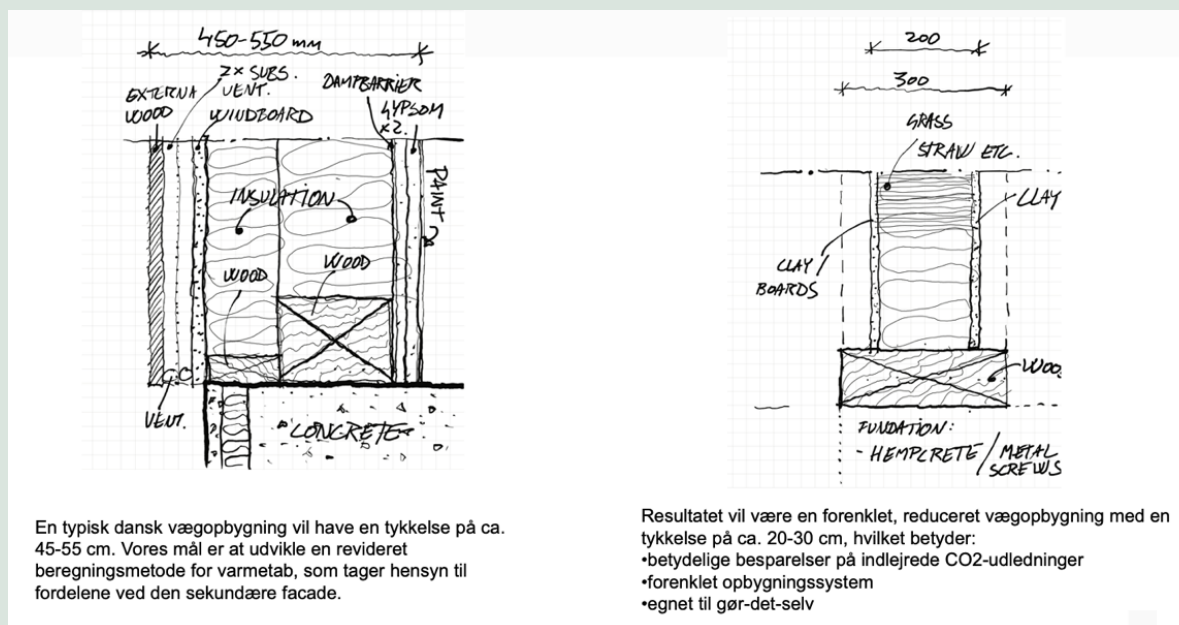
- **Håndterbare størrelser:** De konstruktive elementer udføres i dimensioner, der kan håndteres uden behov for avancerede hjælpemidler, hvilket gør processen tilgængelig for en bredere brugergruppe.
- **Samlingsprincipper:** Systemet skal samles uden brug af avanceret værktøj og samtidig sikre muligheden for nem adskillelse ved endt levetid, i overensstemmelse med princippet om "Design for Disassembly" (DFD).

Udfyldningselementer i det Konstruktive System

- **Forenklet vægopbygning:** Takket være yderhusets beskyttelse mod vind og vandpåvirkning kan inderhusenes ydervægge opbygges med en simpel konstruktion. De komplekse lag, der typisk gør vægopbygninger vanskelige at håndtere for ikke-fagfolk, kan udelades.
- **DIY-kompatibilitet:** Udfyldningselementerne designes som let håndterbare enheder, der kan monteres som en del af en enkel vægopbygning. Denne løsning muliggør aktiv deltagelse fra beboerne uden krav om avancerede færdigheder eller værktøj.

Visualisering og Videre Udvikling

For at anskueliggøre forskellen mellem en generisk vægopbygning og en mulig simplificeret vægopbygning illustreres den foreslåede vægopbygning, som vil blive yderligere testet i næste projektfase. Dette system skal danne grundlag for yderligere designudvikling med fokus på fleksibilitet, brugervenlighed og bæredygtighed.



FIGUR 15. Vægsammenligning. Illustrationen viser forskellen mellem en typisk dansk vægopbygning og en forenklet vægopbygning, der kan anvendes i et hus-i-hus-system. Til venstre ses en traditionel væg med en tykkelse på 45-55 cm, designet til at modstå vind- og vejrforhold. Til højre ses en forenklet vægopbygning med en tykkelse på ca. 20-30 cm, optimeret til det beskyttende klima indenfor yderhuset. Denne konstruktion reducerer materialeforbrug, muliggør lavere CO₂-udledning og understøtter gør-det-selv-monteringssystemer.

4.4 Anbefalinger til Byggesystemer

Konstruktive forhold: vægt, belastning og fundamenter

Boligernes lave egenvægt og det faktum, at yderhusets regnskærm eliminerer vandret vindlastpåvirkning på ydervæggene og skaber gunstige forhold for fundering ved hjælp af skru epæle, såfremt de geotekniske forhold tillader det. Skru epæle muliggør også en effektiv kombination med biobaserede terrændæk, da disse kan løftes fra jorden og ventileres, hvilket mindsker risikoen for fugtophobning.

Hvis jordbundsforholdene ikke tillader brug af skru epæle, kan alternative løsninger undersøges. Et muligt alternativ er direkte funderede blokke af celleglas, som har stor styrke og lav vægt, og som kan fungere som en bæredygtig og stabil funderingsmetode.

Analyse af leverandører og komponenter

Under udviklingen af projektet er der indsamlet materiale-specifikationer og EPD'er fra et udvalg af biogene materialer. Disse materialer er blevet testet for brand, lyd og fugttransport og vurderes som egnede til det foreslåede DIY-system. Leverandører af disse materialer vil derfor sandsynligvis kunne opfylde projektets krav til konstruktioner og komponenter.

Forenklet byggesystem og overholdelse af BR18

Målet med det forenklete og lette byggesystem er at muliggøre hus-i-hus-byggeri, der opfylder kravene til sikkerhed og energieffektivitet med mindst mulig klimabelastning. For-analysen har vist, at det i næste fase vil være nødvendigt at gennemgå og analysere den gældende lovgivning for energiberegninger og energimærkning. Denne viden skal kombineres med data og resultater fra projektets øvrige arbejdsplaner for at udvikle en løsning, der opfylder både lovgivning og bæredygtighedsmål.

Udviklingen af montagesystemet til medbyg vil fortsætte som en central del af analysen. Fokus vil være på systemets evne til at præstere i forhold til gældende lovgivning og standarder inden for energi, brand, lyd og fugt. Den afsluttende analyse vil danne grundlag for anbefalinger til myndighederne med henblik på at muliggøre mere fleksible og bæredygtige tilgange til energimærkning og regulering af hus-i-hus byggeri.



FIGUR 16. Reference byggeri med træ som bærende konstruktion.

Klimaaftrek for bygningsdele og optimeringer

I løbet af projektet er bygningsdelene, der udgør yderhus og inderhuse, løbende blevet optimeret for at minimere deres klimaaftrek. Disse tilpasninger omfatter:

- Ændring af yderhusets konstruktive system fra stål til limtræ.
- Brug af genbrugsglas til yderhusets regnskærm.
- Overgang fra betonfundamenter til skruefundamenter.
- Reduktion af procentdelen af vinduesglas i inderhusenes ydervægge.
- Anvendelse af upcycled/discarded glas til vinduespartier i inderhusene.
- Implementering af naturlig og hybrid ventilation i stedet for overvejende mekanisk ventilation.
- Simplificering af inderhusenes vægopbygning, hvor yderhuset bidrager positivt til det samlede energiregnskab.

