

DEN CIRKULÆRE FACADE



RE+BUS

RENOVATING BUILDINGS SUSTAINABLY

PROJEKTETS PARTNERE ER:



PROJEKTET ER STØTTET AF:



RE+BUS

RENOVATING BUILDINGS SUSTAINABLY

FORORD

REBUS er et samfundspartnerskab, der samler alle led fra byggeriets værdikæde for at fremme bæredygtige renoveringer til gavn for borgere, industrien, miljøet og samfundsøkonomien. Partnerskabet inkluderer Henning Larsen, Saint Gobain, Enemærke & Pedersen, Cowi, Frederikshavn boligselskab, Himmerland boligselskab og Teknologisk Institut. REBUS har været i gang siden marts 2016 og afsluttes juni 2021.

Partnerskabet, hvis primære formål har været at fremme flere bæredygtige renoveringer, har frembragt en række af metoder, værktøjer og produkter indenfor strategiske partnerskaber, bedre brug af data, indeklima, totalværdi og facadeløsninger. De overordnede mål partnerskabet har arbejdet under er 50% reduceret energiforbrug, 30% reduceret ressourceforbrug og 20% øget produktivitet.

Denne publikation har til formål at give et overblik over *Den Cirkulære Facade* med forklaring af baggrundspræmissen, opbygningen, materialevalget og samlingsprincipperne. Den Cirkulære Facade, eller REBUS Cirkulær, bygger videre på arbejdet med basisfacaden som er beskrevet i publikationen 'Facadeudvikling'. Denne publikation skal give en forståelse af potentialerne ved at vælge Den Cirkulære Facade i REBUS.

REBUS PROJEKTOVERBLIK

Udviklingen af REBUS har systematisk arbejdet med tre overordnede udviklingsspor: *Processer, metoder og produkter*. De er hver blevet undersøgt og behandlet i særskilte arbejds-pakker (WP) og endeligt blevet foldet ud i en demonstrationspakke, hvor partnerskabet har syntetiseret innovationen med afsæt i indsigter fra de foregående spor.

WP 1 **Processer** - Længerevarende, strategisk samarbejde

WP 2 **Metoder** - Nye metoder og værktøjer til estimering af totalværdi, indeklimate og dokumentation af renoveringsmål

WP 3 **Produkter** - Præfabrikeret facadeelement til tidlig konfiguration, øget industrialisering og digitalisering af facaderenoveringen

WP 4

Demonstration – afprøvning og demonstration af metoder, værktøjer og produkter udviklet i hhv. WP1, WP2 og WP3

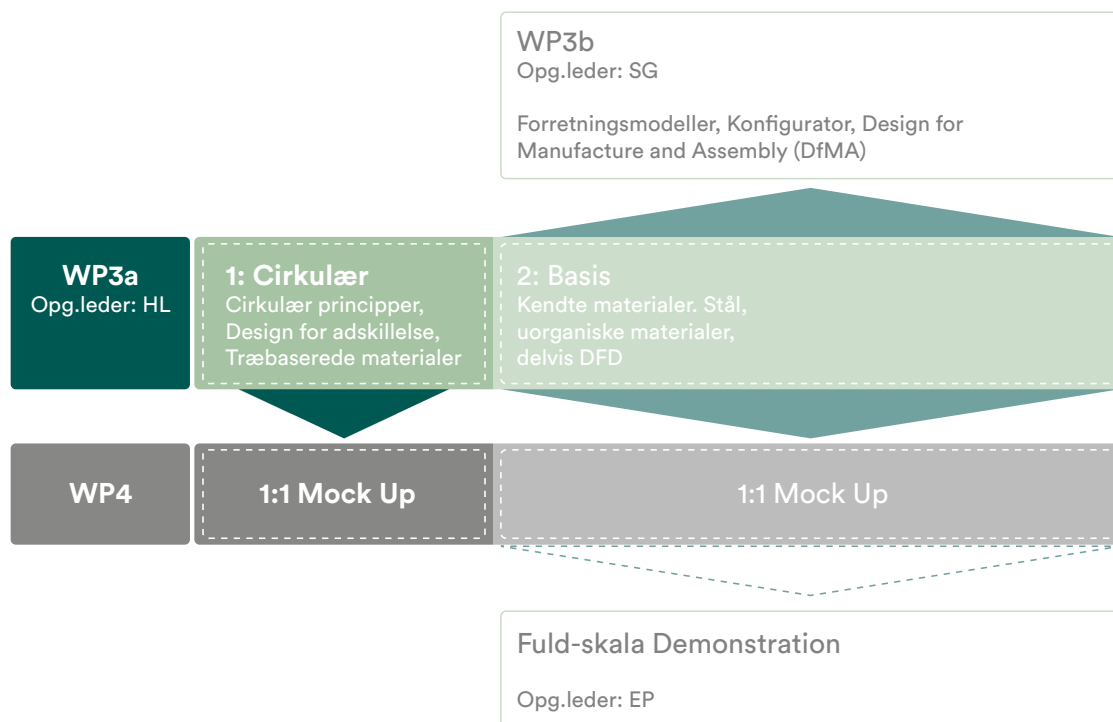
Denne publikation forholder sig udelukkende til facadesystemet udviklet som en del af REBUS i WP3.

Publikationen *Den Cirkulære Facade* beskriver og afdækker et cirkulært alternativ inden for samme facadesystematik som beskrevet for basisfacaden i publikationen 'Facadeudvikling'. Udviklingen af Den Cirkulære Facade har, som for basisfacaden, dannet grundlag for en mock-up som fysisk demonstrerer opbygningen. Foruden billedmateriale er denne ikke beskrevet nærmere i indeværende rapport.

Direkte beslægtet til udviklingsarbejdet beskrevet i nærværende rapport

er publikationerne omkring industrialiseret facaderenovering: *Facaden - produkt, proces og konfiguration*. Disse omhandler performanceafklaringer for basiselementet samt markedsmodeller og digital konfigureringsværktøj for det udviklede facadesystem.

Publikationen her kan med fordel ses i sammenhæng med resterende publikationer udgivet i REBUS-regi for mere dybdegående kendskab til det samlede udviklingsprojekt. Der kan læses nærmere om projektet på www.rebus.nu. Alle publikationer udgivet som en del af samfundspartnerskabet REBUS kan findes og downloades på: www.teknologisk.dk/projekter/projekt-rebus-renovating-buildings-sustainably



INDHOLD

Afsæt	7
Udfordringen	10
REBUS ambitioner	12
Rebus facadesystem - et hurtigt overblik	14
Bæredygtig kontekst	19
Potentialet ved brug af træ	22
Hvordan bygger vi med træ	24
Cirkularitet	26
Cirkulært design i REBUS.....	30
Tilgang	35
Konstruktion.....	38
Materialevalg.....	42
Design for disassembly	50
Opbygning	55
Opbygning.....	56
Samlinger	60
Performance	65
Brandsikkerhed.....	67
LCA.....	72
Termisk isolering	76
Fugt	80
Kildefortegnelse	84



Scan
koden
og kig i
modellen



AFSÆT

Spørgsmålet er ikke OM vi skal renovere, men HVORDAN vi øger tempoet.



Illustrationen kobler forskellige bygningskomponenters levetid med opførelsesår. Det giver et samlet indtryk af, hvornår komponenterne skal udskiftes¹.

“REBUS ønsker at sætte gang i renoveringen gennem udvikling af præfabrikerede facadeelementer, der kan monteres med mindst mulig gene og samtidig forbedre funktionalitet og arkitektonisk kvalitet til glæde for beboere, bygherre, miljøet og samfundet.”



...læs mere i [Facadeudvikling](#)

UDFORDRINGEN

40%

Nybygning, vedligeholdelse og renovering af bygninger tegner sig for 40% af materialestrømmene i EU²

40%

af de samlede klimapåvirkninger stammer fra byggeriet³

33%

af affaldsproduktionen i Danmark kommer fra byggebranchen⁴

”

**Hvis ikke vi udnytter vores
ressourcer mere optimalt,
renoverer og opdaterer vores
eksisterende bygningsmasse
bliver det en stor udfordring at
realisere de ambitiøse
målsætninger om at nedbringe
CO₂-udledningen.**

Martin Vraa Nielsen
Lead Sustainability Consultant
Henning Larsen

REBUS AMBITIONER

50%

REDUCERET ENERGIFORBRUG

Energieffektivitet
Dokumentation af ydeevne

30%

REDUCERET RESSOURCEFORBRUG

Præfabrikerede facader
Mindre spildtid og færre fejl

20%

ØGET PRODUKTIVITET

Hurtigere fra design til udført projekt
Øget industrialisering

+%

POSITIVE AFLEDTE EFFEKTER

Minimering af gener
Bedre beslutningsprocess
Bedre indeklime
Bedre brug af data
Bedre forretning

Hvad gør vi lettere?

- Beslutningsgrundlag og beboerproces
- Designudvikling
- Renoveringsprocessen
- Installation/montage

Hvad sparer vi?

- CO₂ fra produktion, udførelse og drift
- Materialeforbrug
- Tid i forbindelse med design og udførelse
- Affald

Hvad forbedrer vi?

- Indeklima
- Flexibilitet
- Reducerer behovet for genhusning
- Bolig- og livskvalitet
- Reducerede omkostninger ifbm. projektering

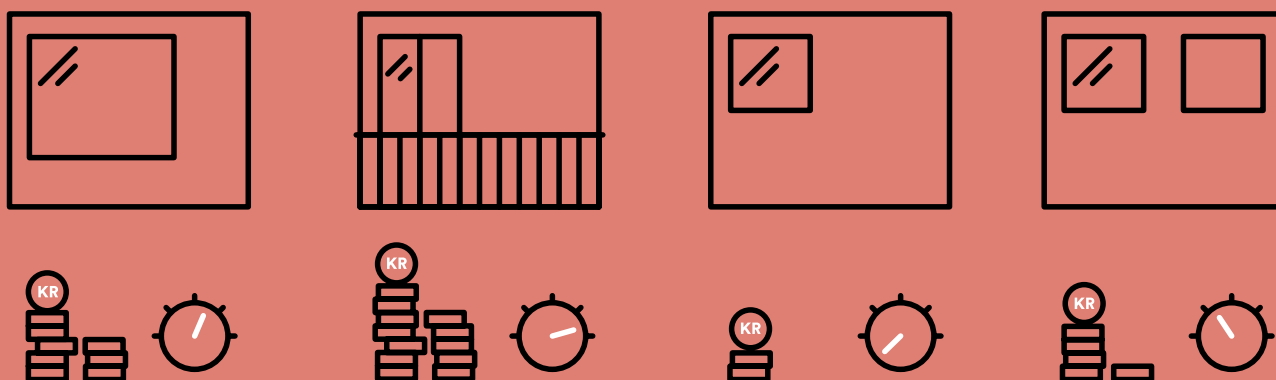


...læs mere i Facadeudvikling

REBUS FACADESYSTEM - ET HURTIGT OVERBLIK

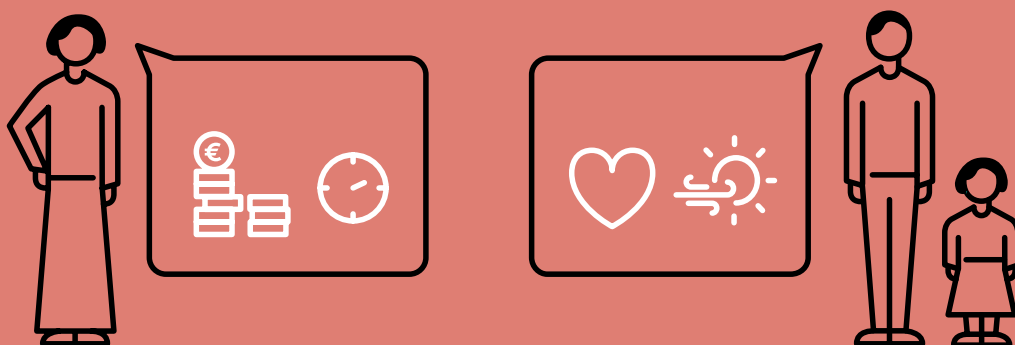
Gennem en række procesovervejelser og et kalibreret og gennemarbejdet produkt er der skabt grundlag for mere effektive renoveringer af højere kvalitet.

Produkt



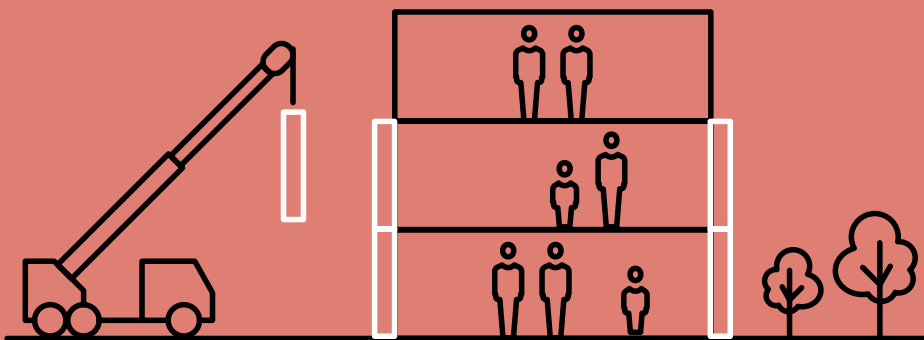
Et facadekatalog som danner grundlag for klart og hurtigt beslutningsgrundlag tilpasset den konkrete renovering

Dialog



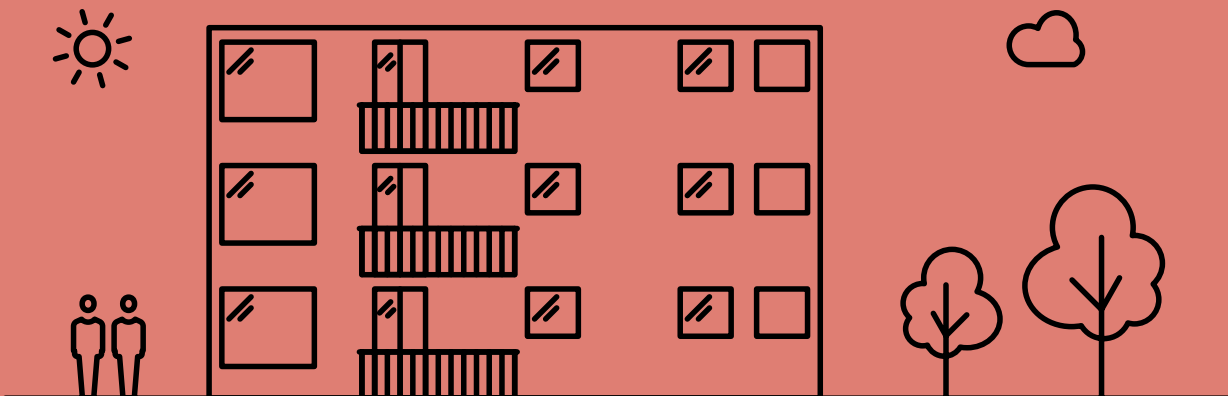
Gennemsigtige valg og fravalg for let forventningsafstemning og lettere risikohåndtering

Udførelse



De præfabricerede facadeelementer muliggør en hurtig udførelse, mindre genhusning og færre beboeregener. Ikke behov for etablering af en byggeplads.

Kvalitet



Kendte produkter og afklaret udførelsesproces giver dokumenterbar kvalitet fra skitse til virkelighed

REBUS CIRKULÆR

REBUS Cirkulær er træbaserede facadeelementer til renovering som beror på samme systematik og tilgang som det er tilfældet for REBUS' basisfacade. Dette grundlag er beskrevet i publikationen 'Facadeudvikling'.

REBUS Cirkulær tager, som navnet antyder, udgangspunkt i hensyn omkring cirkulær økonomi og design. Her har udviklingsarbejdet specielt fokuseret på design for adskillelse (design for disassembly) og brugen af miljøvenlige materialer. Denne publikation giver en introduktion til REBUS Cirkulær - hvorfor, hvad og hvordan.

Overordnet skal REBUS fremme bæredygtig renovering af etageboligbyggeri fra 1960'erne og 70'erne med fokus på at forlænge levetiden og den arkitektoniske værdi. Udviklingsarbejdet i REBUS har haft fokus på at

skabe grundlag for en mere effektiv renoveringsproces med blandt andet reducerede omkostninger og mindre beboergener. REBUS Cirkulær muliggør samme effektiviseringer.

REBUS er ikke udviklet til et enkelt projekt, men et facadeprodukt og -system, som er i stand til at tilpasse sig en bred vifte af renoveringsprojekter. Det er præfabrikerede facadeelementer til hurtig og fleksibel renovering med mulighed for montage direkte uden på de eksisterende facader.

I publikationen "facadeudvikling" er den grundlæggende ambition for REBUS projektet udfoldet samt udfordringer og koncepter beskrevet. Dette indebærer blandt andet en beskrivelse af renovering som fokusområde, valg af hovedtypologi samt hvordan facadeudviklingsarbejdet udspringer af en række procesovervejelser.



...læs mere i Facadeudvikling







BÆREDYGTIG KONTEKST

BÆREDYGTIG KONTEKST

Bæredygtighed hviler på tre søjler; miljø, social og økonomi - REBUS Cirkulær bidrager til alle tre områder.



MILJØ

Verden er midt i en klimakrise, og vi er nødt til at sætte en mere bæredygtig retning for byggeindustrien generelt. Her er renovering central, da det er svaret på fremtidens by NU og ikke om 20-30 år når nyudviklede bydelsområder som eksempelvis Nordhavn står færdige.

Miljømæssigt kan det næsten altid bedre betale sig at renovere frem for at bygge nyt grundet den signifikante reduktion i materialeforbrug.

REBUS Cirkulær anvender desuden materialer med et lavt CO₂-aftryk, og facaden er designet, så den er nemmere at skille ad end traditionelle facader. Dermed bliver det lettere at vedligeholde, men også at genbruge og genanvende materialerne, når facadens levetid har nået sin ende.



SOCIAL

Beboernes livskvalitet forbedres, da facaden opdaterer boligens indeklima og funktionalitet forbedres. Ydermere skaber den arkitektoniske opdatering grundlag for en forbedring af områdets image med øget ejerskab og tryghed til følge.

En mere effektiv renoveringsproces reducerer beboergener mens off-site produktionen sikrer bedre arbejdsbetingelser for bygningsarbejdere.

Fokus på at renovere og opdatere almene boliger er med til at sikre tidssvarende boliger til alle.



ØKONOMISK

Præ-designede facadeløsninger reducerer omkostninger til designudvikling og (om)projektering. Præfabrikation sikrer en optimal produktionsproces, som reducerer materialespild og risici. Off-site produktionen begrænser byggepladsomkostninger til et minimum. Design for adskillelse gør det meget lettere at erstatte dele af facaden ifbm. vedligehold med mulighed for genbrug eller genanvendelse af udskiftede dele. Det samme gælder facaden som helhed efter endt levetid.

Ydermere vil REBUS helt eller delvist afskaffe behovet for genhusning og dermed også omkostningerne ifbm. dette.