Disse tiltag bidrager markant til at reducere byggeriets samlede klimaaftrek og sikre, at projektet lever op til bæredygtighedskravene.



FIGUR 17. Reference byggeri med træ som bærende konstruktion.

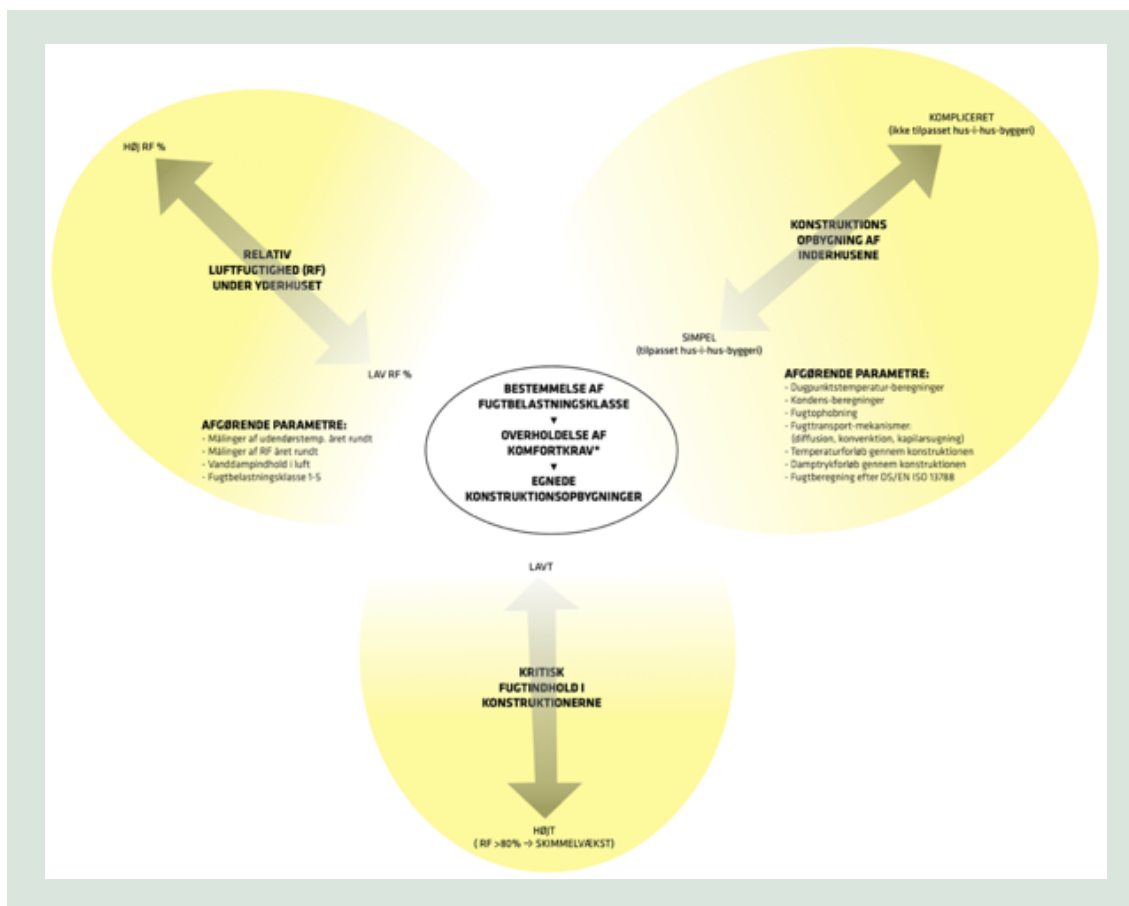
4.5 Fugtstrategi

Under yderhusets regnskærm etableres et unikt indeklima, der er frit for frost, vand- og vindpåvirkning. Dette skaber særlige forudsætninger for de inderhuse, der skal opføres inden for rammerne af regnskærmen. Det modulbaserede montagesystem er udviklet med disse forhold i tankerne og kan derfor udføres med en mindre grad af isolering og med alternative konstruktionsløsninger, som ikke ville være mulige under normale forhold.

Disse ændrede betingelser påvirker fugtvandringen i konstruktionerne, da de i høj grad afhænger af de indeklimatiske variationer, der forekommer under yderhusets klimaskærm. Den foreløbige fugtstrategi har fastlagt, at bygningsdelene til inderhusene i næste fase skal kvalificeres yderligere for at sikre optimal præstation i forhold til fugtvandring. Dette skal opnås gennem en række planlagte strategiske analyser og simuleringer, herunder:

- **DfD-simuleringer:** Simuleringer af de indeklimatiske forhold og variationer under yderhusets klimaskærm for at sikre materialernes holdbarhed og funktionalitet.
- **WUFI-simuleringer:** Disse simuleringer vil give detaljerede beregninger af varme- og fugtforhold baseret på lokale klimadata og specifikationer for byggematerialer og flerlagskomponenter.
- **Vurdering af åbningsgrader:** Analyse af facade- og tagåbninger for at sikre korrekt ventilation og minimere fugtopbygning.
- **Vurdering af varmekilder:** Analyse af påvirkningen fra varmekilder i inderhusene og det omkringliggende fællesrum for at forstå deres indvirkning på fugtforholdene.

Den foreslåede fugtstrategi skal sikre, at konstruktionerne ikke blot lever op til tekniske krav, men også bidrager til et bæredygtigt, stabilt og sundt indeklima.



FIGUR 18. Fugtdiagram som angiver de undersøgte parametre for samspillet mellem fugtbelastning, konstruktioner og overholdelse af komfortkrav der påvirker principdesign for de egnede konstruktionsbygninger.

5. Varmetabsberegningsmodel

Det danske bygningsreglement er udformet med forventningen om, at et hus primært består af en bærende konstruktion, isolering og en ydre skal. Lovgivningen forudsætter, at den indre væg er varm og den ydre kold, hvilket medfører specifikke krav til isoleringen mellem det indre og ydre hus. Vores projekt udfordrer denne traditionelle opbygning ved at introducere et drivhus som yderhus, hvilket skaber et varmere klima omkring det indre hus og potentielt reducerer behovet for isolering.

En konsekvens af denne tvedeling er, at gennemsnitstemperaturen inden i yderhuset - drivhuset - er højere end den danske udetemperatur. Dette åbner op for muligheden for at konstruere et inderhus med en spinklere konstruktion, da den ydre klimaskærm allerede bidrager til opvarmningen. Den traditionelle varmetabsberegning tager ikke højde for disse forhold. Derfor er det nødvendigt at udvikle en alternativ beregningsmodel med leverancer fra ingeniører og juridiske eksperter. DTU Construct har i forprojektet valideret at dette er realistisk, og den samlede konklusion er at der er stor sandsynlighed for at det lykkes.

Målet er at skabe en model, der kan anerkendes og godkendes af de relevante myndigheder (specifikt kommunal sagsbehandling af byggetilladelse), så vi kan reducere mængden af isolering uden at øge energiforbruget. Ved at anvende de nye simuleringsmetoder til at afsøge forskellige modeller, har vi sat os for at demonstrere, at inderhusene kan bygges med væsentligt reduceret isolering.

5.1 Rapport over Varmetabsberegning

INFLUIT har analyseret forskellige aspekter af varmetabsberegning og konkluderet følgende:

Det er i forprojektet sandsynliggjort, at konceptet kan levere på de centrale parametre. En række analyser er blevet gennemgået og designet til næste fase, som skal levere den krævede dokumentation. På baggrund af det foreliggende geometriske grundlag skal det fastlægges, hvordan de identificerede komfortkrav i det store fællesrum påvirkes af både ydre og indre forhold. Dette inkluderer påvirkninger fra vejr- og klimaforhold, interne belastninger fra huse, samt forskellige varmekilder mellem husene. Formålet med analysen er at vurdere anvendeligheden af forskellige komfortmodeller, herunder dem anvendt til indeklima (PMV, maxOT, adaptive comfort) og udeklima (UTCI, SPMV). Derudover vil årsdata for temperatur, fugt, lufthastighed m.m. anvendes til at skabe nye energimodelbetingelser for beregning af energibehov og -besparelse for de indre huse.

Følgende metoder er blevet undersøgt og vil blive implementeret i næste fase:

- Computer Fluid Dynamics (CFD)-modellering – Modellering af luftbåren stratifikation og lokale komfortforhold ved påvirkning af strålingskilder, åbningsgrader i facade og tag m.fl.
- Dynamisk indeklimamodellering – Ved hjælp af software som E+, IDA ICE, BSim el. tilsvarende, udføres modellering af komfortforhold som operative temperaturer, middelstrålingstemperatur (MRT), luftkvalitet og -udskiftning.
- Statistisk analyse af klima i fællesrummet – Udvikling af et klimadatasæt specifikt for fællesrummets behov.
- Quasi-statisk energimodellering – Be18 eller tilsvarende software anvendes til modellering af energiforbrug i boligerne med nye klimadatasæt.

Resultatet fra disse er dels en robust dokumentation til byggesagsbehandling og evt dispensationer fra gældende krav, dels grundlag for yderligere bearbejdelse af designløsninger til energibesparelse og komfortoptimering i projektet, med vægt på effektiv udnyttelse af varme og klimaressourcer. Inkluderet vil bl.a være modeller baseret på BIM/3D-modeller fra arkitekter og ingeniører, dataset til brug som input til BE18, og analyser af energi og komfort for projektet "Landsbyen i Væksthuset", som kan bruges i dialog med myndigheder og eventuelt som grundlag for et alternativt energimærke.

5.2 Lagring og udnyttelse af overskudsvarme gennem passiv energiopsamling

Den foreløbige analyse indikerer, at masse er den mest effektive og hensigtsmæssige metode til energilagring i forbindelse med overskudsvarme. I den videre proces vil der blive undersøgt, hvilke muligheder der findes for at integrere massen i arkitektoniske elementer, enten inden for rammerne af yderhuset, fx med lergulv i drivhuset, eller udenfor. Disse elementer skal have tilstrækkelig masse til at kunne optage overskudsvarme og derefter afgive den, når det er gunstigt for bygningens indeklima og energibalance.

Dette fokus på passive løsninger skal sikre en bæredygtig og vedligeholdelsesfri varmebalance hvor behovet for mekaniske systemer begrænses.

5.3 Håndtering af myndighed og godkendelser

Anbefalinger til Myndighederne (Energistyrelsen) om Håndtering af Byggeri

Forprojektet har identificeret relevante lovgivningsmæssige og tekniske forhold inden for energimærkning og byggegodkendelse, der er nødvendige for at understøtte hus-i-hus-konceptet. En ydre klimaskærm som en beskyttende og energieffektiv ramme omkring boligenheder repræsenterer en ny tilgang til boligbyggeri. Vores analyser har vist vejen til konkrete anbefalinger til, hvordan myndighederne kan håndtere lignende projekter fremadrettet, med fokus på at sikre juridisk og teknisk bæredygtighed.

Metode

Projektet har anvendt en kombination af dataindsamling og analyse for at skabe et solidt grundlag for anbefalingerne. Metoden har omfattet:

- Dataindsamling: Interviews, spørgeskemaer og analyser fra projektets øvrige arbejdspakker har sikret et helhedsorienteret beslutningsgrundlag.
- Udarbejdelse af en samlet rapport: Rapporten som udarbejdes i næste fase er målrettet Energistyrelsen og præsenterer tekniske og praktiske anbefalinger til fremtidige projekter som hus-i-hus-byggeri. Rapporten adresserer også nye eller justerede minimumskrav, der understøtter konceptet.

Vi har i forprojektet valideret feasibility i at realisere målet om at skabe en standardiseret ramme, der gør det muligt at realisere hus-i-hus-projekter som "*Landsbyen i Væksthuset*" inden for gældende lovgivning. Samtidigt sikrer anbefalingerne, at bæredygtigheds- og energieffektivitetsmål opfyldes, så fremtidens byggerier bidrager positivt til både klima og samfund.

Konklusion

De gennemførte analyser bekræfter, at hus-i-hus-konceptet kan opfylde moderne krav til energieffektivitet og bæredygtighed, når det anvendes sammen med en ydre klimaskærm. Projektet har fastlagt klare rammer og anbefalinger til håndtering af byggetilladelser og energimærkning for lignende byggerier.

Med en kombination af dataindsamling, teknisk analyse og en struktureret tilgang til myndighedsgodkendelse kan hus-i-hus-konceptet implementeres som en innovativ og bæredygtig boligform. Projektet demonstrerer, at det er muligt at balancere juridiske krav med ambitiøse miljømål og samtidig opnå nye standarder for komfort og funktionalitet i fremtidens byggeri.