REBUS Cirkulær spiller også ind i Verdensmålene for bæredygtig udvikling



Social ulighed
Øget levestandard
Ensomhed
Ændrede familiemønstre
Post-covid samfund



Urbanisering
Mobilitet
Udbud af boliger
Demografiske ændringer og diversitet
Individualisering



Teknologisk udvikling
Bæredygtig omstilling
Øge energieffektiviteten af bygninger
Fornybar energi



CO₂ neutralitet i 2050
Bevar naturen
Global opvarmning
Øge biodiversiteten



Globalisering
The Green Deal (EU)
Just transition fund
Investerings- og finansieringsmuligheder
Partnerskab om SDG Mål



...læs mere i Facadeudvikling

POTENTIALALET VED BRUG AF TRÆ



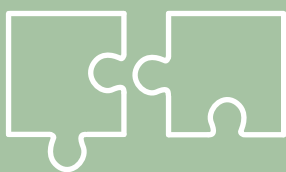
TAKTILT MATERIALE
SOM PATINERER
SMUKT



GODT FORHOLD
MELLEM STYRKE OG
VÆGT



NATURLIGT OG SUNDT
MATERIALE



PRODUKTION OG
MONTAGE ER NEM
OG HURTIG



FORNYBAR
RESSOURCE MED
LAVT CO₂ AFTRYK



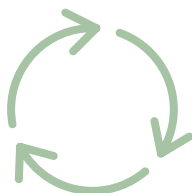
TRÆ HAR STORT GEN-
BRUGS- OG GENANVEN-
DELSESPOTENTIAL



KLIMA

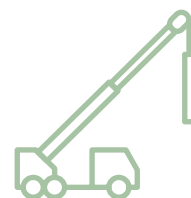
De europæiske skove er vokset med 10% over de sidste 25 år og den mængde af træ, der bruges til en almindelig familiebolig, vokser hvert 40. sekund i de østrigske skove alene. På verdensplan er det desværre mindre positivt og skovarealet mindskes med over 3% hvert år, hovedsageligt forårsaget af ekspansion af landbrugsareal og skovdrift med brændsel for øje. Der forventes en stor øgning i efterspørgsel af træ til energiformål i de næste 50 år.⁵ Derfor bør der være stor fokus på at træet kommer fra bæredygtig skovbrug og sporbarhed af dette.

I forhold til byggematerialer som stål og beton er energiforbruget forbundet med fremstilling og tildannelse af træ lavt. Træ har desuden, som det eneste konstruktionsmateriale, også evnen til at lagre CO₂, da det bindes under væksten og først udledes, når træet brændes eller rådner. Træ er et klima- og miljøvenligt materiale, når det er baseret på bæredygtig skovproduktion, hvor skovressourcen bevares eller forøges og hvor skovens biodiversitet bevares eller forbedres.



GENBRUG OG GENANVENDELSE

Træ kan genbruges, genanvendes eller udnyttes til energiproduktion når en bygningsdel ikke bruges længere. REBUS facaden er designet med henblik på adskillelse (design for disassembly), så man kan sikre den bedst mulige håndtering af træet, når det når affaldsfasen (end of life). Formålet er at følge kaskadeudnyttelse for træet så materialet bliver genbrugt eller brudt ned til næste kategori efter enhvert livsstadie. Det betyder for eksempel at træet først bliver brugt som bjælke i en konstruktion, dernæst eksempelvis stolpe eller regel, det næste stadie kunne være som OSB-plade. Til sidst bliver det brændt og producerer energi og varme, for at udnytte det fulde potentiale af træ. Det reducerer også skovdrift med energiproduktion som eneste formål.



PRÆFABRIKERING

Trækonstruktioner er velegnede til præfabrikering, grundet træets lave vægt i forhold til styrke og effektive samlingsmetoder. Det reducerer byggetiden og dermed omkostningerne. En præfabrikeret facadeløsning minimerer arbejdet på selve byggepladsen og effektiv produktion og transport af facademodulerne grundet træets lave vægt. Præfabrikeringen tillader en effektiv byggeproces uafhængigt af vejrlig mens trækonstruktionen garanterer en meget høj præcision på omkring ± 2mm. At bygge med træ giver et unikt arkitektonisk udtryk med mulighed for høj detaljeringsgrad, der til fulde kan forløses gennem præfabrikation.

HVORDAN BYGGER VI MED TRÆ?



VÆGT OG STYRKE

Træ ses ofte som et mindre robust materiale sammenlignet med eksempelvis beton eller stål, men med dets unikke styrke/vægt forhold er det blot et spørgsmål om at bruge det rigtigt. Til anvendelsesområdet i REBUS er trækonstruktion yderst velegnet. Det både mindsker belastningen på eksisterende fundamenter og sikrer effektiv transport med lav CO₂-udledning af de præfabrikerede facadeelementer.



FUGT

Under de rigtige forhold kan træ holde i århundrede, fx som konstruktionsmateriale i vægge. Træ kan regulere både luftfugtigheden og indetemperaturen i takt med omgivelserne. Som konstruktionsmateriale bør træ dog ikke eksponeres direkte mod fugt - slet ikke vedvarende og/eller over længere perioder.

I REBUS Cirkulær er konstruktionen godt beskyttet mod både eksisterende konstruktioner og udeklimaet. I forhold til brug af træ som facadebeklædning er det konstrueret med ventileret hulrum, så ophobet fugt kan bortventileres.

Beklædningen er desuden monteret sådan, at den nemt kan skiftes ud, uden at den bagvedliggende konstruktion påvirkes.



BRANDMODSTAND

Træ og brand ses ofte som en farlig kombination, men trækonstruktioner er lige så sikkert som det er med alle andre materialer, da de skal overholde de samme regler. I tilfælde af brand forkuller træets overflade der fungerer som brandbeskyttelse for den resterende del af træemnet. Brandmodstanden af træ kan nemt forudsiges og beregnes så facadeelementet og de enkelte komponenter opnår den rette klassifikation.

I forbindelse med brandspredning, enten i hulrum eller mellem brandmæssige enheder, opstår der andre brandrelaterede krav og problemstillinger. Det samme gælder brugen af træ til facadebeklædning, klemmelister og isolering. I disse tilfælde kan indkapsling i ubrændbart materiale som gips, fibercement eller isolering være en mulig løsning.





CIRKULARITET

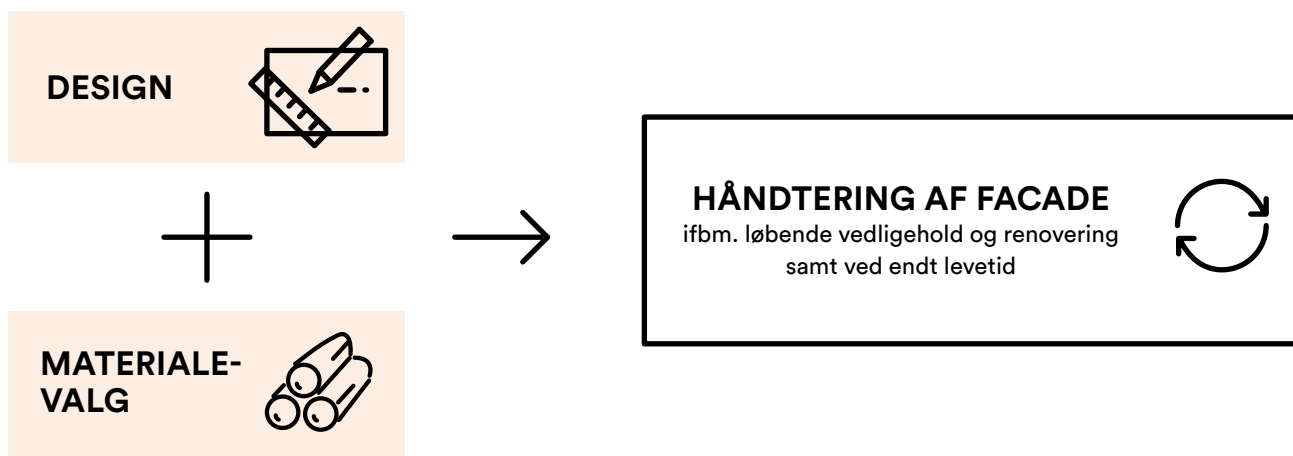
CIRKULARITET

Input fra Teknologisk Institut.

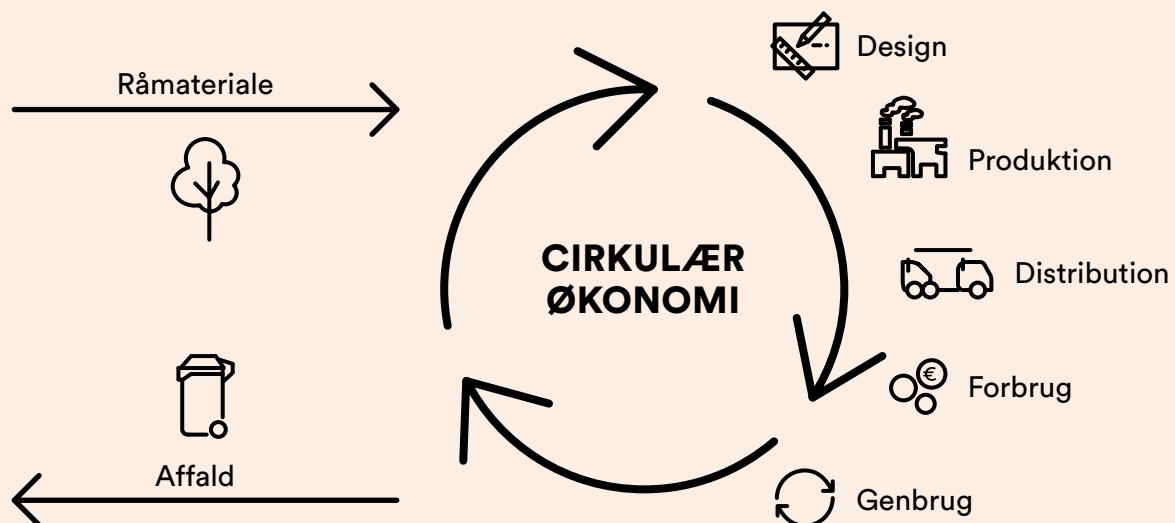
Cirkularitet – eller cirkulær økonomi – handler om at holde ressourcer i kredsløb længst muligt og reducere trækket på virgine ressourcer. En måde at holde ressourcer i kredsløb på er ved at fremstille høj kvalitetsprodukter med en lang levetid. En anden måde er at fremstille produkter, der kan genbruges¹⁾ eller genanvendes²⁾, når de bliver til affald. Eller fremstille produkter af affaldsmaterialer, der ellers ikke ville blive genbrugt eller genanvendt. Endelig er det også vigtigt generelt at minimere mængden af materialer.

Design og materialevalg er helt centrale parametre i forhold til at designe en facade efter cirkulære principper. Begge parametre spiller en rolle i forhold til den affaldshåndtering, der skal finde sted, når produktet – i det her tilfælde en facade – engang skal bortskaffes.

Design og materialevalg spiller ligeledes en rolle i forhold til generelt at reducere trækket på virgine ressourcer. I det følgende beskrives, hvad man bør være opmærksom på, når man skal fremstille en cirkulær facade.



- 1) Genbrug er når produkter bruges til samme formål, som de var udformet til.
- 2) Genanvendelse er når affaldsmaterialer omforarbejdes til produkter, materialer eller stoffer, hvad enten de bruges til det oprindelige formål eller andre formål.



CIRKULARITET I REBUS

Input fra Teknologisk Institut.

DESIGN

I forhold til selve designet, opbygningen og samlingerne er der en række parametre, som har betydning for facadens cirkularitet.

- Facaden bør designes så den løbende vedligeholdelse gøres så nem som muligt. Der skal være adgang og det skal være nemt at udskifte eller reparere delelementer af facaden for dermed at forlænge facadens levetid.
 - Der bør medfølge information til bygherren om, hvordan facaden skal vedligeholdes, f.eks. med udgangspunkt i en beskrivelse af, hvordan facaden er opbygget. Hermed sikrer man, at vedligeholdelsen foretages korrekt, hvilket er vigtigt i forhold til facadens levetid.
 - Facaden bør designes, så den kan skilles ad igen ("Design for Disassembly"). Både ifbm. vedligehold og når den ikke længere skal bruges. Det er vigtigt i forhold til den efterfølgende affaldshåndtering og medvirker til at udskiftede dele kan indgå i det "cirkulære loop".
- I nedenstående gives en række konkrete anvisninger knyttet til Design for Disassembly³⁾:
- Gør facadekonstruktionen simpel ved at minimere antallet af materialer, komponenter og samlinger. Det vil gøre adskillelsen nemmere og mindre destruktiv samt lette sorteringsprocessen når facaden skal håndteres ifbm. vedligehold og ved endt levetid.
 - Identificer og bevar oplysninger om facadens opbygning og materialerne anvendt i facaden. Udarbejd en digital demonteringsvejledning. Det vil sikre en bedre håndtering af facaden og dens bestanddele i løbet af levetiden.
 - Brug samlinger, der sikrer, at materialerne kan adskilles. Anvend så vidt muligt mekaniske samlinger frem for kemiske. Mekaniske samlinger er f.eks. skruer, splitter, møtrikker og bolte eller deciderede friktionssamlinger. Eksempler på kemiske samlinger er lim og fugemateriale. Det er også vigtigt, at samlingerne er ensartede, så det samme værktøj kan anvendes, og adskillelsen dermed kan udføres hurtigt og effektivt.
 - Sørg for nem adgang til samlinger, da det vil facilitere adskillelsen af facadens delelementer gennem hele levetiden.
 - Undgå specialdesign og anvend så vidt muligt åbne eller standardiserede byggesystemer gerne kombineret med modulært design. Det vil gøre det markedsfølsomt mere attraktivt for andre leverandører at byde ind i forhold til renoveringsopgaver, og samtidig gøre affaldshåndteringen mere fleksibel. Et modulært design sikrer, at elementerne kan bygges sammen igen.

3) Baseret på Teknologisk Institut (2019): Design for Disassembly – Håndbog om affaldsforebyggelse i byggeriet. www.teknologisk.dk/design-for-disassembly-haandbog-om-affaldsforebyggelse-i-byggeriet/40730

MATERIALEVALG

Valg af materialer har betydning for facadens cirkularitet.

- Anvend holdbare materialer for at undgå for hyppige reparationer og for at reducere trækket på virgine ressourcer.
- De materialer, der anvendes, bør kunne genanvendes eller genbruges, når facaden ikke længere skal bruges. Her er det centralt – så vidt muligt - at undgå farlige kemikalier, da en kontaminering af materialerne kan betyde, at de ved endt levetid må forbrændes eller

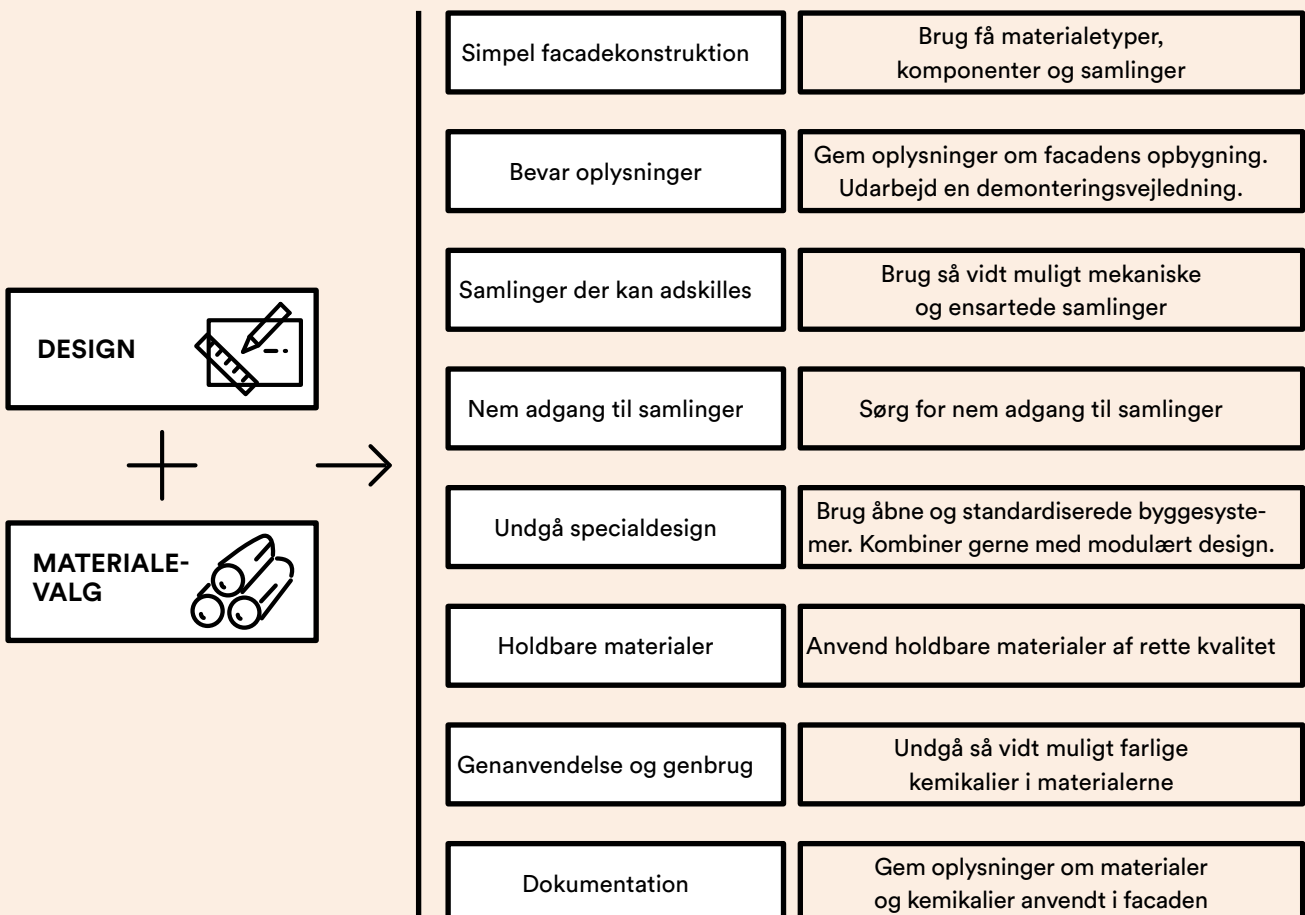
deponeres. Der kan dog være behov for en afvejning mellem på den ene side behovet for holdbare materialer og på den anden side ønsket om at undgå farlige kemikalier.

- Det bør dokumenteres, hvilke typer materialer og kemikalier, der er anvendt i facaden og oplysningerne bør gemmes for at sikre en optimeret affaldsbehandling, når facaden ikke længere skal bruges. Det skal sikre, at evt. farligt affald fjernes og håndteres miljømæssigt korrekt, mens rene materialer kan holdes i ressourcekredsløbet.

- Elementer, der ikke kan skilles ad, bør være af samme materiale, så de kan undergå den samme affaldsbehandling.

- Materialeanvendelsen bør optimeres, så der kun anvendes de materialer, der er behov for.

- Anvend genanvendte eller genbrugte affaldsmaterialer, eller bi-produkter/reststrømme, der ikke allerede i dag anvendes til et nyttigt formål.



1: MATERIALEBESPARELSER

Facaden er en trærammekonstruktion med et styrke/vægt-forhold afstemt efter den konkrete anvendelse.. Denne konstruktion har et mindre materialeforbrug sammenlignet med en massiv træskonstruktion.

2: TRÆBASERET ISOLERING

Isoleringsmaterialet er en træfiberisolering. Træ er en fornybar ressource og ved at vælge materialer af træ, reduceres forbruget af mere knappe ressourcer.