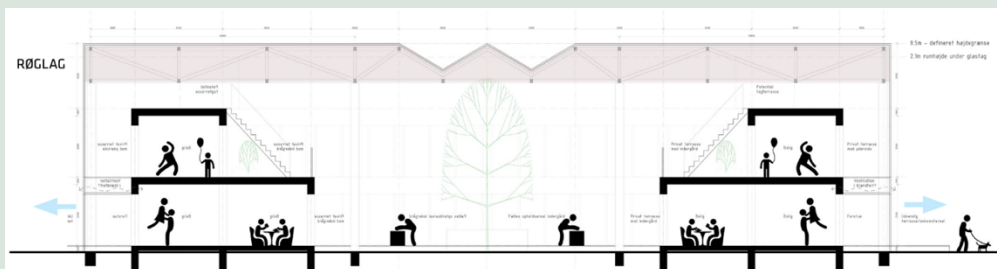
6. Preliminær brandstrategi

6.1 Brandstrategi

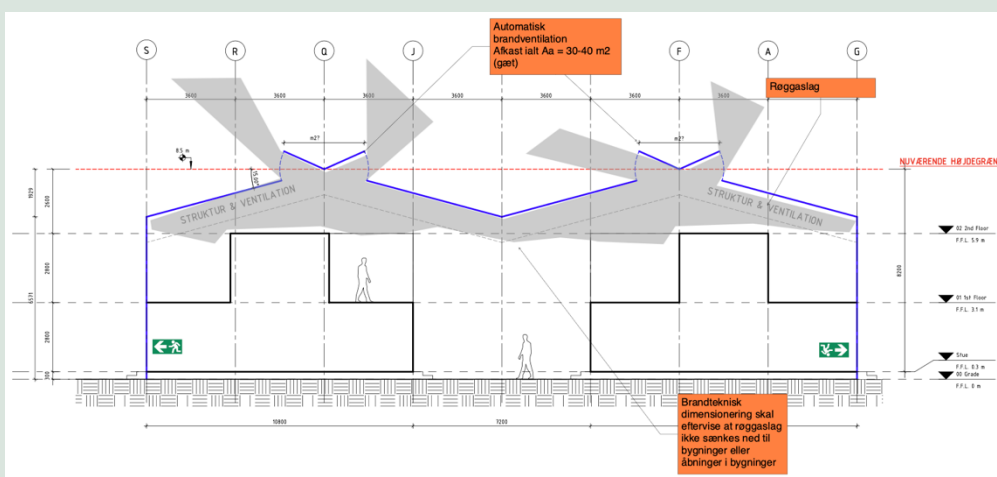
Udviklingen af projektets overordnede geometriske rammer i forprojektfasen er gennemført i tæt dialog med certificeret brandrådgiver fra Artelia Group. De overordnede principper for håndtering af brandtekniske forhold er blevet indarbejdet og danner grundlag for den preliminaire brandstrategi. Denne strategi identificerer følgende nøgleaspekter, som skal prioriteres i det videre arbejde:

- **Direkte adgang til det fri fra hver boligenhed:** Hver bolig skal sikres med en direkte flugtvej til det fri for at opfylde gældende sikkerhedskrav.
- **Sikring af et tilgængeligt beskyttelsesbælte på minimum 5 meter.**
- **Fastholdelse af en minimumsafstand på 10 meter mellem bygninger for at begrænse risikoen for brandspredning mellem strukturer.**
- **Analyse og simulering af åbningsgrad i taget:** Tagets åbningsgrad skal vurderes med fokus på at minimere røgspredning mellem boliger. Dette kræver simuleringer og analyser af ventilationsforhold og brandspredning under kritiske scenarier og vil munde ud i en specifikation af røgventilation i tag for at sikre effektiv røgudledning i tilfælde af brand.
- **Automatiske brandventilationsåbninger (ABV):** Integration af ABV-åbninger, der automatisk aktiveres ved røgudvikling og bidrager til kontrolleret røgudledning.
- **Brug af det overdækkede fællesrum:** Anvendelsen af fællesrummet skal defineres og tilpasses med hensyn til brandrisiko og brandbelastning. Specifikationer for anvendelse skal indgå i strategien for at sikre sikker og funktionel brug af rummet.
- **Kritiske forhold vedrørende terrasseområder:** Specifikke brandforebyggende foranstaltninger og afgrænsninger af terrasseområder for at minimere antændelsesrisikoen og brandspredningen.
- **Kritiske forhold til røgspredning i boliger:** Implementering af røgkontrollsystemer og designløsninger, der begrænser røgspredning i boligenheder, for derved at sikre beboernes sikkerhed under brandhændelser.
- **Åbningsgrad i facaden:** Facadens åbningsgrad skal analyseres for at sikre korrekt erstatningsluft og samtidig minimere risikoen for røgspredning til andre boliger.
- **Analyse af behov for sprinkling:** Det skal vurderes, om der er behov for et opskaleret sprinklersystem, baseret på de samlede brandrisici og belastninger i projektet.
- **Valg af facadebeklædning** baseret på kriterier, der sikrer, at materialerne i minimal grad bidrager til brandspredning og opretholder bygningens brandsikkerhed.

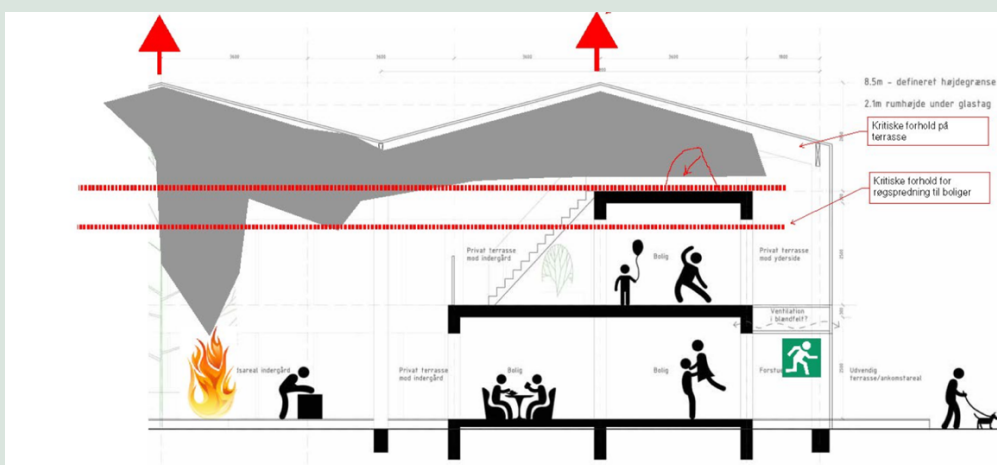
Den preliminaire brandstrategi tager således højde for både tekniske og praktiske krav og understreger vigtigheden af løbende analyser og fulde simuleringer i det videre udviklingsarbejde. Dette vil sikre, at projektet lever op til gældende lovgivning og tilbyder høj sikkerhed for beboerne.



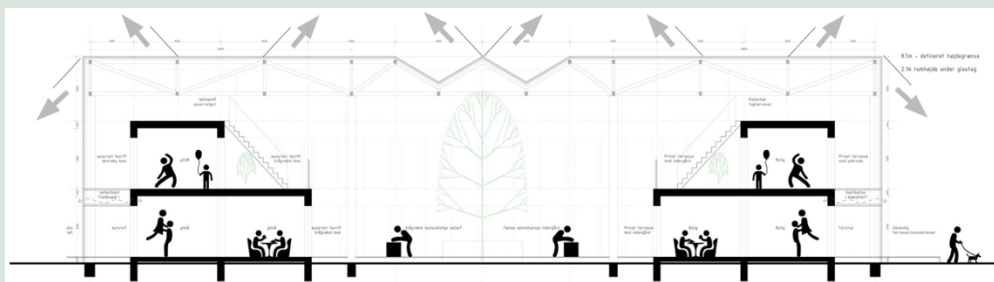
FIGUR 19. Illustration af overhøjde til røglag.



FIGUR 20. Illustration af princip for automatisk brandventilation.



FIGUR 21. Illustration af grundlæggende principper i brandstrategien.



FIGUR 22. Illustration af åbninger i tagflade til ventilation/brandudluftning.

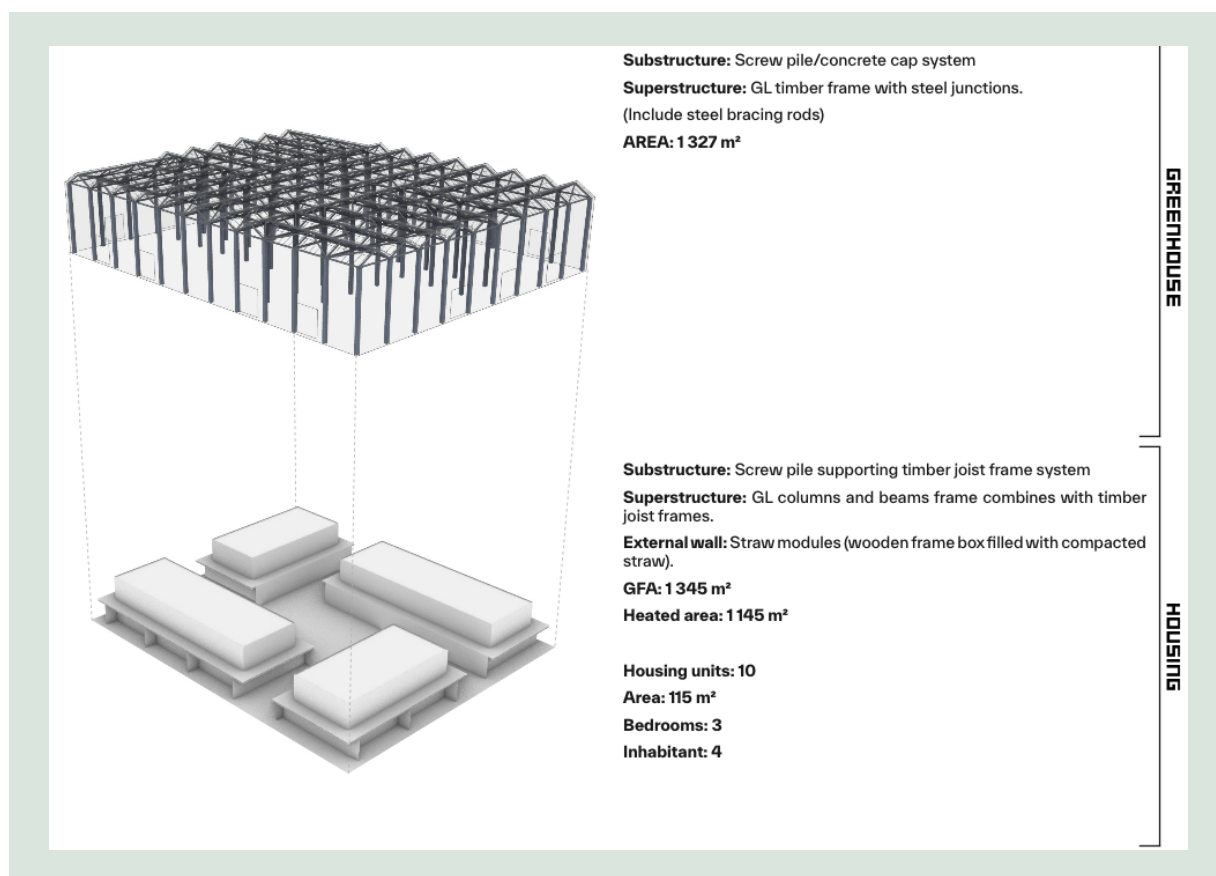
7. LCA analyse

7.1 LCA model

Forprojektet har vist at LIVs integrering af beboelseseenheder i et drivhusmiljø muliggør en fleksibel brug af energi og plads. Muliggørelsen af lette, modulære boliger i biogene materialer vil reducere klima- og miljøaftryk på en række parametre. Brugen af fx naturlige isoleringsmaterialer og en GL-træramme kan gennemføres med en radikalitet der giver en energibesparende og næsten CO₂-neutral bygning, der kan tilpasses de danske klimaforhold og reguleringer.

Forprojektets livscyklusanalyse (LCA) er foretaget for at kvantificere projektets miljøpåvirkning over en 50-årig periode. LCA'en fokuserer på både indlejrede og operationelle emissioner i LIV og giver et overblik over, hvordan materialevalg, bygningsdesign og energioptimering kan forbedre bygningens bæredygtighed. Med en samlet CO₂-påvirkning på ned til 4,3 kgCO₂e pr. m² pr. år med det totale byggeri inkl. drivhus, viser analysen, at projektet ligger inden for de gældende og kommende reguleringskrav. Dette understøttes af tiltag som skruerpælsfundament og halmvægge, der sammen reducerer behovet for højemissionsmaterialer og fremmer projektets langsigtede bæredygtighedsmål. Drivhuset udgør en stor del af belastningen, men beregningen tager ikke hensyn til drivhuset faktiske levetid og genbrug.

Ved at inkorporere denne LCA tidligt i designprocessen har projektteamet fået mulighed for at træffe velinformerede valg, der kan optimere både ressourceforbrug og emissioner. Samlet set peger analysen på Landsbyen i Væksthuset som et pionerprojekt inden for bæredygtigt boligbyggeri i Danmark.



FIGUR 23. LCA Analyse approach.

7.2 LCA med Global Warming Potential

Beregningen af de operationelle emissioner er baseret på den danske metodologi tager udgangspunkt i klimazone 5A, som er specifik for København, samt antagelsen om en "Apartment MidRise" bygning (≤ 5 etager). Energibehov til drivhuset, såsom skyggeanordninger, belysning og åbningsbare glaspaneler, er ikke inkluderet.

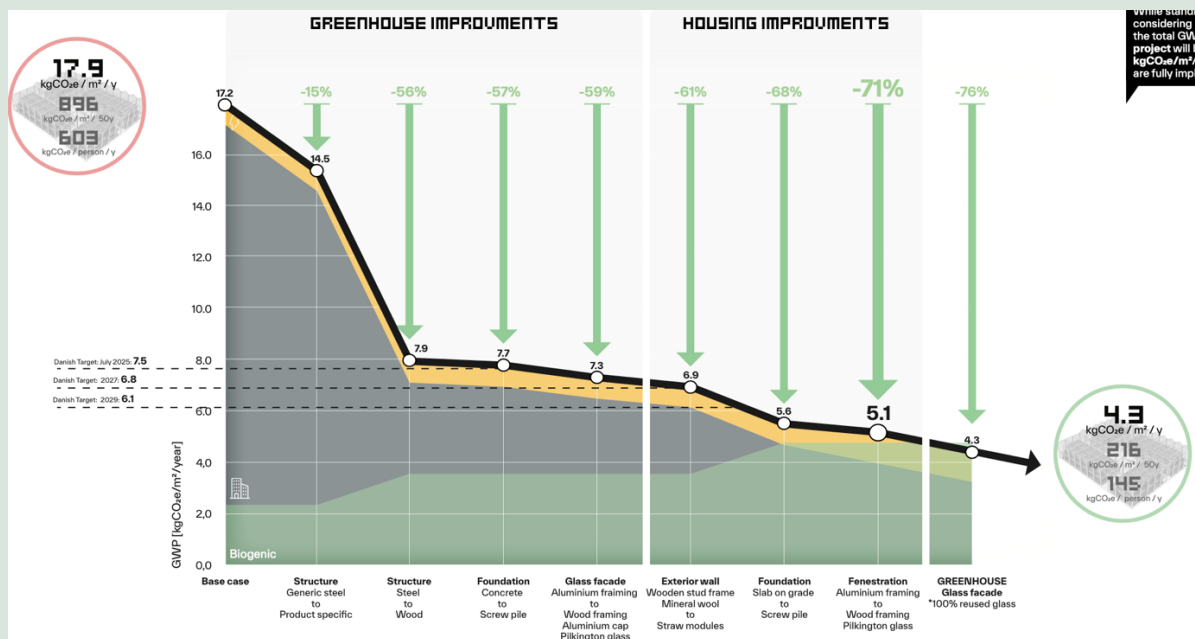
Beregningerne omfatter alle geometriske elementer fra konceptdesignmodellen, såsom skruefundament, limtræskonstruktioner, trækonstruktion til gulv og tagsystem, dobbeltglas vinduesrammer af træ (bolig) og enkeltglas vinduesrammer af træ med aluminiumskappe (drivhus), samt halmmoduler til inderhusenes ydervægge.