3: REGNSKÆRM

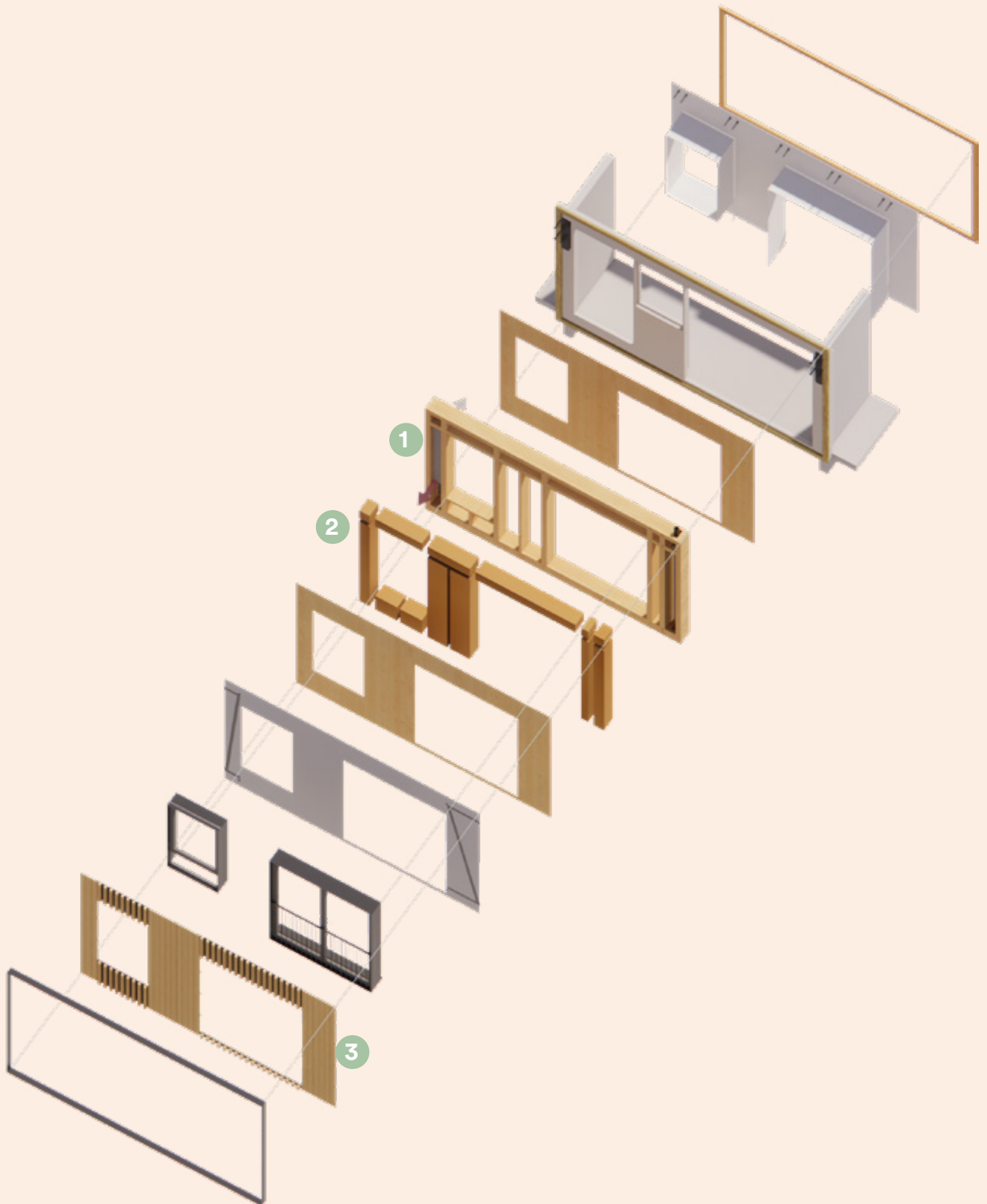
Der er forskellige valgmuligheder for facadebeklædningen. Det kan være brandimprægneret træ, stål eller fibercementplader. Efter demontering kan træet genbruges 1:1 eller bruges til energiproduktion i forbrændning. Fibercement har en meget lang levetid og kræver minimal vedligeholdelse. Stål er også meget holdbart og kan godt genbruges.

MODULARITET

Facaderne fremstilles som standardiserede modulære elementer. Det vil gøre den efterfølgende vedligeholdelse lettere og muliggør, at elementerne kan bygges sammen igen.

SAMLINGER

Der anvendes samlinger, der sikrer, at facadens elementer kan skilles ad. På den måde bliver det lettere at renovere og håndtere facaden, når den ikke skal bruges mere.







TILGANG

TILGANG

Facadesystemet i REBUS er udviklet til at sætte gang i fremtidens bæredygtige omstilling gennem en forøgelse af renoveringstakten. Det gælder således basis facaden, men i særdeleshed også for den cirkulære option.

Udgangspunktet for facadeudviklingen i REBUS er en ændret proces tilgang og et facadesystem der understøtter denne ændring. Foruden procesoptimeringer udfordrer REBUS Cirkulær ligeledes selve facadeelementets opbygningen i form af materialevalg og design. REBUS Cirkulær adskiller sig fra basis facaden ved at jage en mere bæredygtig brug af ressourcer, design for disassembly, genbrug og genanvendelse.

REBUS Cirkulær har således til formål at opnå en reduktion af CO₂ udledning på tre fronter:

1. Renovering frem for nybyg reducerer materialeforbrug og behov for affaldshåndtering dramatisk.
2. Materialer med en signifikant lavere CO₂ aftryk sammensat så størst mulig genbrug og genanvendelse gøres muligt
3. Optimeret performance som reducerer energibehovet til drift og derfor CO₂ udledningen

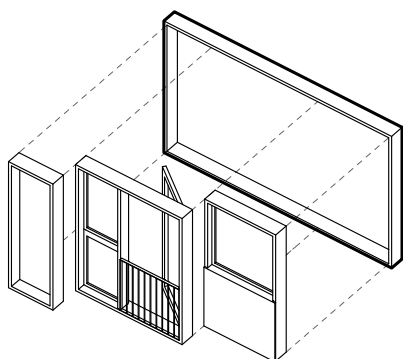
Foruden optimeret energipræstation skabes der som for basis facaden, også grundlag for bedre indeklima og funktionalitet. Det spænder fra bedre dagslysforhold, luftkvalitet og reduktion af støjgener til altaner, siddenicher og adgang til terræn. Alt sammen for at skabe en forbedring af beboernes livskvalitet.

REBUS facadesystemets systematik gælder også for den cirkulære facade. Således gælder den

modulære tilgang til opbygningen fortsat og samme anvendelsesområde er dækket. Den cirkulære option spænder også mellem bærende tværvægge og kan monteres uden på en eksisterende facade, men det er ikke et krav. Spændvidder fra 2,4 m til 5,4 m kan håndteres med REBUS Cirkulær. Der benyttes samme montagebeslag, dog med mindre justeringer omkring fastgørelse til selve elementet.

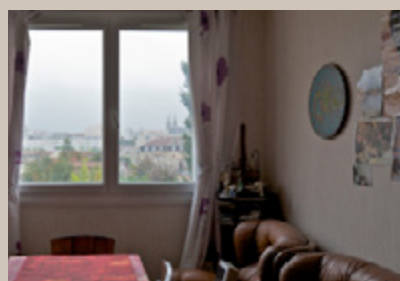
Også det cirkulære facadeelement leveres som udgangspunkt med integreret friskluftindtag med forvarmning og løsningen benytter sig af centralt afkast over tag gennem eksisterende aftrækskanaler.

De udviklede designforslag gælder ligeledes for REBUS Cirkulær (se i øvrigt afsnittet 'Designoptioner').

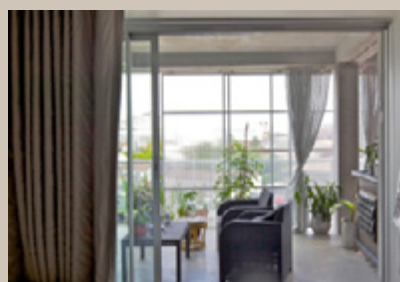
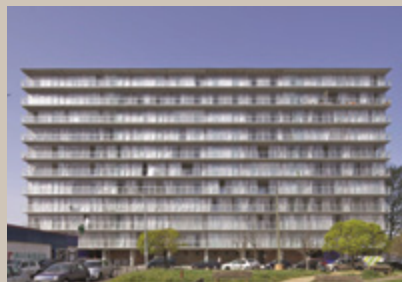


...læs mere i Facadeudvikling

FØR RENOVERING

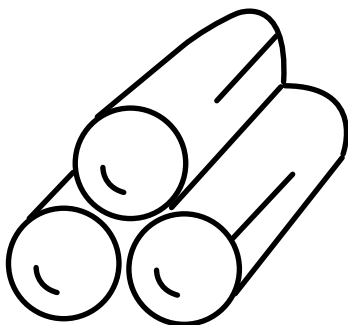


EFTER RENOVERING



KONSTRUKTION

Der findes forskellige byggesystemer for trækonstruktioner. For REBUS Cirkulær gælder det om at finde det ideelle system i forhold til forskellige parametre som bæreevne, vægt, økonomi, egnethed for præfabrikation, CO₂ belastning for hele systemets levetid, potentiale for design for adskillelse, genbrugs og genanvendelsespotentiale og mange andre.



UDVALGT SYSTEM FOR REBUS CIRKULÆR



MASSIVTRÆ (CLT)

- + gennemgående bæring
- + fleksibelt

- højt materialeforbrug og derfor risiko for mere spild
- øget konstruktionstykkelser
- øget vægt



TRÆRAMME

- + god termisk isolering
- + reduceret vægt
- + høj fleksibilitet i placering af vinduer

- kræver ekstra bjælker ved store spændvidder
- mere kompliceret opbygning end CLT



I-BJÆLKE

- + meget god termisk isolering
- + reduceret vægt

- kræver ekstra bjælker ved store spændvidder
- øget kompleksitet i opbygning og samlinger
- ikke så udbredt som CLT og trærammekonstruktioner

KOMPLEKSITET

MATERIALEFORBRUG / VÆGT

UNDERSØGTE SYSTEMER

Der er blevet undersøgt tre forskellige træsystemer for REBUS Cirkulær. Alle tre konstruktioner kan præfabrikeres.

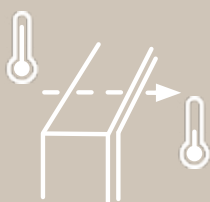
Massivtræ i form af CLT er ret udbredt og har en høj bæreevne som blandt andet beror på en god skivevirkning. Det kan resultere i lavere fleksibilitet iht. hultagning og da REBUS facaden udelukkende er selvbærende og ikke bidrager til bygningens statiske system er det

ikke optimalt at anvende et forholdsvis tungt system som CLT.

Trærammesystemet betyder en lidt mere kompleks opbygning, men giver fordele indenfor vægt og konstruktionstykkelser og er derfor en god løsning til ydervægge og facader. Hulrummet mellem trærammen er fyldt med isoleringsmateriale og træforbruget er mindre end for CLT systemet.

I-bjælker kan sammenlignes med trærammesystemet med reduceret vægt, men også reduceret stabilitet. Systemet reducerer materialeforbruget og forbedrer den termiske isolering yderligere, men kan resultere i komplekse samlinger. Systemet er ikke meget udbredt i Danmark.

En trærammekonstruktion er den bedste løsning for REBUS Cirkulær. Det optimale valg mellem lav vægt og tilstrækkelig styrke, reducere af kuldebroer og enkelthed af systemet for præfabrikering med høj fleksibilitet iht. konfigurering.



REDUCERING AF KULDEBROER

Kassetterne af en trærammekonstruktion er fyldt med isolering, som reducerer kuldebroerne. Træ i sig selv har en relativt lav varmeledning, som gør at trækonstruktionen resulterer i et lavere varmetab sammenlignet med både beton og stål. Alle gennemgående konstruktioner og forbindelser skal i videst muligt omfang undgås. Det gælder specielt elementer i stål omkring samlinger.



LAV VÆGT VED GOD BÆREEVNE

Træ er et let byggemateriale, sammenlignet med beton og stål. I forhold til vægten er træ et af de stærkeste byggematerialer og derfor optimalt for en let facadekonstruktion. Det reducerer også størrelsen af de nødvendige beslag og giver en mere effektiv transport af facadeelementerne. En trærammekonstruktion optimerer materialeforbrug, sådan at man kun har træ der, hvor man har behov for dets bæreevne. Det reducerer materialeforbruget og vægt sammenlignet med en massiv konstruktion som fx CLT.



PRÆFABRIKERING

REBUS systemet er designet med præfabrikation for øje for at opnå højest mulig kvalitet og præcision i produktionen med mindst mulig spild. Simple samlinger efter samme princip resulterer i nem og hurtig udførelse.

De lette præfabrikerede elementer produceret på fabrik kan transporteres mange pr. lastbil og monteres direkte med lift uden behov for byggeplads.



TRÆRAMMESYSTEM I REBUS CIRKULÆR

Trærammekonstruktionen giver stor fleksibilitet og er tilpasningsdygtig ved forskellige spændvidder, ønsker til isoleringstykkelse samt vinduestyper og -størrelser. Dermed passer systemet godt til konfigureringsmuligheden.

Konstruktionen har en forstærket ramme i elementets periferi for at sikre effektiv lastoverførsel. OSB plader på begge sider af rammen stabiliserer elementet og giver skivevirkning. Trærammen gør, at montagebeslagene nemt kan fastgøres i selve elementet.

MATERIALEVALG

Der er blevet undersøgt, hvilke materialer der er hensigtsmæssige for REBUS Cirkulær ud fra overvejelser omkring bæredygtighed, cirkularitet, æstetik, teknisk egnethed mv.

De følgende sider giver en oversigt over de forskellige materialer der er blevet udvalgt baseret på den ønskede funktionalitet.

REBUS Cirkulær består af en grundkonstruktion der kombineres med en række designoptioner. Grundkonstruktionen er defineret af trærammen og er fleksibel iht. vindueskonfiguration (størrelse, type og placering). Grundkonstruktionen er ens på tværs af alle cirkulære facadeelementer. Designoptionerne dækker forskellige klimaskærmsløsninger og andre tilvalg.



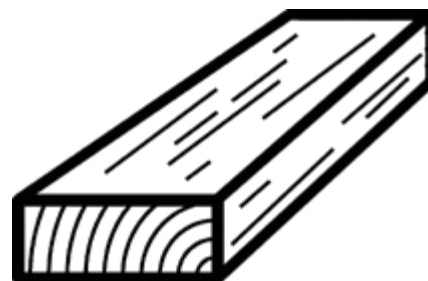
Rammekonstruktion

Træ har et lavt CO₂-aftryk sammenlignet med konventionelle byggematerialer som beton. Træ er desuden det eneste konstruktionsmateriale, som lagrer CO₂, pga. det CO₂-optag der finder sted i løbet af træets vækst. Det biogene kulstof, som træer optager, mens de vokser, er fjernet fra atmosfæren, og dermed indgår det i LCA med et negativt fortegn. Når træet nedbrydes, fx i forbindelse med forbrænding, udledes en tilsvarende mængde CO₂ igen, hvilket gør, at den endelige balance bliver 0.

Det er ikke nødvendigt at imprægnerer konstrukstræet, fordi facadeelementet er opbygget sådan, at det er beskyttet og dermed har en næsten ubegrænset levetid.

Rammen i REBUS Cirkulær er lavet af heltræ uden klæbstoffer og nogen form for speciel bearbejdning. For at øge den statiske kapacitet, kan der også anvendes limet træ. Det er bjælker, som består af 2 eller 3 sammenlimede lameller og skal ikke forvæksles med limtræ (glulam), som består af mange flere, tyndere lameller. Fordelen af limet træ er en bedre udnyttelse af materialet og forbedrede egenskaber i styrke og stabilitet.

Konstruktionsmæssigt kunne begge materialer komme til anvendelse, men det er valgt at anvende heltræ da det kan dække anvendelsesområdet inden for REBUS. Desuden indeholder det ikke noget lim, som gør genbrug nemmere og mere miljøvenligt.



HELTRÆ

Dimension af overordnet træramme:
95 × 195 mm

Mindre udvekslinger ved vinduerne:
45 × 195 mm

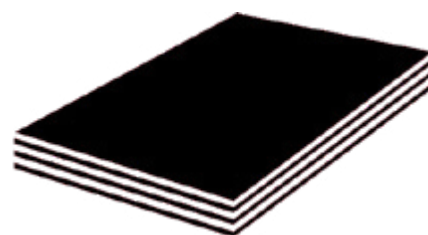
Stabilitet

Oriented strand board, eller OSB, er en konstruktionsplade af store træspån limet og presset til en plade. OSB har gode statiske egenskaber og er velegnet til afstivning af trærammen. En 12 mm OSB/3 plade på begge sider af trærammen stabiliserer og medvirker til at optage egenvægt, deformation og vindlaster på facaden.

Det er dimensioneret som en skruet samling for at undgå limede samlinger. Det er bedre for cirkularitet, fordi en limet plade er svær at demontere og dermed at genbruge eller genanvende. Pladen kan demonteres og genbruges eller genanvendes.

OSB/3 er statisk stærkere end fx krydsfinér eller spånplader, som derfor er blevet fravalgt. OSB er mere diffusionstæt end fx spånplader, fordi pladerne indeholder en højere andel lim, som spærrer for fugttransporten. Derfor bliver OSB-pladen kombineret med en dampspærre så der ikke opstår skimmelvækst. Der vælges en fugtresistent OSB, så der ikke opstår fugtproblemer ved den yderste plade hvor den kombineres med en fiberce-mentplade.

Fleksibel hultagning ifbm. vinduer og friskluftsindtag er mulig da skivevirkningen er vigtigst i top og bundbjælken.



OBS

12 mm OSB/3 på begge sider af trærammen. Pladerne er skruet fast

Dampspærre

Som nævnt vil OSB-pladerne være relativt damptætte. Derfor anvendes der en dampspærre på indersiden af det cirkulære facadeelement for at kontrollere dugpunktet og minimere risiko for skimmelvækst.

Dampspærren monteres på inderste OSB-plade for at sikre en lettere udførelse og bedre kvalitets-sikring. Dampspærren beskyttes mod skader ifbm. transport og montage.



DAMPSPÆRRE

Tommen gram 0,20 mm dampspærre

Termisk Isolering

Forskellige isoleringsmateriale er blevet undersøgt for REBUS Cirkulær. Evalueringen omfatter materialets fremstilling (råmaterialer, energi og CO₂), affaldsbehandling, genbrug, indhold af stoffer belastende for miljø eller mennesker, isoleringsegenskaber, brandmodstand, vægt, fugt og modstandsdygtighed over for råd mv.

Isoleringsmaterialer typisk brugt i facadesystemer er uorganiske så som glas- og stenuld. Organiske og biobaserede alternativer vil typisk bestå af naturlige fibre baseret på træ, planter eller dyr. Fordele med mineraluld er en højere brandklassifikation. Uorganiske materialer kan have en højere bestandighed over for fugt, mens organiske i en del tilfælde har demonstreret en øget evne til at regulere fugtindholdet (optage/ afgive) til gavn for indeklimaet.

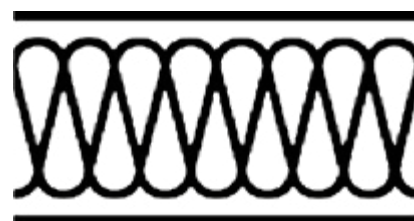
Netop træfiberisolering har gode fugtregulerende egenskaber. Samtidig betyder dens relativt høje densitet også øget termisk masse hvilket har en

positiv indvirkning på det termiske indeklima. Det kan eksempelvis betyde mindsket risiko for overophedning.