Bidraget fra de tekniske installationers GWP (Global Warming Potential) beregnes på baggrund af det totale opvarmede areal (opvarmede områder over 15 grader Celsius). Drivhusets tekniske installationer er udeladt.

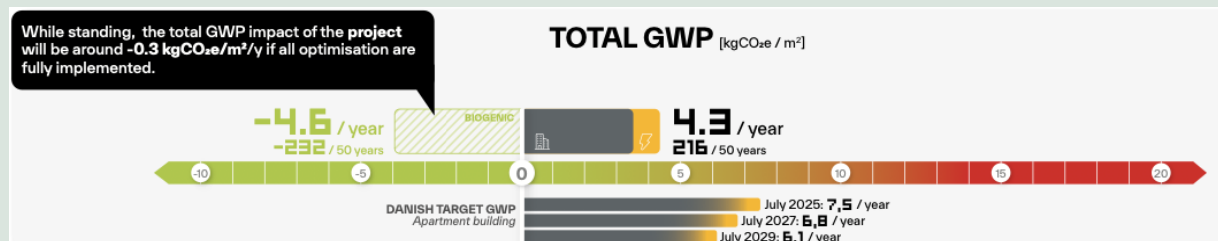
Drivhusets glas antages at være 100% genanvendt.

Drivhusets mekaniske udstyr, såsom vandingssystemer, skyggeanordninger og åbningsbare glaspaneler, er ikke inkluderet.

Her er et kort overblik over de vigtigste punkter fra LCA analyse.



FIGUR 24. Resumé af resultater fra LCA-rapporten. Hvis alle optimeringer implementeres fuldt ud, vil den samlede GWP-påvirkning være omkring 4,3 kgCO₂e/m²/år, (Bilag AP1-1.5).



FIGUR 25. Total GWP.

7.3 LCA Parametre

LCA-parametre:

Levetid: 50 år.

Brugsareal (GFA): 1.345 m².

Opvarmet areal: 1.145 m².

Projektets fase: Tidlig designfase.

Referencemodel: 02/09/24.

Materialevalg og konstruktion:

Fundamentet anvender skruerpæle for at reducere indlejret CO₂ i understrukturen.

Konstruktioner består af biogene materialer, herunder limtræskonstruktioner.

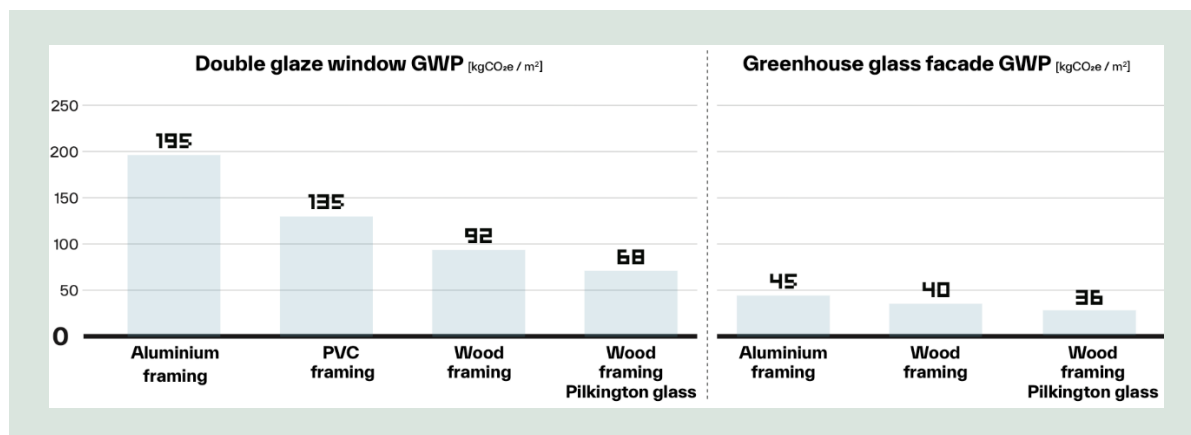
Eksterne vægge i inderhusene består af halm-moduler, og isoleringen af cellulose.

Opvarmnings- og kølesystemer er ikke optimeret på nuværende tidspunkt og kunne potentielt reducere den operationelle CO₂-påvirkning.

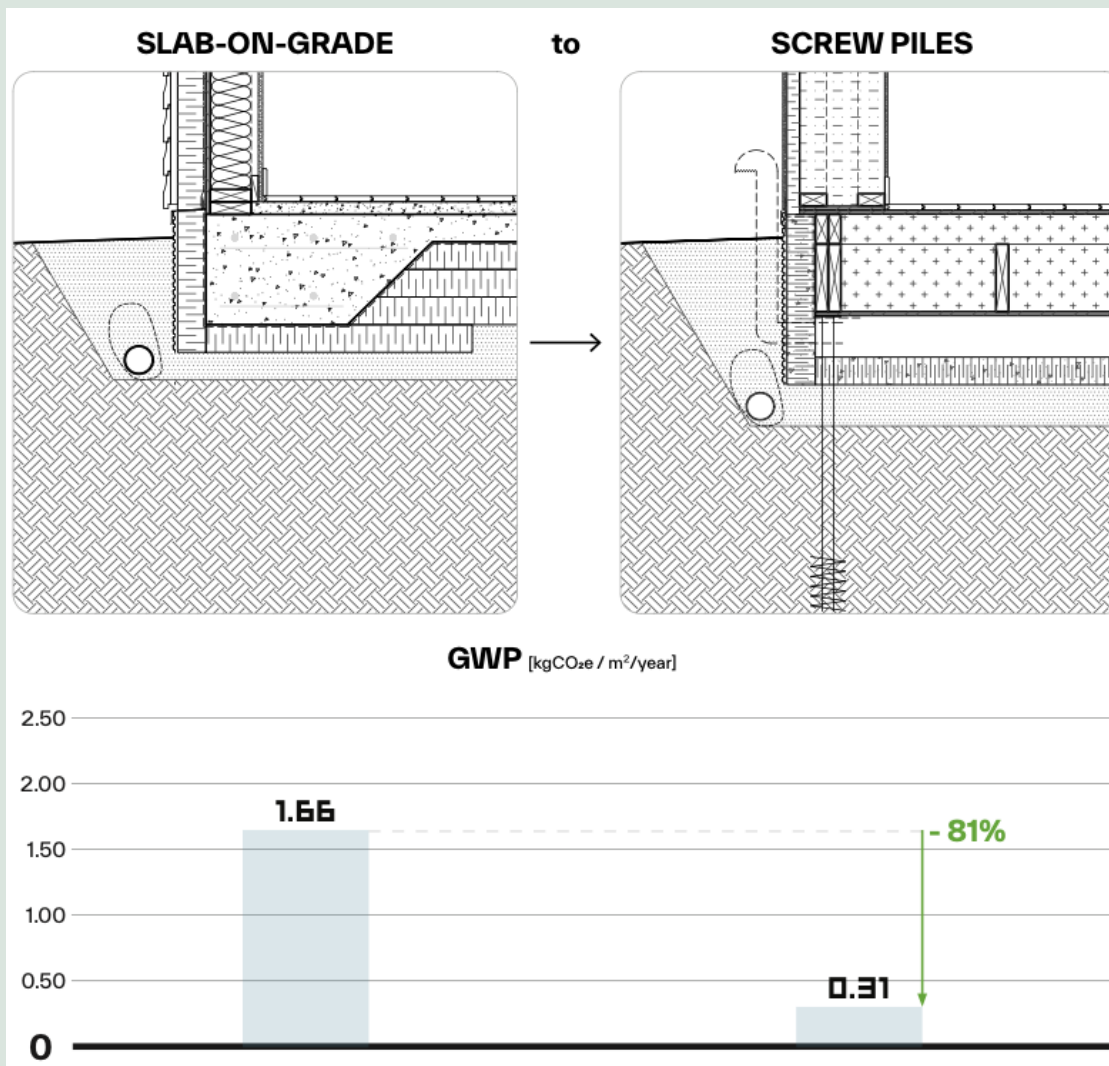
Danske klimakrav: Projektet opfylder de gældende danske krav til nybyggeri med en GWP, der er tilpasset fremtidige reguleringer for år 2025, 2027 og 2029.

Tidligere undersøgelser og optimeringsmuligheder:

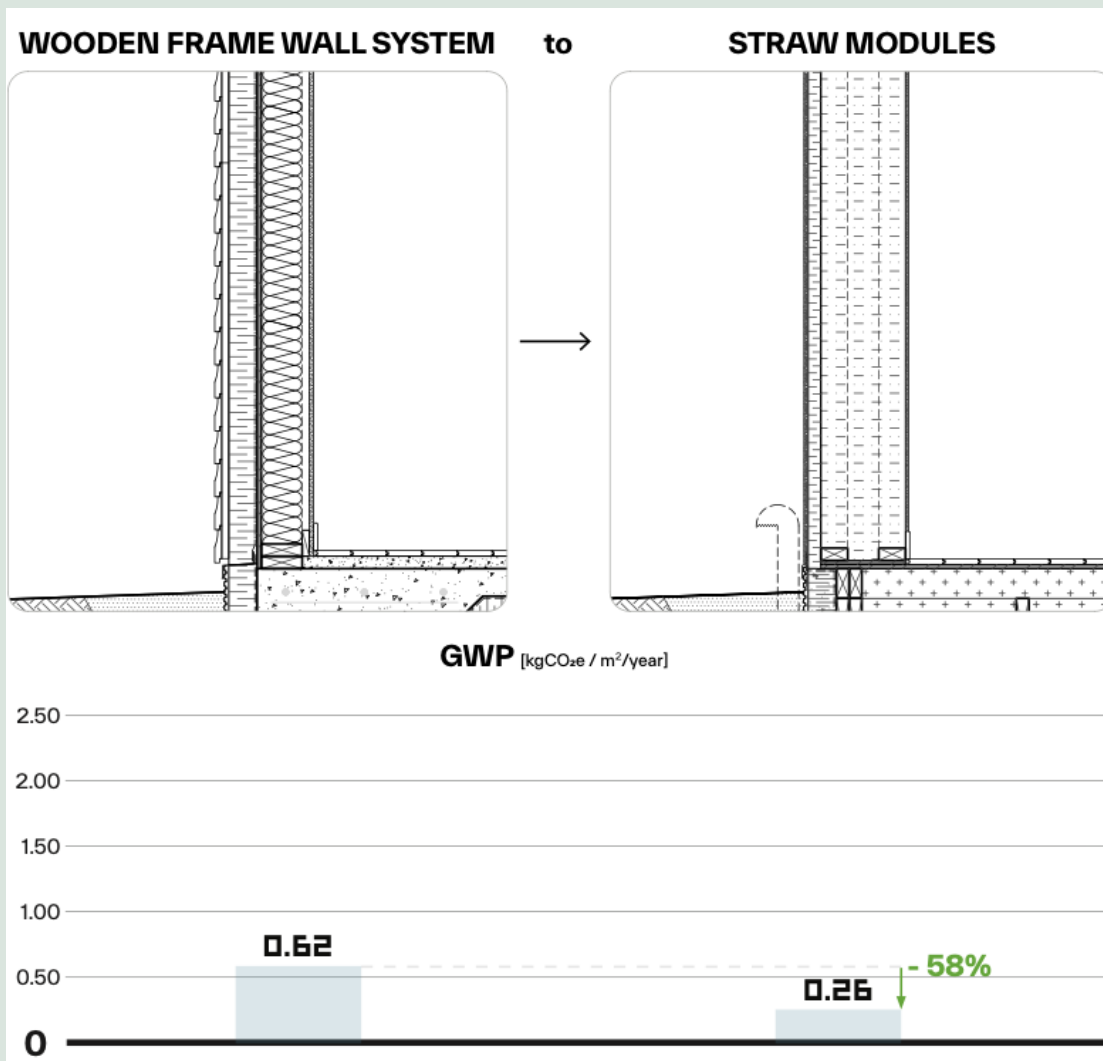
Rapporten konkluderer, at projektet *Landsbyen i Væksthuset* er godt positioneret til at reducere miljøpåvirkningen og imødekomme fremtidige bæredygtighedsmål.