Træfiberbaserede produkter inddeles normalt i to kategorier: papiruld og træfiberisolering. Begge produkttyper har isoleringsevner, der er sammenlignelige med traditionelle isoleringsmaterialer, men med en betydelig reduktion i CO₂ udledningen.

For REBUS Cirkulær vælges det en indblæst træfiberisolering. Den indblæste isolering er godkendt i brandklassen der kræves for facaden, men det er vigtigt at sikre densiteten ved indblæsningen svarer til producentens anvisninger.

Hvis der vælges at montere REBUS Cirkulær uden på den eksisterende facade, indføres gennemgående brandstop i mineraluld både vertikalt og horisontalt. Disse placeres i hulrummet mellem ny og eksisterende facade, ud for elementstød/samlingen mellem elementerne.



TRÆFIBER

195 mm indblæst træfiberisolering
"Woodfiber AIR"

Vindspærre

For REBUS Cirkulær har vindspærren to formål. Som sædvanlig skal den beskytte konstruktionen mod vejrlig, men den skal også beskytte den bagvedliggende OSB-plade og træfiberisolering som er brændbare. Derfor kræves det at vindspærren er ubrændbar.

Da en membran ikke vil kunne brandbeskytte de bagvedliggende lag, vælges en fast cementfiberplade som vindspærre. Den opfylder både brandkrav og modstandsdygtigheden over for vejrlig. Da denne plade har en relativt høj damptæthed vælges der som nævnt en fugtresistent version af bagvedliggende OSB-plade.

En imprægneret træfiberplade som også giver ekstra termisk isolering, er blevet undersøgt, men den opfylder ikke brandkravene. Desuden er en metalplade undersøgt da den, som OSB-pladen, samtidig vil kunne løse den statiske stabilitet. Dog er metalpladen så damptæt at den vil øge risikoen for fugtoghobning.

Fibercementpladen i kombination med OSB-pladen, dækker de ønskede funktionskrav ved den laveste CO₂ belastning sammenlignet med de undersøgte alternativer.



VINDSPÆRRE

9 mm Cembrit cementfiberplade

Designoptioner

Facadesystemet i REBUS bygger på en konfigurationstanke. Det betyder stor valgfrihed i forbindelse med eksempelvis vinduesstørrelse og -type, men giver også mulighed for valg af facademateriale.

Specifikt omkring facadebeklædning beskriver nedenstående valgmulighederne for REBUS Cirkulær. Sammenlignet med basisfacaden, er muligheden for zinkbeklædning fravalgt. Det skyldes dels CO₂

belastningen forbundet med zink som materiale, dels den potentielle udfordring omkring regnvandshåndtering grundet udvaskning af tungmetaller.

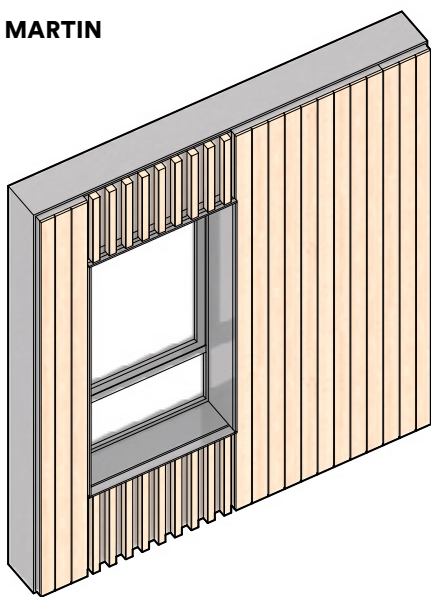
DET SAMLEDE OVERBLIK

Overordnet tilbyder REBUS Cirkulær de samme valgmuligheder som det er tilfældet for basisfacaden. Således er den samlede palette beskrevet i publikationen 'Facadeudvikling'. Facadematerialerne vurderes ud fra

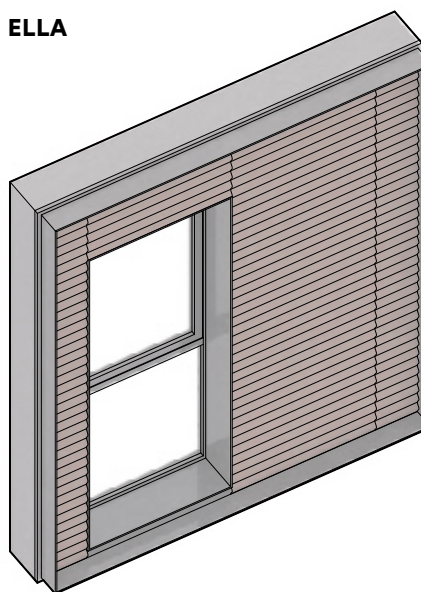
æstetik, levetid, vedligehold, brandsikkerhed, CO₂ (råmateriale, energiforbrug til fremstilling, transport osv.), genbrug og affaldshåndtering mv.

Som eksempel er en stål regnskærm forbundet med en miljøbelastning på 35,7 kg CO₂/m² inkl. både produktion, montering, brugsfase og affaldshåndtering. En regnskærm i cementfiberplade giver til gengæld en samlet miljøbelastning på 32 kg CO₂/m², mens en i træ giver 29,6 kg

MARTIN



ELLA



TRÆ

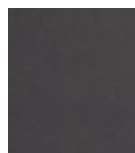


Superwood
SW01 Aart
Profil
Sand



Superwood
SW08 Stolper
45mm x 45mm
Sand

FIBERCEMENT



Cembrit fiber-
cement
Patina Original
P 050 / Grafit

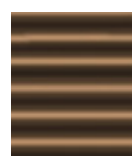
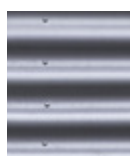
STÅL



Ruukki SIN 18/
Plannja forbe-
handlet
Min. korrosions-
klasse C3
IGP pulver-
larkering



Stålramme
Ubehandlet sort



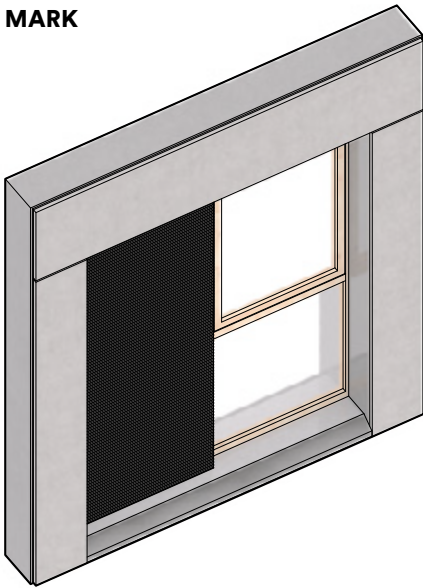
Alternative plader mht. overflade og profilering kan benyttes.



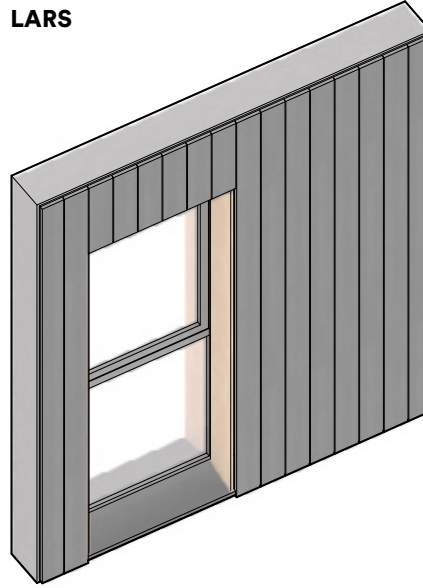
...læs mere i Facadeudvikling

CO₂/m². For regnskærmen i træ er der desuden regnet med, at træet kan genanvendes i spånpladeproduktion i stedet for at det forbrændes, hvilket giver en yderligere reduktion i udledningen af CO₂ (GWP belastning).

MARK



LARS



EQUITONE + CEMBRIT



Cembrit fiber-cement
Patina Inline
P 050 / Grafit

Cembrit fiber-cement Patina
Rough
P 020 / Granit

SORT TRÆ



SUPERWOOD
SW18 Skygge
Profil
Kul

SUPERWOOD
SW18 Skygge
Profil
Sort

SUPERWOOD
SW08 Stolper
45x45 + 35x35
Sort / Kul



Cembrit fiber-cement
Patina Original
P 050 / Grafit

DESIGN FOR DISASSEMBLY

Centralt for Design for Disassembly (DfD) eller design for adskillelse, er et øget fokus på materialer. Det er mere end blot en teknisk disciplin, men en metode, der fokuserer på materialernes levetid, miljøpåvirkning og indvirkning på menneskers sundhed i forhold til, ud fra en stiltingtagen til hvordan de indgår i vores byggeri.

I modsætning til en mere traditionel designproces drejer DfD sig om at designe til hvad der sker i løbet af og efter bygningens levetid, frem for kun at se på den indledende konstruktion og byggeproces. Ideen er, at bygninger designet til adskillelse bedre kan tilpasse sig skiftende funktionelle krav i løbet af deres levetid. Dette reducerer affaldsproduktionen mens bygningen er i drift og efter endt levetid og muliggør bedre genbrug/-anvendelse på

grund af ikke-destruktiv adskillelse. Ved at sikre bedre genbrug/-anvendelse mindses behovet for nye materialer.

Som beskrevet i afsnittet 'Cirkularitet', handler det om to ting: design og materialevalg. I arbejdet med REBUS Cirkulær er dette operationaliseret yderligere til to designdogmer:

Samplingsdetaljer - simple og intuitive samlinger som ikke resulterer i destruktiv adskillelse

Materialevalg – få, sunde materialer med lav miljømæssig påvirkning og mindst mulig træk på virgine ressourcer

Det første sikrer, at bygningen kan skilles ad, det andet et bevidst valg af bæredygtige byggematerialer.

NIVEAU FOR ADSKILLELSE

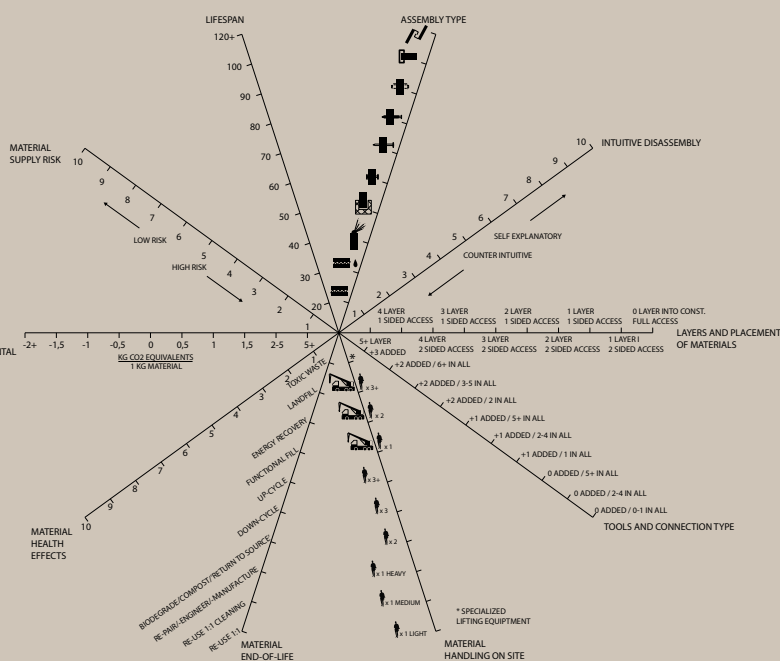
Potentialet for adskillelse, eller graden af reversibilitet, kan vurderes på tre niveauer⁷:

- Bygning
- System
- Komponent

På tværs af niveauerne er der to indikatorer for adskillelse eller reversibilitet:

Uafhængighed - Omhandler funktionalitet. At en funktion, som eksempelvis regnskærmen, kan ændres eller demonteres uden andre funktioner påvirkes.

Udskiftelighed - De enkelte komponenters tekniske og fysiske uafhængighed. Hvorvidt de kan demonteres uden skade på tilstødende komponenter.



SAMLING

- Samlingstype
- Intuitive adskillelse
- Adgang og placering
- Værktøj og ensartethed
- Håndtering

MATERIALE

- levetid
- tilgængelighed/omfang af virgine materialer
- Miljømæssig påvirkning
- Sundhedsmæssig påvirkning
- Potentiale for genbrug og genanvendelse⁶



LIM/FUGE
IKKE-OPLØSELIG



1

LIM/FUGE -
VANDOPLØSELIG



2

INDSTØBT



3

SVEJST



4

NITTET



5

SØMMET



6

SKRUET



7

BOLTET



8

FRIKTION



9

KLIK-SAMLING
QUICK RELEASE



10

POTENTIALE FOR ADSKILLELSE
Lav

Høj

Løsninger

BYGNINGSNIVEAU

I REBUS Cirkulær finder man alle tre niveauer for teknisk nedbrydning. På bygningsniveauet er hele facadeelementet, der fungerer som uafhængig enhed. De enkelte facadeelementerne fungerer konstruktivt som selvstændige enheder der nemt kan monteres og demonteres ved hjælp af et specialudviklet beslag, uden at tilstødende elementer behøver påvirkes.

SYSTEMNIVEAU

På systemniveauet er facaden designet således, at vedligehold er minimeret. Det er for eksempel gennem udelukkende at tilbyde bygherre få holdbare materialer og overfladebehandlinger, som ikke kræver meget vedligehold. Antallet af forskellige løsninger og materialer er reduceret, for at systematisere facaden så vidt som muligt. Mindre variation bidrager til bedre udskiftelighed af dele eller hele elementer og øger chancen for genbrug.

Bygherre får en servicebog der beskriver nøjagtigt, hvordan facaden skal vedligeholdes for at sikre længst mulig levetid. De tekniske installationer, som friskluftindtag og installationskassen, er tilgængelige gennem inspektionslemme i beklædningen. Det sikrer uafhængighed og udskiftelighed.

KOMPONENTNIVEAU

På komponentniveauet er der fokuseret på materialerne og samlingerne. Materialerne er bl.a. udvalgt efter deres levetid og hele facaden bliver afstemt sådan at levetiderne spiller sammen og et enkelt materiale ikke begrænser levetiden af elementet som helhed. Det er fx konstruktionstræet som er beskyttet for fugtskader, sådan at den holder så længe som muligt.

Materialer og samlinger er konfigureret således at alle mål bliver opfyldt uafhængigt af valget af udformning og add-ons på facaden. Hvis den bestemte kombination ikke opfylder kravene, så vises det som ikke-konfigurerbar kombination.

Størstedelen af samlingerne er direkte reversible, som fx beklædningen, der nemt kan erstattes som helhed hvis nødvendigt eller kun delvist. Samlingerne er ensartede således adskillelsen kan foretages hurtigt og med den samme type værktøj. Der er let og intuitiv adgang til samlingerne.

Således er der på alle niveauer og gennem hele designet opnået såvel funktionsmæssig afhængighed og teknisk udskiftelighed for REBUS Cirkulær.

1: OSB-PLADE

Pladematerialerne er skruet og kan derfor let adskilles og genbruges.

2: BESLAG

Specialdesignet montagebeslag gør det muligt at fjerne et helt element uafhængigt af tilstødende elementer.

3. INDSPEKTIONSLEMME

Regnskærmen har integrerede inspektionslemme som gør adgang til både ventilation og føringsrør nem.

4: REGNSKÆRM

Enkle dele kan tages ned og erstattes uden at påvirke regnskærmens samlede funktionalitet.

5: VINDSPÆRRE

Cementfiberpladen er meget modstandsdygtig og beskytter det bagvedliggende træ. Kan nemt demonteres.

6: FORSKALLING

Træforskalling med indbygget profil til ventilation af hulrummet gør det muligt at udskifte hele eller dele af regnskærmen.

7: VINDUER

Kan nemt demonteres uden påvirkning af tilstødende komponenter og overordnet tæthed.







OPBYGNING

OPBYGNING

Den cirkulære facade er bygget op modulært efter REBUS-systemet. Facadeelementerne tilpasser sig de forskellige modulstørrelser for de eksisterende bygninger og inkorporerer muligheden for tilvalg af større vinduer, fransk altan mv.

REBUS basis

Rammekonstruktion af tyndpladeprofiler

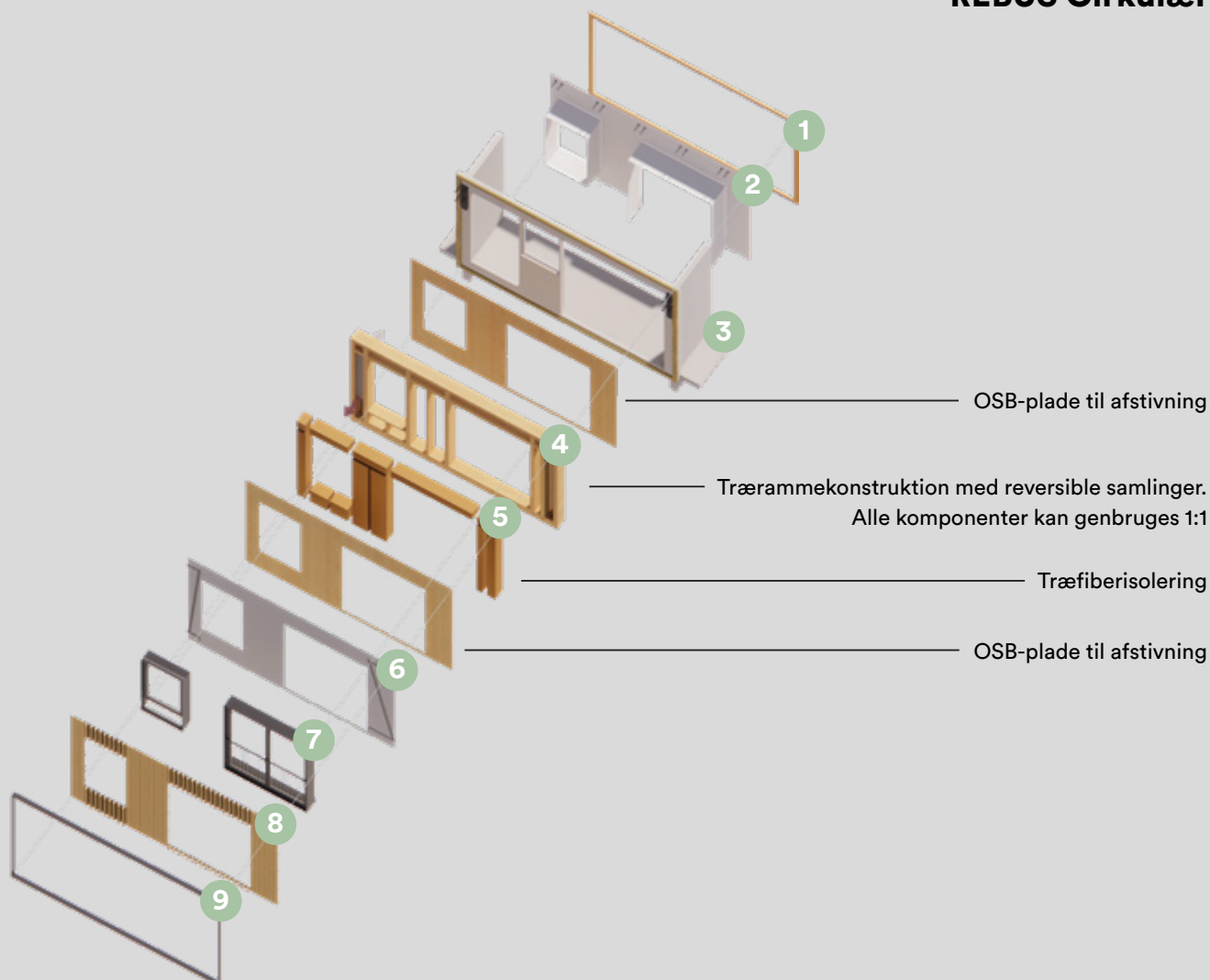
Uorganisk mineraluldsisolering

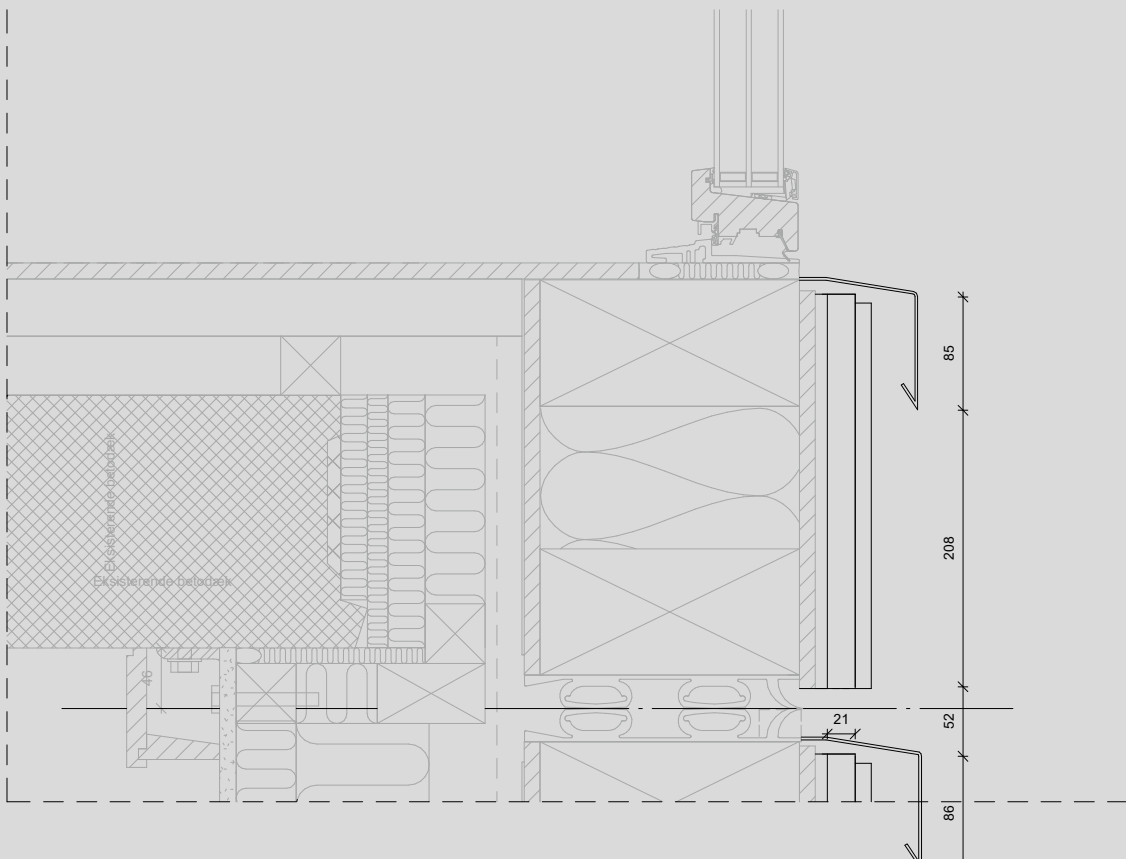
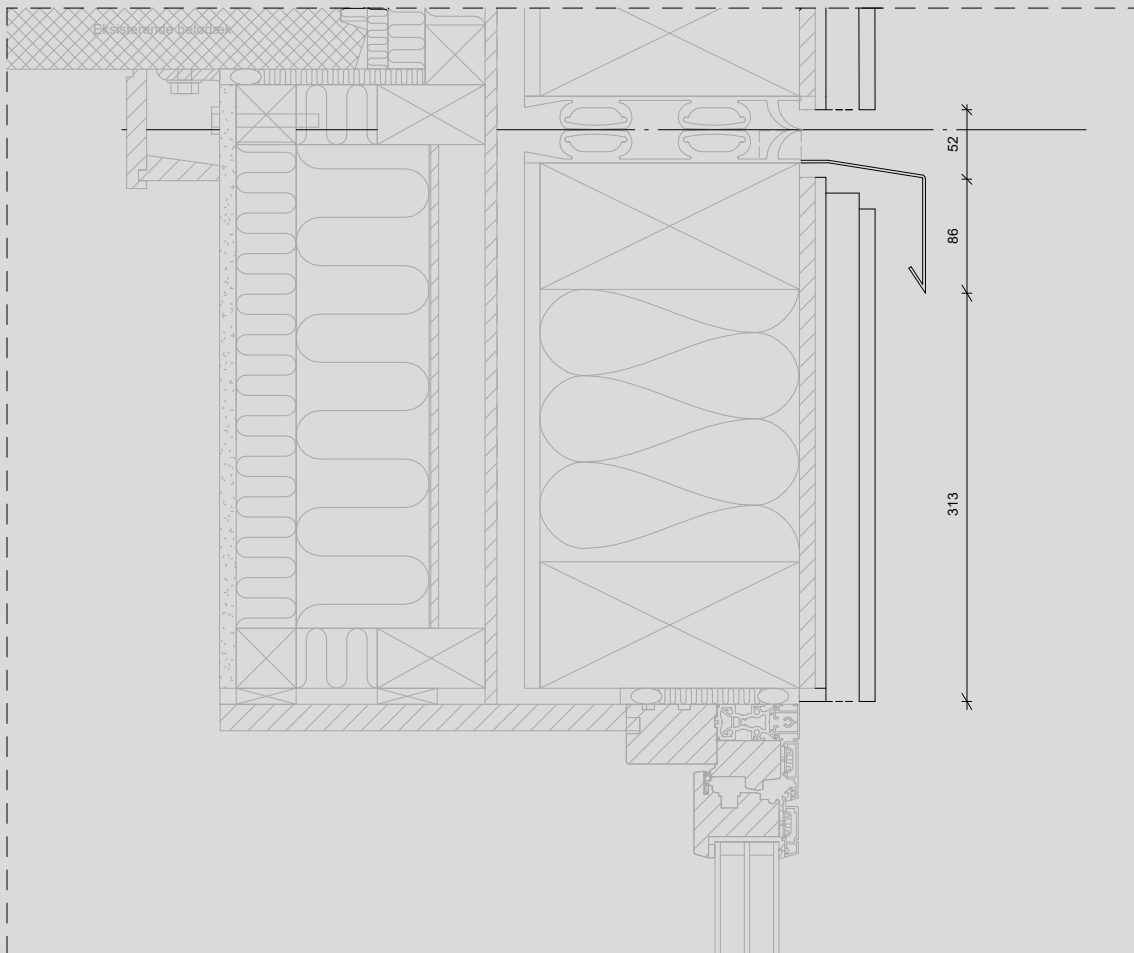


...læs mere i **Facadeudvikling**

- | | | |
|--|--|--|
| 1 Koblingsramme m. skyggenot | 4 Konstruktion | 7 Valgte vindueskonfiguration |
| 2 Indvendig afpøtning | 5 Isoleringslag med ventilation og føringsrør | 8 Valgte facadebeklædning med vent. hulrum |
| 3 Eksisterende konstruktion med specialudviklet montagebeslag | 6 Vindspærre med adgangsløse til ventilation | 9 Afvandingsprofil rundt om hele elementet. Bruges som skyggenot i visse designforslag. |

REBUS Cirkulær

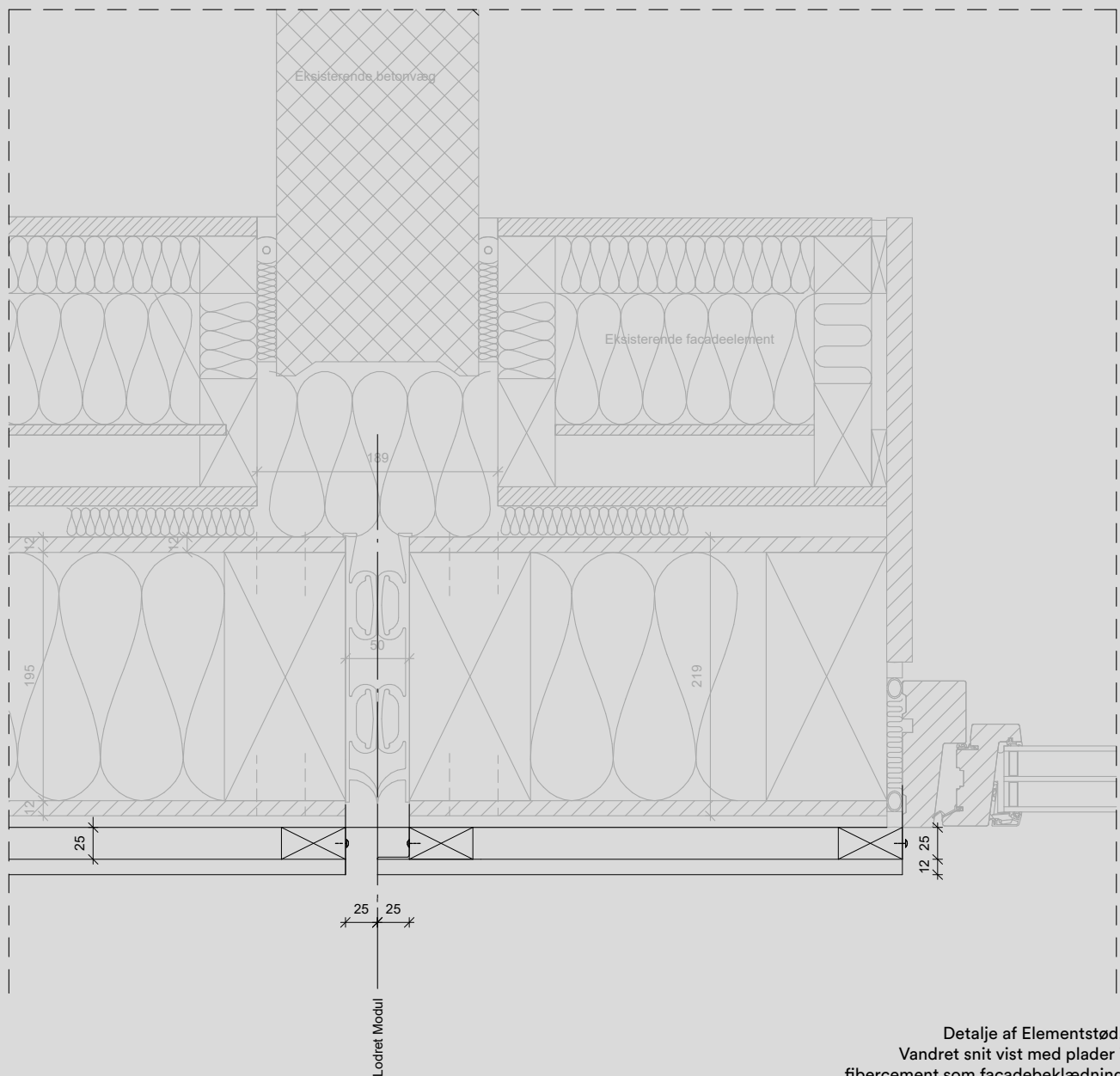




Lodret snit.
Her vist med plader i fibercement som
facadebeklædning

Opbygning

Eksisterende væg
Dampspærre
12 mm OSB plade
195 mm træskellet med træfiberisolering indblæst
12 mm OSB plade fugtresistent
9 mm Cembritplade
25 mm forskalling inkl. ventilationsprofil
Regnskærm



SAMLINGER

Der er udviklet nogle specielle beslag til nem og hurtig montage af REBUS elementerne. Beslaggerne bliver fæstet i de fire hjørne af elementet og modstykket fæstes i den eksisterende betonkonstruktion. Når elementerne installeres, skal de kun hægtes på og sikres. Det giver en hurtig og sikker proces som er muligt fra en mobil arbejdsplatform.

Elementerne bliver tættest mod vind og vand af gummimembran, som anvendes rundt alle elementer.

ELEMENTSTØD

Elementsamlingerne er udformet med et EPDM-gummimembran rundt om hele elementet. Overlapping garanterer en tæt samling.

DESIGN FOR DISASSEMBLY

Elementerne og samlingen er

udformet sådan at det er nemt at erstatte dele og hele facaden til et senere tidspunkt. Det opnås fx med skrueforbindelser i stedet for lim.

TRANSPORT

Overlappingen er udformet sådan at ingen dele kommer til skade under håndtering og transport. For eksempel er intet materiale som kunne knække af når elementet håndteres, eksponeret. Hvor nødvendigt monteres der tømmer midlertidigt for transport.

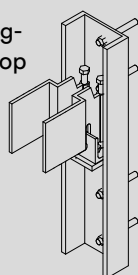
MONTAGE

Elementerne skal monteres fra nederst til venstre op til det højre hjørne på toppen, for at samle det nemmest. Det er alligevel muligt at erstatte dele eller elementer fra midten senere, uden at demontere alle andre elementer.

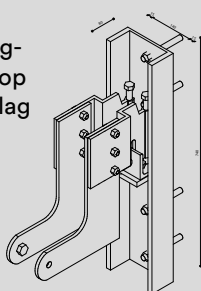
Opbygning

Eksisterende væg
Dampspærre
12 mm OSB plade
195 mm træskellet med
træfiberisolering
12 mm OSB plade
9 mm Cembritplade
25 mm forskalling
Regnskærm

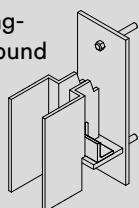
3D beslag-løsning top



3D beslag-løsning top med beslag til altan*



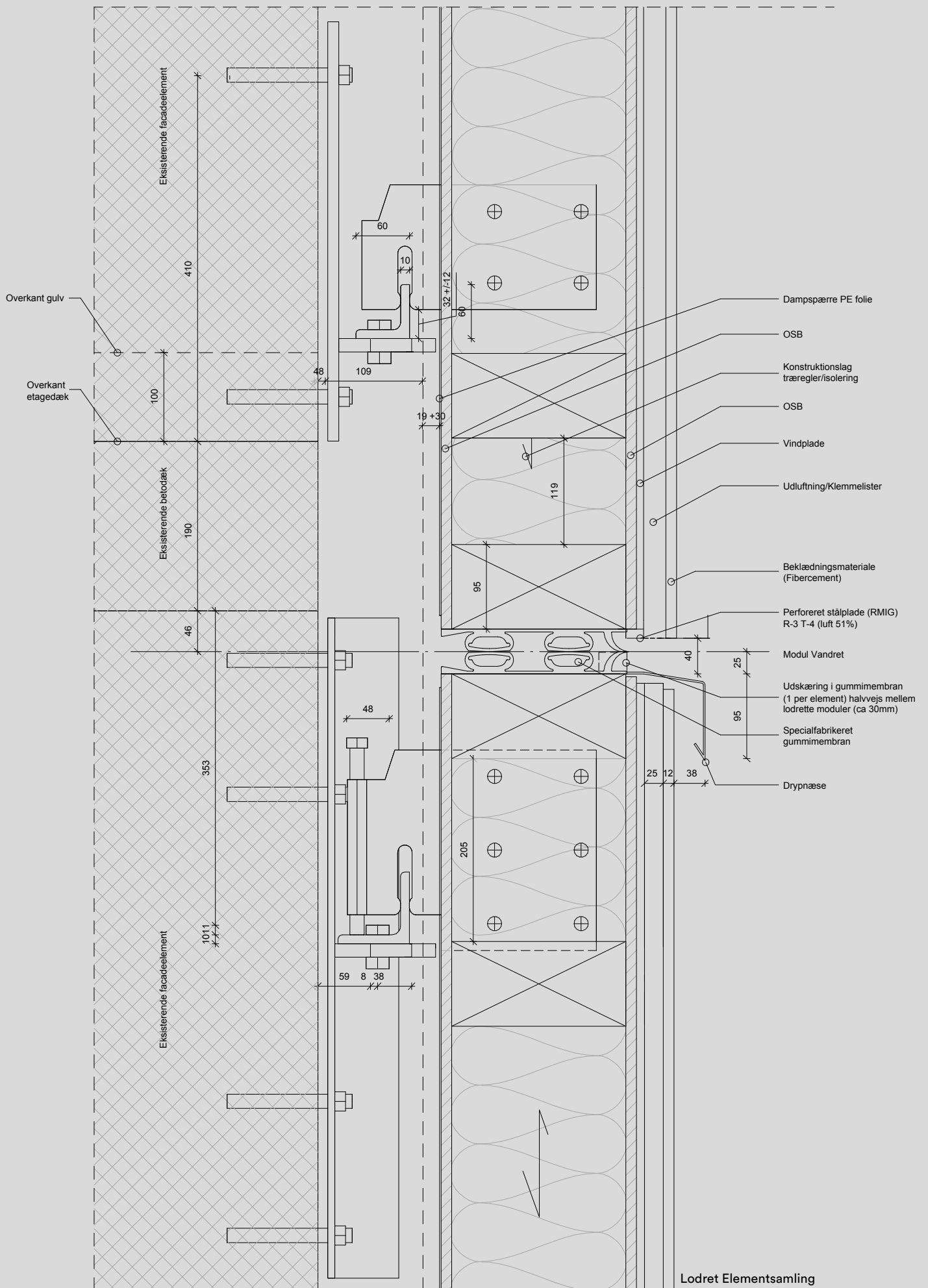
3D beslag-løsning bund



3D beslag-løsning bund med beslag til altan*



* Eksakt løsning for montage af altan kræver yderligere afklaring.



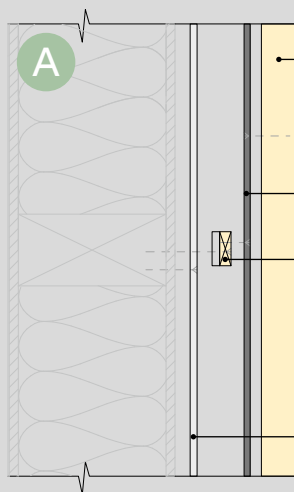
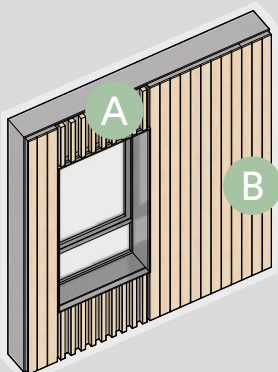
Facadebeklædning

Regnskærmen er opbygget og monteret efter principperne for design for adskillelse. Alle samlinger er tydelige og der bruges gennemgående samme fiksering (skruesamling). Det gør det let og intuitivt at adskille facadebeklædningen - fra regnskærm og ind til vindspærre-

pladen. Således kan alle bestanddele nemt fjernes og udskiftes i forbindelse med vedligehold eller ved endt levetid. Da alle samlinger er ikke-destruktiv forlænges facadeelementets funktionelle levetid og mulighed for genbrug optimeres. Af samme grund er der brugt ventilerede klemplister i

træ i stedet for hatprofiler i stål. Klemplisten i træ vil kunne opretholde tilstrækkelig udtrækningsstyrke efter demontering af udtjent regnskærm til at en ny kan monteres i samme underlag.

MARTIN



TRÆBEKLÆDNING

STOLPER 45X45MM. Stolper monteres på fiber-cementplade bagfra. Fiber-cement + stolper monteret i klemplisten i sektioner.

FIBERCEMENT 8MM

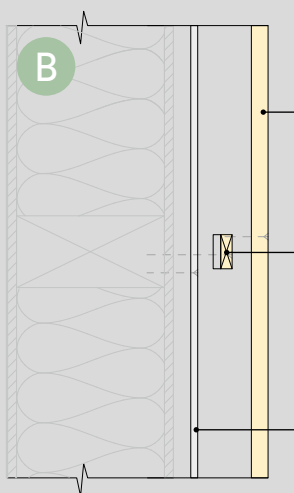
Skruet på ventilationsklemplisten

VENTILATIONSKLEMLISTE I TRÆ

Bygtjek Win ventilationsklemliste imprægneret 25x45mm, c/c 600mm. Skruet på trærammen igennem OSB og fiber-cement

FIBERCEMENT VINDSPÆRREPLADE 9MM

Skruet på trærammen igennem OSB



TRÆBEKLÆDNING LODRET PROFILERET

Superwood SW01 Aart Profil (3"/5"/6") sand
Skruet på ventilationsklemplisten

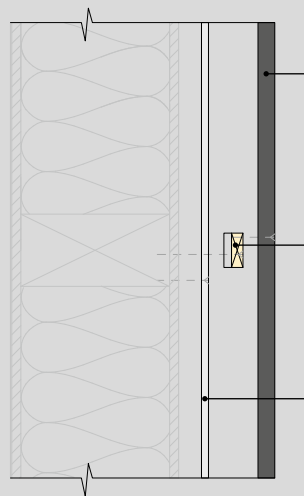
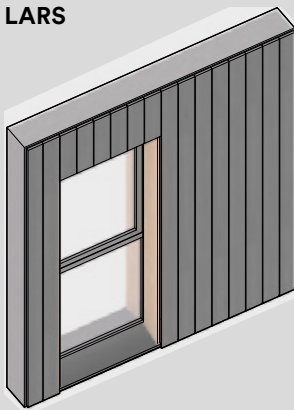
VENTILATIONSKLEMLISTE I TRÆ

Bygtjek Win ventilationsklemliste imprægneret 25x45mm, c/c 600mm
Skruet på trærammen igennem OSB og fiber-cement

FIBERCEMENT VINDSPÆRREPLADE 9MM

Skruet på trærammen igennem OSB

LARS

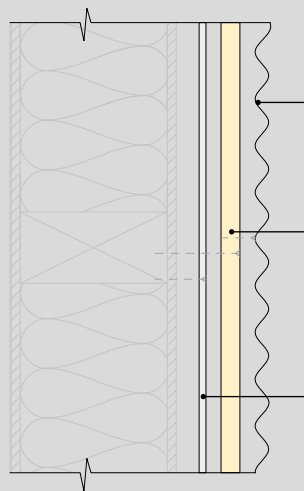
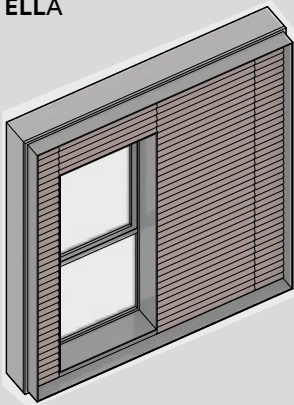


TRÆBEKLÆDNING LODRET PROFILERET
22mm profilbrædder
Skruet på ventilationsklemlisten

VENTILATIONSKLEMLISTE I TRÆ
Bygtjek Win ventilationsklemliste imprægneret
25×45mm, c/c 600mm. Skruet på trærammen
igennem OSB og fibercement

FIBERCEMENT VINDSPÆRREPLADE 9MM
Skruet på trærammen igennem OSB og
fibercement

ELLA

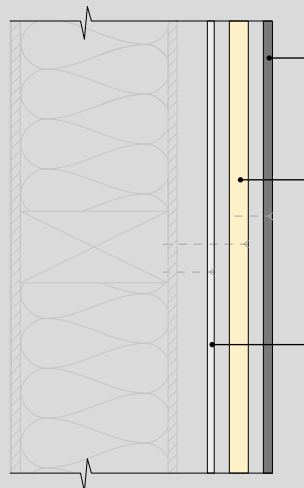
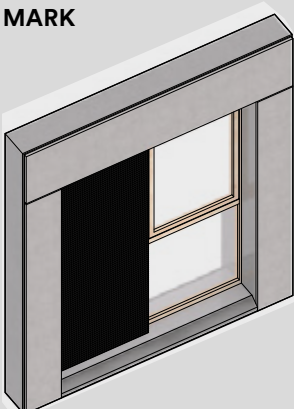


SINUSPLADE I STÅL
Stål sinusplade 0.6mm Ruukki Plannja Sinus 18
Skruet på forskallingen

TRÆFORSKALLING LODRET
Afstandsliste 25×45mm c/c 600mm
Skruet på trærammen igennem OSB og
fibercement

FIBERCEMENT VINDSPÆRREPLADE 9MM
Skruet på trærammen igennem OSB

MARK



FIBERCEMENT
Cembrit Patina Rough P020 / Granit 12mm
Skruet på forskallingen

TRÆFORSKALLING LODRET
Afstandsliste 25×45mm c/c 600mm
Skruet på trærammen igennem OSB og
fibercement

FIBERCEMENT VINDSPÆRREPLADE 9MM
Skruet på trærammen igennem OSB





PERFORMANCE

PERFORMANCE

Der er udført en række analyser og simuleringer for dels at bidrage til designudviklingen af REBUS Cirkulær, dels for at afklare dens performance.

Dette er klarlagt gennem en iterativ proces. Beskrivelser, analyser og resultater præsenteret her, illustrerer performance for den endelig opbygning og design inden for områderne brandsikkerhed, LCA, termisk isolering og fugt.



BRANDSIKKERHED

Input fra DBI.

PRÆSKRIPTIVE BRANDKRAV

Beskrivelse af brandsikkerhed tager udgangspunkt i de præ-accepterede brandtekniske løsninger som er defineret i vejledningerne til kapitel 5 "Brand" i BR18. Det er muligt, at bruge andre løsninger end de præ-accepterede såfremt det kan eftervises, at de brandmæssige funktionskrav i BR18, kap. 5 er opfyldt (en såkaldt funktionsbaseret dimensionering). Dette kan dog medføre, at byggeriet ændrer brandklasse.

Med de præskriptive løsninger kan facadeelementerne pga. anvendelsen af træfiberisolering ikke bruges i bygninger hvor afstanden fra terræn til gulv i øverste etage overstiger 22 m.

EKSISTERENDE BYGNING

Det kan ikke forudsættes, at en eksisterende bygning lever op til gældende regler for brandsikring af facader. Det bør derfor altid undersøges om der er brandtekniske udfordringer forbundet med at anvende REBUS facadeelementerne på en eksisterende bygning.

AFSTAND

Afstand fra en bygning til skel eller andre bygninger afhænger af de brandtekniske egenskaber for bygningens udvendige overflader (facade og tag).

ISOLERINGSMATERIALER

Der vælges en indblæst træfiberisolering som er klassificeret mindst som materiale klasse D-s2,d2. Isoleringen skal indblæses til en densitet der ligger inden for rammerne af brandklassificeringen og kan i bygninger hvor afstanden fra terræn til gulvet i øverste etage er over 5,1 m, kun anvendes såfremt bygningens bærende konstruktioner (vægge, søjler, bjælker og dæk) er udført af ubrændbart materiale. Det vil være tilfældet i REBUS hvor det bærende system primært består af betonvægge og -dæk.

UDVENDIGE OVERFLADER

Ved vurdering af udvendige overflader i REBUS cirkulær betragtes der brandmodstand af vindspærren, brandbeskyttelse af isoleringsmateriale, afstandsliste og selve regnskærmen.

I tillæg hertil skal der tages hensyn til lodret og vandret brandspredning, som stiller krav til brandstop i ydervæggen samt til undersiden af altaner.

Cembrit Windstopper Basic anvendes som den udvendige beklædning og vindspærren. Den har både tilstrækkelig brandmodstand og beskytter bagvedliggende OSB-pladen og træfiberisoleringen.

For beklædningen i REBUS Cirkulær gælder de samme krav som i basisfacaden.

En træbeklædning som er gennembrand-imprægneret kan anvendes i bygninger hvor afstanden fra terræn til gulv i øverste etage ikke overstiger 22 m. Uimprægneret træ kan anvendes som beklædning i op til 20% af facadens areal, hvis risikoen for brandspredning mellem brandmæssige enheder minimeres. Det kan også anvendes i bygninger hvor afstanden fra terræn til gulv i øverste etage ikke overstiger 5,1 m eller i tilfælde af installeret sprinkleranlæg. En metalbeklædning kan bruges i alle typer bygninger.

Regnskærmens ophængningssystem følger samme krav som regnskærmen.

BRANDSTOP

Der skal etableres brandstop i det ventilerede hulrum bag ”lukkede” regnskærme.

Lodret brandspredning forhindres med et gennemgående stålprofil ved elementsamlingerne, som sikrer, at eventuel brandspredning i hulrummet afgrænses til det aktuelle facadeelement. I forbindelse med produktion og montage sikres det, at der ikke forekommer mellemrum i stålprofilen ved samlingen mellem REBUS-elementerne.

Det vurderes, at sikring mod vandret brandspredning i det ventilerede hulrum er tilgodeset, idet facadeelementerne afsluttes langs kanterne med inddækning af stål.

BRANDSEKTIONERING

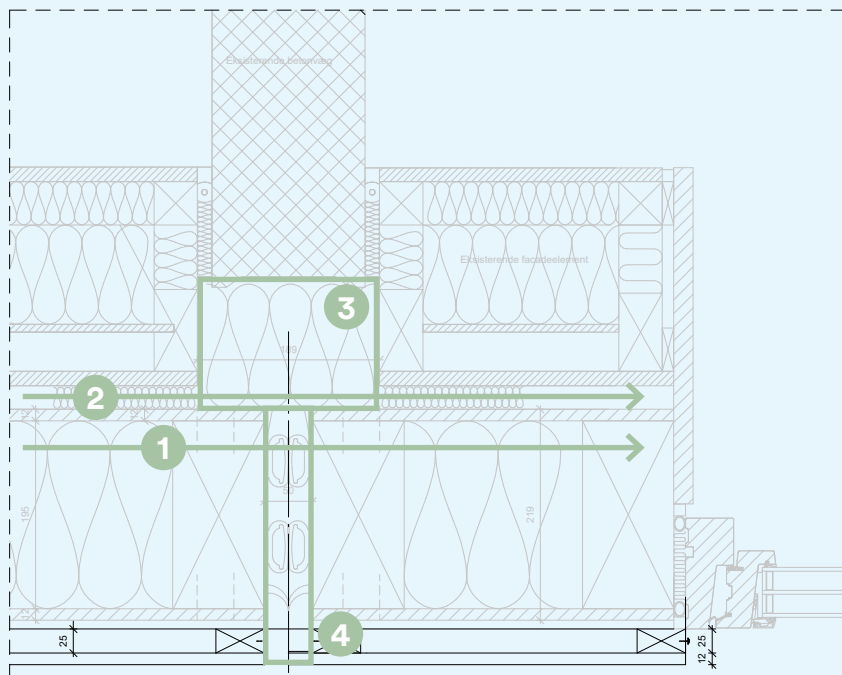
REBUS Cirkulær er designet til at kunne anvendes uanset om de tilstødende etageadskillelser og indvendige vægge er tilskrevet en brandadskillende funktion eller ej. Det bør altid vurderes om der skal foretages supplerende tiltag for at sikre mod brandspredning i eksisterende ydervæg og mellem bygningens brandmæssige enheder.

Se i øvrigt ”REBUS cirkulær facade - Brandforhold”, udarbejdet af DBI - Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut dateret 26-02-2021, for yderligere dokumentation af brandforhold i REBUS Cirkulær.

Der tages udgangspunkt i ”Bilag 2 til Bygningsreglementets vejledning til kap. 5 – Brand, Præ-accepterede løsninger for brandsikring af bygningsafsnit med etageboligbyggeri”, dateret 03-07-2020.

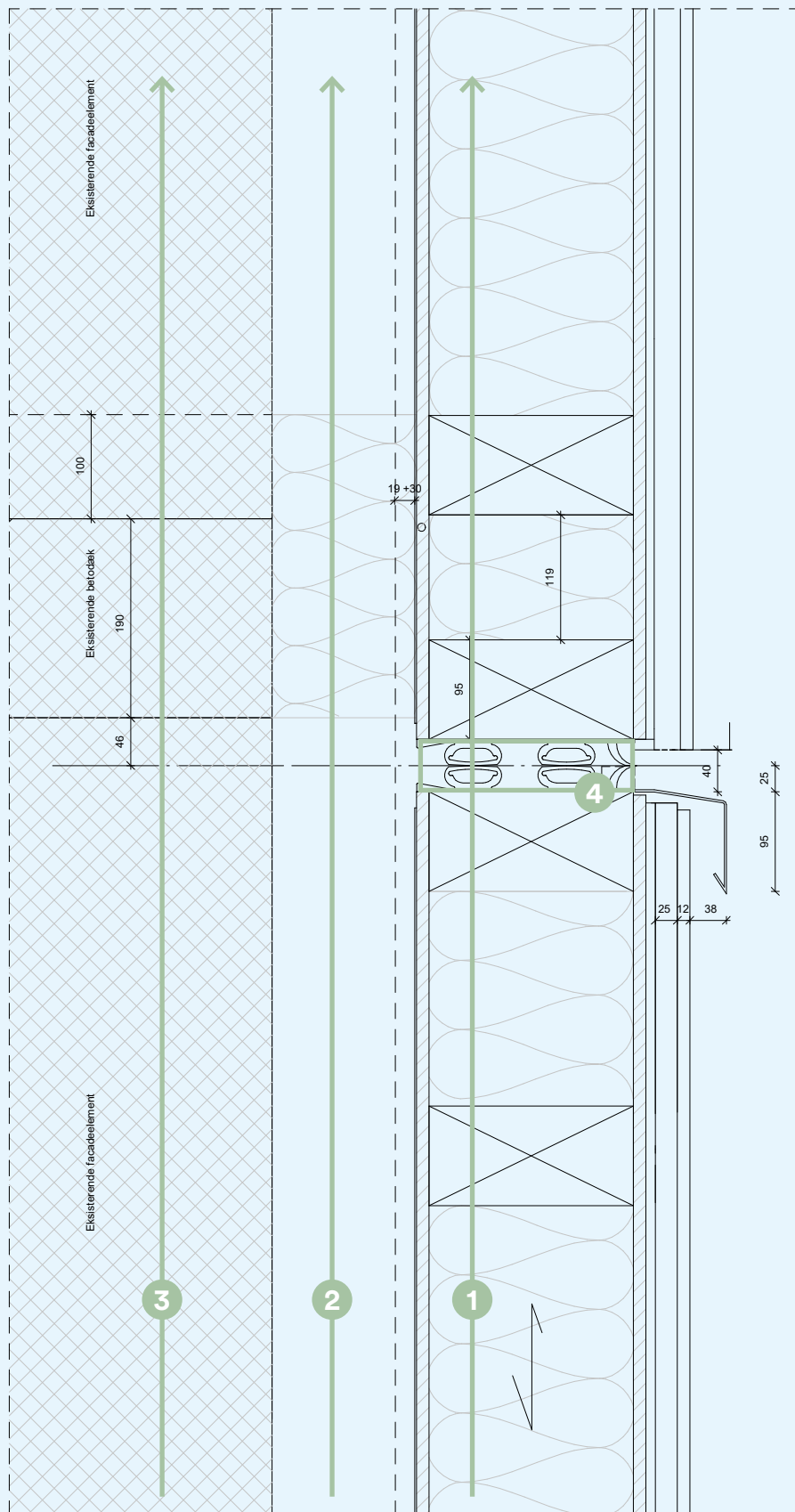
Principielle veje for vandret brandspredning i ydervæggen (vandret snit)

- 1: Vandret brandspredning i selve facadeelementets konstruktion
- 2: Brandstop mod brandspredning i hulrummet mellem facadeelement og eksisterende facade
- 3: Vandret brandspredning i samlinger mellem facadeelement og eksisterende etageadskillelser eller indvendige vægge
- 4: Lodret brandspredning i samlingerne



Principielle veje for lodret brandspredning i ydervæggen (lodret snit)

- 1: Lodret brandspredning i selve facadeelementets konstruktion
- 2: Brandstop mod brandspredning i hulrummet mellem facadeelement og eksisterende facade
- 3: Lodret brandspredning i samlinger mellem facadeelement og eksisterende etageadskillelser eller indvendige vægge
- 4: Vandret brandspredning i samlingerne



1: BRANDSTOP

Det hulrum der potentielt opstår mellem ny og eksisterende facade sikres mod brandspredning med etablering af vandret og lodret brandstop ud for alle elementstød.

2: BESLAG

Facadeelementerne fastgøres til den eksisterende bygnings bærende konstruktion med stålbeslag. Stålbeslagene opfylder kravet om ubrændbare materialer for bygninger hvor afstanden fra terræn til gulv i øverste etage ikke overstiger 22 m. Der stoppes med ubrændbart mineraluld rundt om beslaget efter fastgørelse.

3: FASTGØRELSE AF ALTAN

Hvis der er altan, fastgøres den også vha. stålbeslaget til den eksisterende bygningens bærende konstruktion, der i de fleste tilfælde kan antages at have 60 minutters brandmodstandsevne. Selve altanen skal følge de præ-accepterede løsninger.

4: TRÆRAMME

REBUS Cirkulær kan som udgangspunkt pga de træbaserede komponenter ikke anvendes indenfor rammerne af de præskriptive vejledninger, men skal i stedet dokumenteres ved funktionsbaseret dimensionering. Dog vedrører afvigelsen fra de præskriptive regler krav til bygningens brandsektionering. Her vurderes det at være sandsynligt, at opbygningen giver mindst 60 minutters brandmodstandsevne mod lodret brandspredning. Brandmodstandsevnen skal verificeres ved brandtest eller beregning.

5: FRISKLIFTINDTAG

Facadeelementerne udføres med integreret decentral friskluftsindtag. Luftindtag passerer således ikke brandadskillelser. Luftafkast foregår gennem eksisterende aftrækskanaler der passerer de indvendige brandadskillende vægge og etageadskillelser og behov for brandspjæld skal i den forbindelse afklares.

7: VINDSPÆRRE

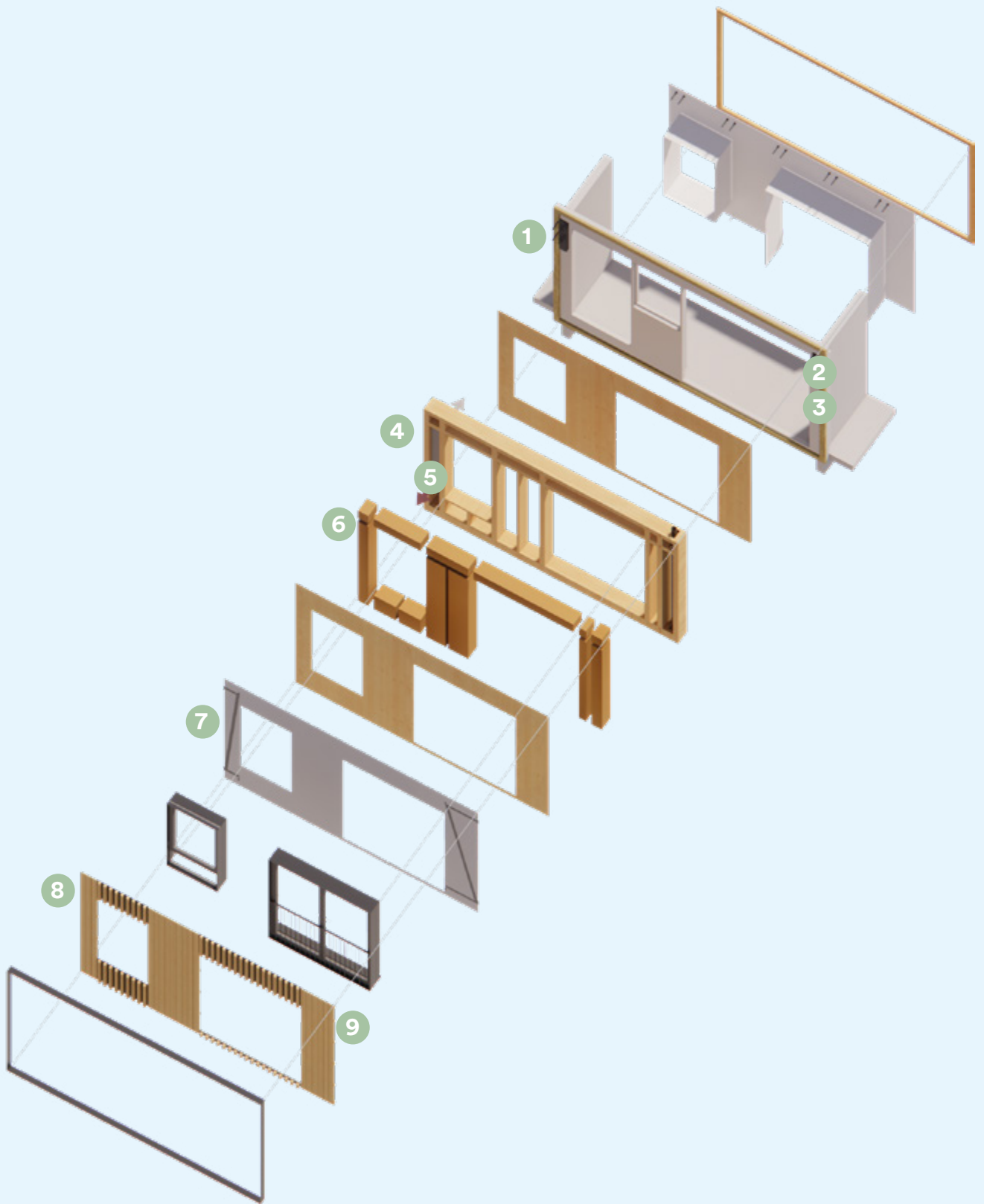
Cembrit vindspærren beskytter også den bagvedliggende OSB-pladen og træfiberisoleringen.

8: BEKLÆDNING

Der bruges de samme typer beklædning som i REBUS basis. En gennembrandimprægneret træbeklædning kan anvendes i bygninger hvor afstanden fra terræn til gulv i øverste etage ikke overstiger 22 m. Uimprægneret træ kan anvendes som beklædning i op til 20% af facadens areal. En metalbeklædning kan bruges i alle typer bygninger.

9: AFSTANDSLISTER

Der anvendes stålprofiler eller trælistes. Uimprægnerede trælistes, opfylder brandkravet i bygninger op til 22m, såfremt ophængningssystemets frie overfladeareal udgør højst 10% af det samlede frie overfladeareal i det ventilerede hulrum. Et perforeret hatprofil af stål kan bruges uanset bygningens højde.



LIFE CYCLE ASSESSMENT

Input fra Teknologisk Institut.

INTRODUKTION

LCA er en forkortelse af Life Cycle Assessment – på dansk livscyklusvurdering. LCA er en metode til at vurdere, hvilke potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug der er knyttet til et produkt eller en service gennem hele dets livscyklus.

LCA-delen for REBUS-projektet er blevet struktureret som en sammenligning mellem REBUS Basis og Cirkulær samt en såkaldt traditionel facade. Dette kapitel omhandler hovedsageligt analysen og beregningen for REBUS Cirkulær.

REBUS VS TRADITIONEL FACADE

Forskel i fremstillings- og installationsmetode har indflydelse på mængden af materialespild fra byggepladsen samt mængder af byggeaffald (som til gengæld påvirker materiale- og affaldstransport), energiforbruget til fremstilling og installation af facade samt transport af både materialer og medarbejdere.

REBUS CIRKULÆR VS REBUS BASIS

Forskellen mellem Basis og Cirkulær ligger i, at nogle af materialer er skiftet ud med andre, mere bæredygtige, samt at facadeelementerne er designet for adskillelse, og dermed kan end-of-life scenarier være anderledes.

AFGRÆNSNING

Hovedfokus på LCA'en er klimabelastning, dvs. LCA'en udføres udelukkende for miljøpåvirkningskategorien global opvarmning (Global Warming Potential, eller GWP på engelsk). Dette valg afspejler fokuset i REBUS,

som primært har været på aspekter såsom klima, energi- og ressourceforbrug.

FORMÅL

Formålet med LCA'en er at undersøge klimabelastning for forskellige designs og opbygninger og derigennem reducere deres miljøpåvirkning. Ydermere danner resultaterne grundlag for udviklingen af en konfigurator, som bl.a. skal kunne regne CO₂ aftrykket for en skræddersyet REBUS-facade. Konfiguratoren er et værktøj, som vil gøre det muligt for slutbrugere at vælge den foretrukne facade ud fra en række prædefinerede materiale- og opbygningsmuligheder.

FUNKTIONEL ENHED OG TILGANG

De endelige resultater beregnes ved at sammenlægge materialespecifikke miljøbelastninger for de enkelte komponenter (lukket facade, åben facade og øvrige elementer) i de aktuelle mængder. Desuden tilføjes eventuelle "system-belastninger", som er ikke materiale-specifikke miljøbelastninger (fx installationen af facaden uanset facadesammensætningen). Det hele beregnes som kg CO₂ ækv. per m² facade.

MATERIALER

Mange forskellige forhold blev undersøgt i valg af materialerne, bl.a. brandkrav, fugt, stabilitet mm. I beslutningsprocessen af det konkrete produktvalg for LCA blev der udvalgt byggematerialer, hvor en EPD var tilgængelig, sådan at miljødataene var af sammenlignelig kvalitet materialerne imellem.

For OSB blev det valgt produktet fra Egger med grundet en lavere CO₂ belastning ifbm. transport, for dampspærren blev det valgt produktet fra Gram med lavere GWP og for træfiberisolering og vindspærren var, foruden CO₂ belastningen, brandkrav afgørende. For regnskærmen er der valgt de samme materialer som for basis facaden, på nær zink, som havde de højeste miljøbelastninger.

For enkelte byggematerialer har det ikke været muligt at finde EPD'er, og det er blevet nødvendigt at anvende generiske miljødata fra gængse LCA-databaser (GaBi og Ecoinvent).

Materiemængderne beregnes inkl. en vis procent spild, som er mindre for REBUS end for den traditionelle facade, fordi facadeelementerne bygges på fabrik under bedre og mere kontrollerede forhold.

TRANSPORT

For en REBUS facade skal alle materialer (inkl. spild) transporteres fra deres produktionssted til facadefabrikken, som antages placeret centralt i Danmark, i Odense. Derudover skal den færdige facade transporteres fra fabrikken til den endelige byggeplads.

FREMSTILLING OG INSTALLATION

Når en ny traditionel facade opføres, skal den eksisterende facade rives fuldstændig ned. Når en ny REBUS-facade installeres, forudsættes kun dele af den eksisterende facade at skulle rives ned (fx hvis et eksisterende vindue skal laves om til en større altandør). LCA modellering af dette

kræver viden om type og materiale-sammensætning for den eksisterende facade, samt om hvorvidt/hvor stort et hul der er nødvendigt ifm. vinduet/altandøren. Udover energiforbruget for selve nedrivningen, skal også affaldstransport og affaldshåndtering af den nedrevne facade modelleres.

AFFALDSBEHANDLING

I REBUS Cirkulær kan facadekomponenterne nemmere skilles ad og derfor er genanvendelse af træ i spånpladeproduktion en realistisk mulighed, fremfor forbrænding. Forskellen gælder hovedsageligt træ, da de fleste andre materialer (fx stål, aluminium, mineralske produkter ligesom cementfiberplader eller eternit) allerede bliver genanvendte også for basis facade. De træprodukter, hvor genanvendelse i spånpladeproduktion er mulig, er dem, hvor træet har en tilstrækkelig kvalitet, fx konstrukstræet, afstandslisterne og træbeklædningen. Der arbejdes i REBUS Cirkulær med konkrete genbrugskoncepter som Gentræ for sikre genbrug, mens alternativer for mere direkte genbrug af egentlige komponenter undersøges. Den træbaserede isolering, OBS-pladerne samt det malede vindustræ forventes ikke at kunne genanvendes i spånpladeproduktion.

Beregningsgrundlaget er beskrevet i notatet "LCA af Rebusfacade - Forudsætninger og fremgangsmåde" af Teknologisk Institut, dateret april 2021.



1: BESLAG OG EKS. KONSTR.

Identisk som for REBUS basis

2: KONSTRUKTION

Opbygningen med trærammen og træbaseret isolering har en lavere GWP end den konventionelle opbygningen i REBUS basis.

3: FRISKLUFTSINDTAG

Identisk som for REBUS basis

4: VINDUER

Vinduerne er identiske med REBUS basis, dog undtaget at der ikke er mulighed for et aluminiumsvindue i REBUS cirkulær.

5: REGNSKÆRM

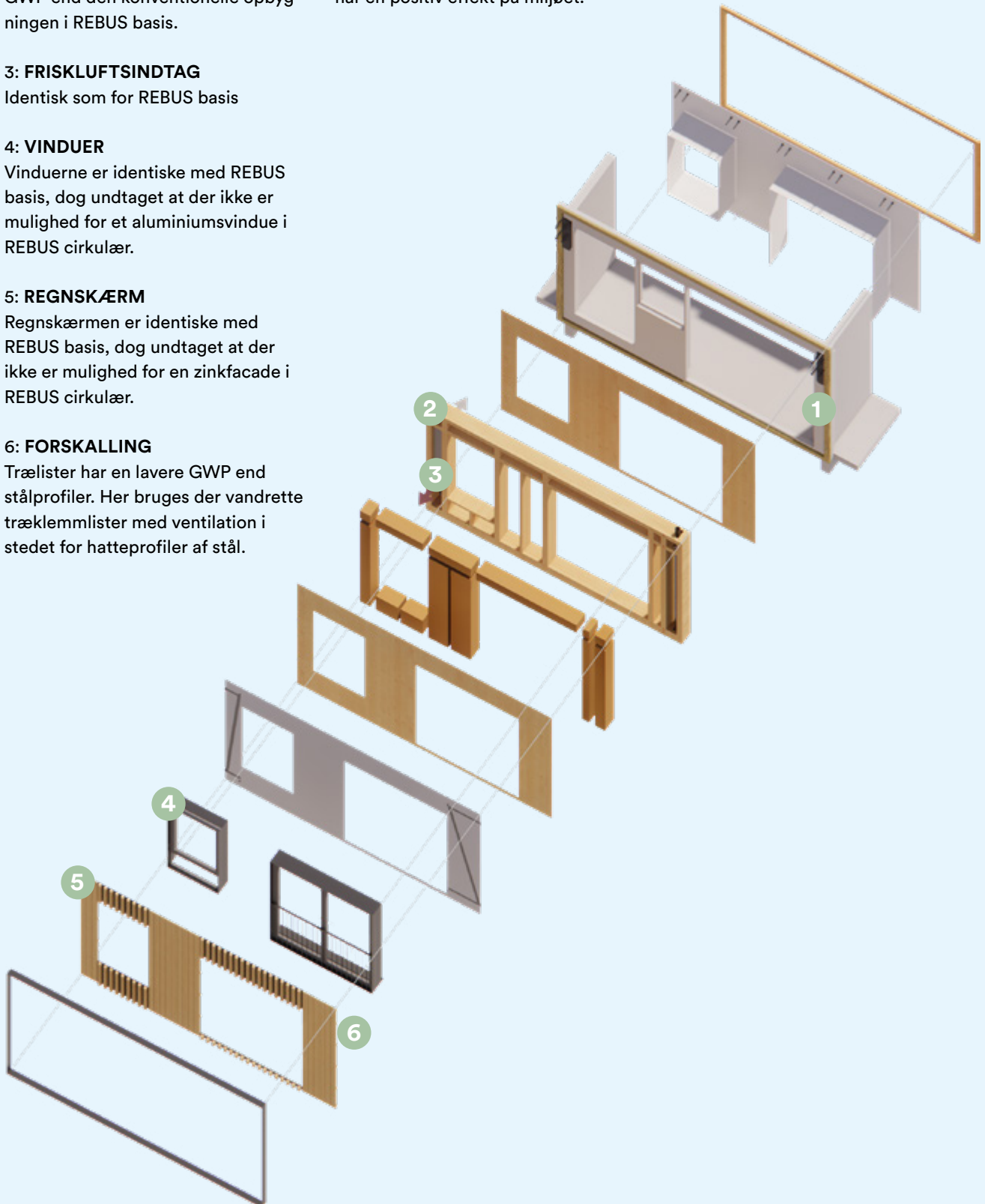
Regnskærmen er identiske med REBUS basis, dog undtaget at der ikke er mulighed for en zinkfacade i REBUS cirkulær.

6: FORSKALLING

Trælister har en lavere GWP end stålprofiler. Her bruges der vandrette træklemmlister med ventilation i stedet for hatteprofiler af stål.

DESIGN FOR DISASSEMBLY

REBUS cirkulær følger princippet for design for disassembly, som gør det muligt at demontere, erstatte, genbruge eller genanvende de forskellige dele og materialer (se også s. 48). Det har en positiv effekt på miljøet.



PRODUKT
30 - 40 % mindre CO₂
 sammenlignet med hhv. basis og traditionel

END-OF-LIFE
 Kun Cirkulær pålægges **default belastning**
 sammenlignet med hhv. basis og traditionel

LCA Fase	Produkt	Opførelse	Brug	End-of-life	SUM	D
	A1-A3	A4-A5	B2-B4 + B6	C1-C4		
Alle værdier angivet i kg CO ₂ e						
ELEMENT 15 m ² facade	Cirkulær	1.336	165	5.917	1196	8614 -1283
	Basis*	2.419	157	5.917	301	8794 -491
	Traditionel**	1.991	895	5.912	324	9122 -272
BYGNING 810 m ² facade	Cirkulær	163.188	23.269	788.067	191.241	1.165.765 -190.704
	Basis*	344.039	21.849	788.067	41.826	1.195.781 -58.440
	Traditionel**	283.078	124.367	786.759	44.761	1.238.965 -20.778

PRODUKT
 Co₂ besparelse svarende til **19.000m² nybyg⁸**
 sammenlignet med basis

CIRKULARITET
 op til ca. **10 x mere CO₂ lagret**
 for cirkulær ved at benytte biobaserede materialer

* Basis er baseret på REBUS-systemet, men konstrueret af uorganiske materialer (se s.54-55).
 ** Traditionel er en standard facade bygget on-site.

I B-fasen vil den fulde gevinst af den Cirkulære facades brug af DFD, ikke være inkluderet. Den lettere udskiftning og genbrug af specielt de større komponenter som den Cirkulære facade muliggør, vil ikke blive medregnet da det ligger uden for systemgrænsen der betragter en samlet levetid på 50 år.

II Efter nuværende LCA standarder pålægges træmaterialer en default belastning i C-fasen da systematikken stiller krav om at der er balance mellem faserne (A1-A3) og C. Selv for Den Cirkulære Facade hvor der benyttes et recycling scenarie i C4-fasen, pålægges der således en CO₂ belastning. Dermed vil effekten af brugen af "gentræ" som ellers søger at maksimere graden af genbrug, ikke være medregnet for Den Cirkulære Facade.

TERMISK ISOLERING

TERMISK FORBEDRING

REBUS facaden opfylder mange forskellige formål, blandt andet også en isoleringsmæssig opgradering. De eksisterende bygningers U-værdi kan forbedres betydeligt ved tilføjelse af REBUS facaden.

BEREGNING AF U-VÆRDIEN

Den eksisterende væg varierer i dens opbygning og skal vurderes i det enkelte tilfælde. Isoleringsevnen af

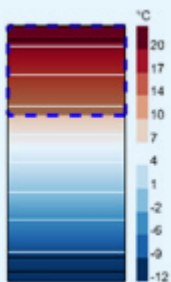
den eksisterende væg er derfor ikke taget med i beregningerne.

U-værdien angiver, hvor stor en varmemængde der strømmer gennem konstruktionen. Jo mindre u-værdi, jo bedre isolerer den. U-værdien for REBUS cirkulær er beregnet for de forskellige scenarier af varmetab gennem konstruktion og isolering og inkluderer også linjetab og beslag. Vinduerne er ikke taget med i beregningen.

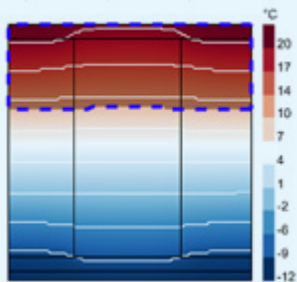
RESULTATER

Isoleringsværdien gennem selve vægelementet er som forventet god og sikrer en tilstrækkelig ekstraisolering for den eksisterende væg. Opmærksomheden gælder samlingerne, hvor ståldele med en meget høj varmeledningsevne skaber forbindelse mellem ude- og indeklimaet. Det fører til kuldebroer med varmetab og kan også føre risiko for kondens og dermed ophobning af fugt med sig.

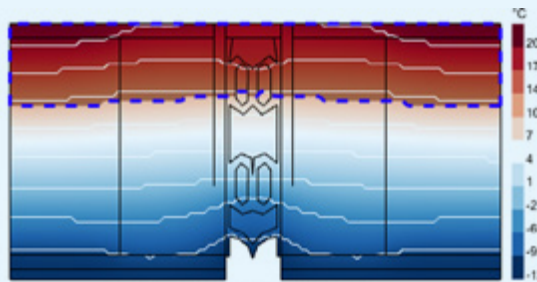
U-VÆRDI-RESULTATER FOR UDVALGTE STEDER I KONSTRUKTIONEN.



Varmegennemgang gennem trærammen med træfiberisolering. Beregnet u-værdi = 0,177 W/m²K

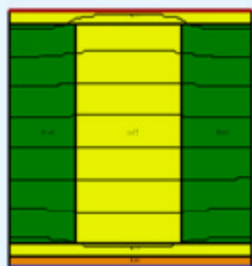
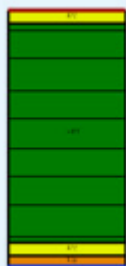


Varmegennemgang gennem trærammen. Beregnet u-værdi = 0,322 W/m²K



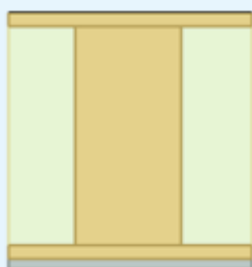
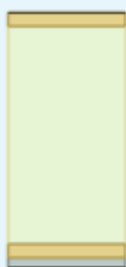
Varmegennemgang gennem elementsamlingen. Beregnet u-værdi = 0,418 W/m²K

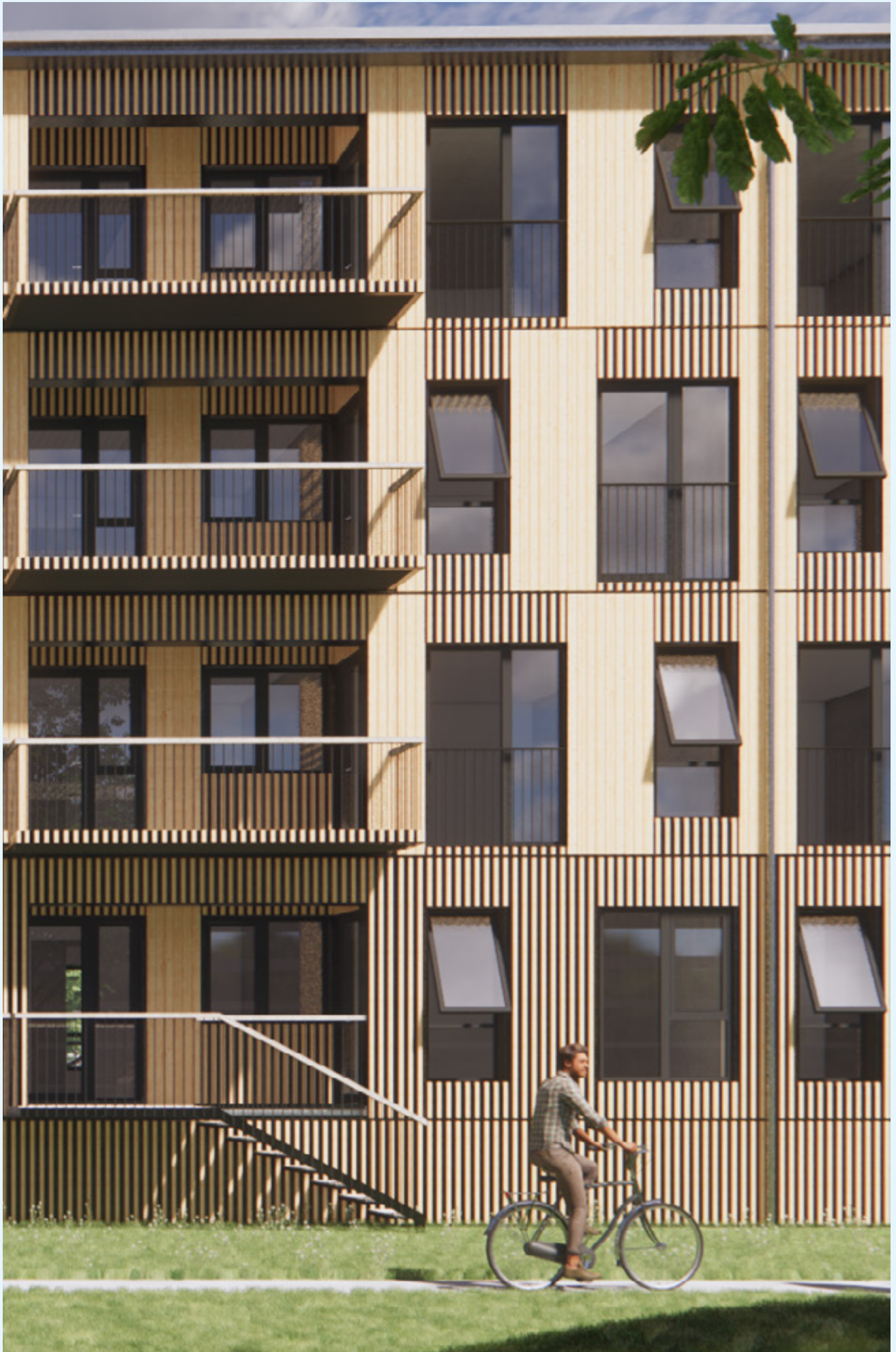
DEFINITION AF MATERIALEPARAMETRE I FORM AF VARMELEDNINGSEVNE.



0,36: Fibercement 0,12: Træ 0,037: INSU

GEOMETRISK OPBYGNING AF SIMULERINGSMODELLERNE.





1: BESLAG

For at reducere varmegennemgang og risiko for kondens etableres der kuldebrosafbrydelse ved beslag. Desuden sikres det at beslaget ikke er gennemgående.

2: ELEMENTSAMLING

Gummiprofil i elementsamlingerne sammen med stålbeslag giver de største kuldebroer i elementsamlingerne. REBUS cirkulær har dog stadig en tilstrækkelig isoleringsværdi iht. BR18 set over hele elementet.

3: TRÆRAMME

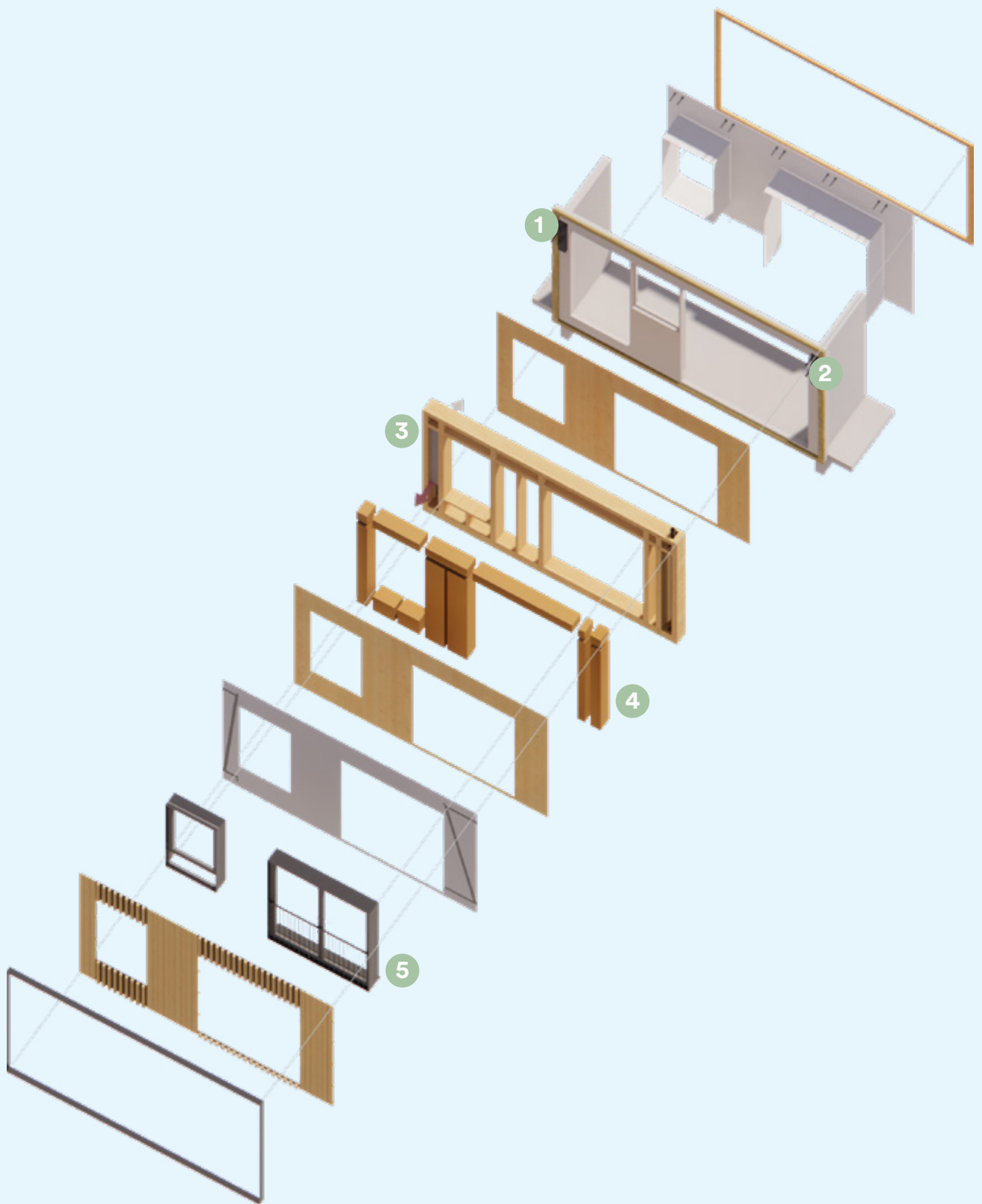
Træ har en lavere varmeledningsevne end fx metaller og er dermed velegnet som konstruktionsmateriale. Trærammekonstruktionen fører, sammenlignet med stålprofilerne, til en betydelig lavere varmetransmission med minimale kuldebroer.

4: ISOLERING

Træfiberisolering har marginalt lavere isoleringsværdi sammenlignet med mineraluld, men opfylder stadig isoleringskravene ved selv den tyndeste opbygning (195 mm isolering).

5: VINDUER

Vinduerne og terassedøre er traditionelt indbygget og resulterer ikke i yderligere varemteab for REBUS Cirkulær.



FUGT

Input fra Teknologisk Institut.

FORMÅL

For at sikre en langtidsholdbar robust konstruktion, er det vigtigt at dokumentere dens fugttechniske performance. I Bygningsreglementet er der stillet krav til fugtforhold i byggeriet. Der nævnes bl.a. at bygninger skal projekteres, udføres og vedligeholdes, så vand og fugt ikke vil påvirke personers sundhed eller skade bygningen. Ligeledes skal bygningerne sikres mod skadelig fugt akkumulering der kan give risiko for kondensdannelse og skimmelsvampevækst.

Der er derfor blevet lavet hygrotermiske simuleringer i WUFI, hvor fugt- og temperaturfordelingen i konstruktionen beregnes over minimum 5 år.

UNDGÅ SKIMMELVÆKST




Risiko for skimmelsvækst er undersøgt flere steder i konstruktionen. Skimmelsvampevækst kan påvirke indeklimaet og jo tættere placeringen af området med risiko for skimmelsvampevækst er på indeklimaet, jo større er risikoen for en negativ påvirkning af indeklimaet. Derfor er det især vigtigt at sikre at der ikke

opstår risiko for skimmelsvækst i den eksisterende facade i det tilfælde at denne ønskes bibeholdt som en del af REBUS renoveringen.

Det er også vigtigt at undersøge risiko for kondensdannelse ved kuldebroer i samlingsdetaljer, samt fugtophobning og behov for afledning af kondensvand (dræn).

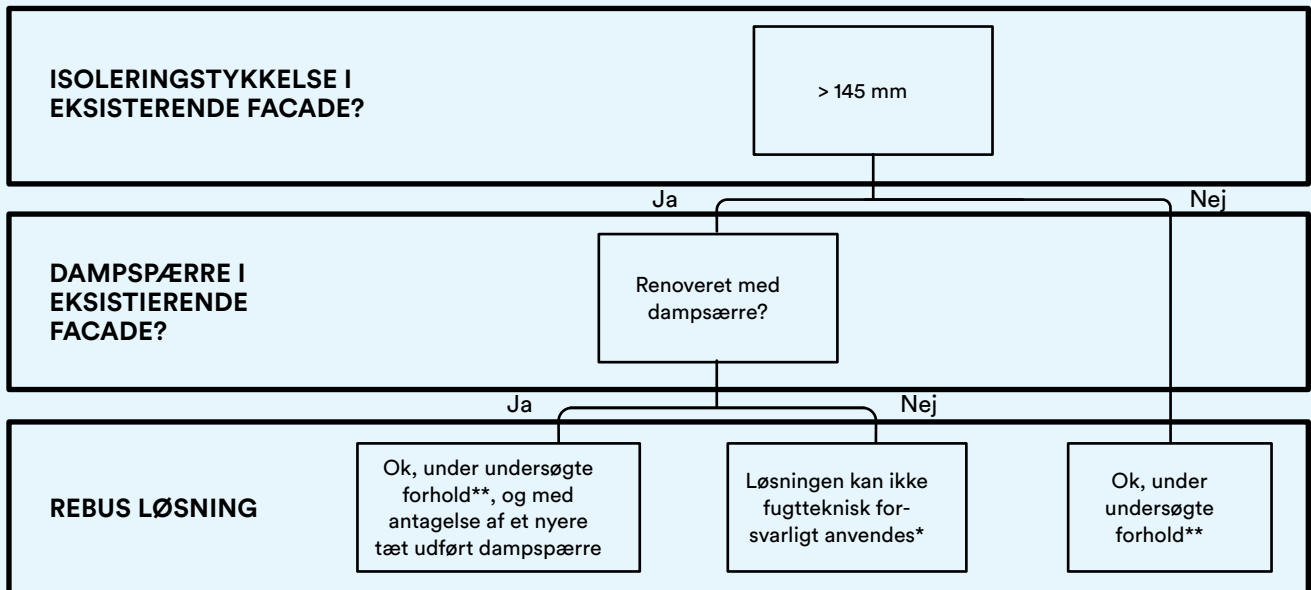
Beregningsgrundlaget og resultaterne er beskrevet i dokumentet "REBUS cirkulær - Fugt" udarbejdet af Teknologisk Institut, fra d. 22. januar 2021.

Undersøgte parametre

	OPBYGNING EKSISTERENDE FACADE	Isoleringstykkelse Dampspærre	Type vindspærre Type facadebeklædning
	EKSPONERING	Fugtbelastningsklasse Orientering	
	OPBYGNING NY FACADE	Træfiberisolering (λ 0,037 W/mK) Dampspærre (PE-folie 0,2 mm) OSB bag vindspærre + på bagside	

BESLUTNINGSTRÆ

Ud fra de hygrotermiske beregninger, blev der opstillet et beslutningstræ, der viser indflydelse af undersøgte parametre på valg af facadeløsning.

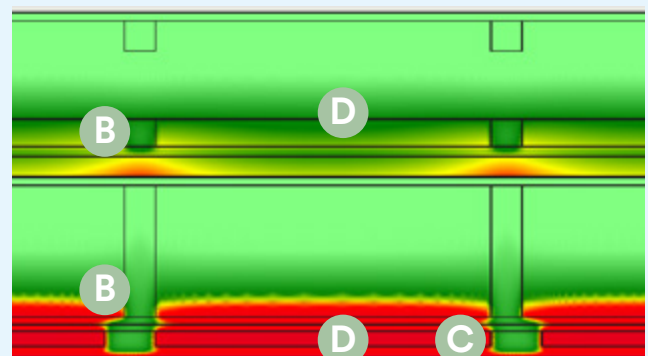
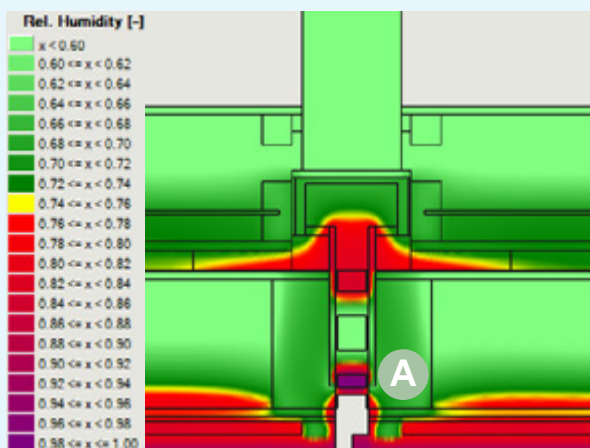


* Medmindre der opsættes en dampspærre indvendigt på den eksisterende facade

** Den antagede fugtbelastningsklasse er FBK 2, som repræsenterer boliger med mekanisk ventilation og normal beboelsestæthed. Eksponering med FBK 3 kræver under alle omstændigheder en hygrotermisk beregning

FORDELING AF RELATIV LUFTFUGTIGHED

Undersøgelse af risiko for kondens i konstruktionen



A KONDENS VED SAMLINGER
 Simuleringerne har vist at der ikke opstår risiko for kondens ved beslaget, når det er rykket 45 mm tilbage fra forsiden af den yderste OSB-plade i den nye facade.

B FORHØJET RF
 I risikozonerne er det undersøgt og sikret at forhøjet relativ luftfugtighed (RF) ikke giver anledning til skimmelvækst

C VINDSPÆRRE
 Der er valgt materiale som ikke er fugtfølsomt

D SKIMMELVÆKST
 Risiko for skimmelvækst ved bagsiden af vindspærren er undersøgt, både i ny og eksisterende facade. Se også punkt C.

1: FUGTBELASTNINGSKLASSE

Udover isoleringstykkelsen, har fugtbelastningsklassen (FBK) en indflydelse. Den antagede fugtbelastningsklasse, FBK 2, repræsenterer boliger med mekanisk ventilation og normal beboelsestæthed.

2: DAMPSPÆRRE I DEN EKSISTERENDE FACADE

Analysen har vist at isoleringstykkelsen i den eksisterende facade er afgørende for risiko for skimmelsvampevækst.

I eksisterende facader med isoleringstykkelse større end 145 mm opstår der risiko for skimmelsvampevækst på bagsiden af den eksisterende vindspærre.

3: BESLAG

Beslag til fastgørelse af ny facade er lidt tilbagetrukket med afstand 45 mm fra forside af yderste OSB-plade for at sikre mod kuldebro og dermed kondensdannelse.

4: DAMPSPÆRRE

Det blev valgt at tilføje en dampspærre mod fugtophobning i OSB på indvendig side af det nye facadeelement. Det er nemmere at sikre dens kvalitet i denne placering, dog ligger den dermed ikke beskyttet af OSB-pladen. Det kræver ekstra opmærksomhed i produktion, transport og under opsætning at dampspærren ikke gennembøres eller perforeres.

5: VANDRETTE SAMLINGER

Vandrette samlinger af facadeelementer placeres ikke lige foran betondæk, for at undgå kondens, svarende til problematikken for de lodrette samlinger foran skillevægge. Hvis isoleringen foran betondækket kan fjernes, kan brandstoppen i så fald muligvis lægges over eller lidt under betondækket for hver etage - dog ikke foran!

6: VENTILERET FACADE

2-trins-tætnet løsning: gammel og ny facade med hulrum (uventileret) og ventileret beklædning

7. BRANDSTOP

Ingen gennemgående lodret brandstop bagved lodrette elementsamlinger, da der ellers vil opstå kondens. Varmen fra den bærende væg er med til at undgå kondens på beslag og bag lodrette samlingsdetaljer. Lokal begrænset anvendelse af denne brandstop, fx en gang for hver etage skulle dog ikke være et problem.

8: SAMLING MED GUMMILÆBER

Gummilæben er designet så evt. indtrængt vand, samt dannet kondens i hulrummet tættest udeklimaet, kan dræneres.

9: ISOLERING

Isoleringstykkelsen i den nye facade er afgørende for om der er tale om en fugtsikker konstruktion uden risiko for skimmelsvampevækst i den eksisterende facade, når der antages ikke at være en dampspærre til stede i den eksisterende facade.

10: OSB

OSB-pladen sikrer skivevirkningen i elementet. Det er vigtigt at vælge en type OSB der har, og bliver ved med at have bærende egenskaber, selv ved høj RF. Da denne plade er af organisk materiale, er det samtidig vigtigt at perioderne med høj RF er begrænset, for at undgå risiko for skimmelsvampevækst.

OSB er ikke maksimalt diffusionsåben ift. opbygning af den eksisterende facade. For at undgå fugtophobning på bagsiden af OSB-pladen bag vindspærren skal der derfor anvendes en dampspærre.

11: VINDSPÆRRE