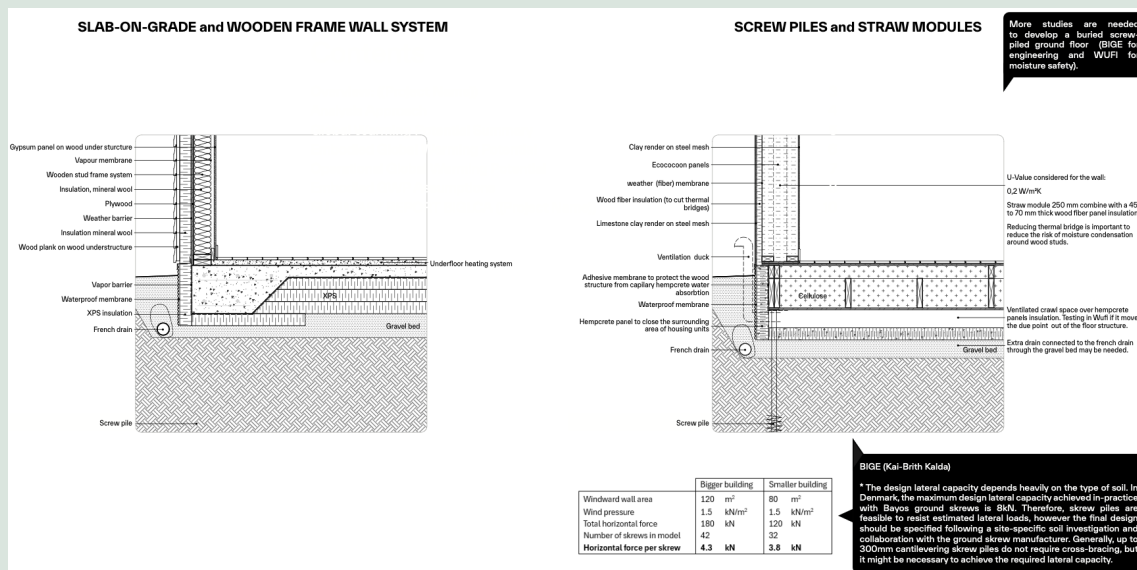
FIGUR 26. LCA-Graf over optimerings-potentialer i relation til typer af glas – og ramme-typer.



FIGUR 27. LCA-Graf over optimerings-potentialer i relation til fundaments-typer.



FIGUR 28. LCA-Graf over optimerings-potentialer i relation til indervægs-opbygninger.



FIGUR 29. LCA-forudsætninger for fundamentsopbygninger:

Den laterale bæreevne afhænger i høj grad af jordtypen. I Danmark er den maksimale laterale bæreevne, der opnås i praksis med Bayos skruerpæle, 8 kN. Skruerpæle er derfor egnede til at modstå de estimerede laterale belastninger, men det endelige design bør specificeres efter en stedsspecifik jordundersøgelse og i samarbejde med skruerpæleproducenten. Generelt kræver skruerpæle med en udkrægning på op til 300 mm ikke krydsafstivning, men det kan være nødvendigt for at opnå den krævede laterale bæreevne.

8. Next steps – Link til fyrtårnsansøgning

Hovedformålet med fyrtårnsprojektet er:

- Omdannelsen af industrielle drivhuse til energieffektive klimaskærme.
- Påvise bygbarheden ved brug af konkrete biogene materialer gennem et demonstreret og valideret program for biogent byggeri med en tvedelt klimaskærm.
- Realisere en fuldskala demonstrator bestående af 10 testhuse.
- Etablere en international showcase for konceptet "Landsbyen i Drivhuset".

Fyrtårnsprojektet har til formål at videreudvikle og implementere de tekniske løsninger som blev undersøgt i forprojektet med henblik på at bygge fuldskalademonstratoren med 10 testhuse:

- **Udvikling af avanceret klimareguleringssystem:** Baseret på MUDP forprojektet vil vi implementere konklusionerne i et innovativt klimareguleringssystem til yderhuset baseret på landbrugsindustrielle drivhuse, der sikrer effektiv styring af temperatur, fugtighed og luftkvalitet året rundt. Dette system er designet til at optimere indeklimaet i inderhuset, hvilket er essentielt for at skabe sunde og komfortable boliger, der kan tilpasses forskellige klimatiske forhold.
- **Validering af biogene materialer:** Projektet vil fuld-skala teste og validere brugen af biogene materialer som træ, halm og tang til opførelsen af inderhuset. Disse materialer er nøje udvalgt for deres modstandsdygtighed og deres evne til at reducere byggeriets miljøaftryk, hvilket gør dem til et bæredygtigt alternativ i fremtidens boligbyggeri.
- **Udvikling og test af skalerbart montagesystem:** Vi vil færdigudvikle et brugervenligt og skalerbart montagesystem, der gør det muligt for medbyggere at opføre, vedligeholde og tilpasse boligerne i inderhuset med minimal faglig hjælp. Dette system er designet til at være intuitivt, samtidig med at det sikrer høj kvalitet og holdbarhed i konstruktionen.
- **Design og implementering af ny beregningsmodel for varmetab:** En central del af projektet er udviklingen af den i forprojektet princip-beskrevne beregningsmodel for varmetab, der tager højde for de termiske fordele ved drivhuset som yderhus. Denne model vil blive udviklet i samarbejde med myndighederne, hvilket sikrer, at den lever op til de nødvendige standarder og kan anvendes i fremtidige byggerier.

Fyrtårnsprojektet vil gennem en kombination af teknologiudvikling, detaljeret projektering og opførelsen af en fuldskalademonstrator skabe en robust platform for fremtidig innovation i boligbyggeriet. Med 10 fuldt funktionelle og komplette testboliger med inderhuse og yderhus vil projektet demonstrere, hvordan en radikal integration af landbrugsteknologi, avancerede byggeteknikker og biogene materialer kan levere boliger, der både er økonomisk tilgængelige (prispunkt 2,7 mio/familie i første iteration og forventet 1,8 mio i efterflg. iterationer) og miljømæssigt bæredygtige (50% af standard LCA CO₂e, 30% mindre materialeforbrug og 30-60% CO₂ besparelser på en række driftsparametre). Dette vil ikke kun løse aktuelle tekniske og økonomiske udfordringer, men også skabe et solidt fundament for fremtidens bæredygtige boligudvikling i Danmark og internationalt.

Landsbyen i Væksthuset

Landsbyen i Væksthuset (LIV) er et bæredygtigt boligkoncept, der kombinerer drivhusets passive solvarme med biogene byggematerialer. En todelt klimaskærm skaber en bufferzone omkring boligerne og muliggør sunde, energieffektive hjem med fokus på både fællesskab og miljø.

Projektet er udviklet i samarbejde mellem ALMENR, BIG og JDH-BYG. Yderhuset – et glashus baseret på industrielle drivhuse – beskytter mod det danske klima, mens inderhuset, bygget af lette biogene materialer, skaber komfort og fleksibilitet. LIV udfordrer traditionelle danske byggemetoder og søger at reducere byggeomkostninger, øge fleksibiliteten og redefinere kvalitet gennem deleøkonomi og lavteknologisk byggeri.

Byggesektoren står over for store udfordringer: højt CO₂-forbrug, ineffektivitet, høje priser og mangel på bæredygtige alternativer. LIV adresserer disse problemer med et ambitiøst design, der forener førindustrielle byggeskikke med moderne krav til komfort og sikkerhed.

Forprojektet havde haft til formål at undersøge og analysere de barrierer, som kan hindre realiseringen af konceptet som tidligere projekter det sidste århundrede er løbet ind i – herunder lovgivning omkring ventilation, brand, varmetab og materialedokumentation – og at udvikle løsninger gennem design, konstruktion og nye beregningsmodeller. Efter gennemført forprojekt, udvikler partnerne LIV videre til en bygbart demonstrator.

LIV søger at danne grundlag for en ny standard inden for boligbyggeri og viser en vej frem mod et mere bæredygtigt og fællesskabsorienteret samfund.



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk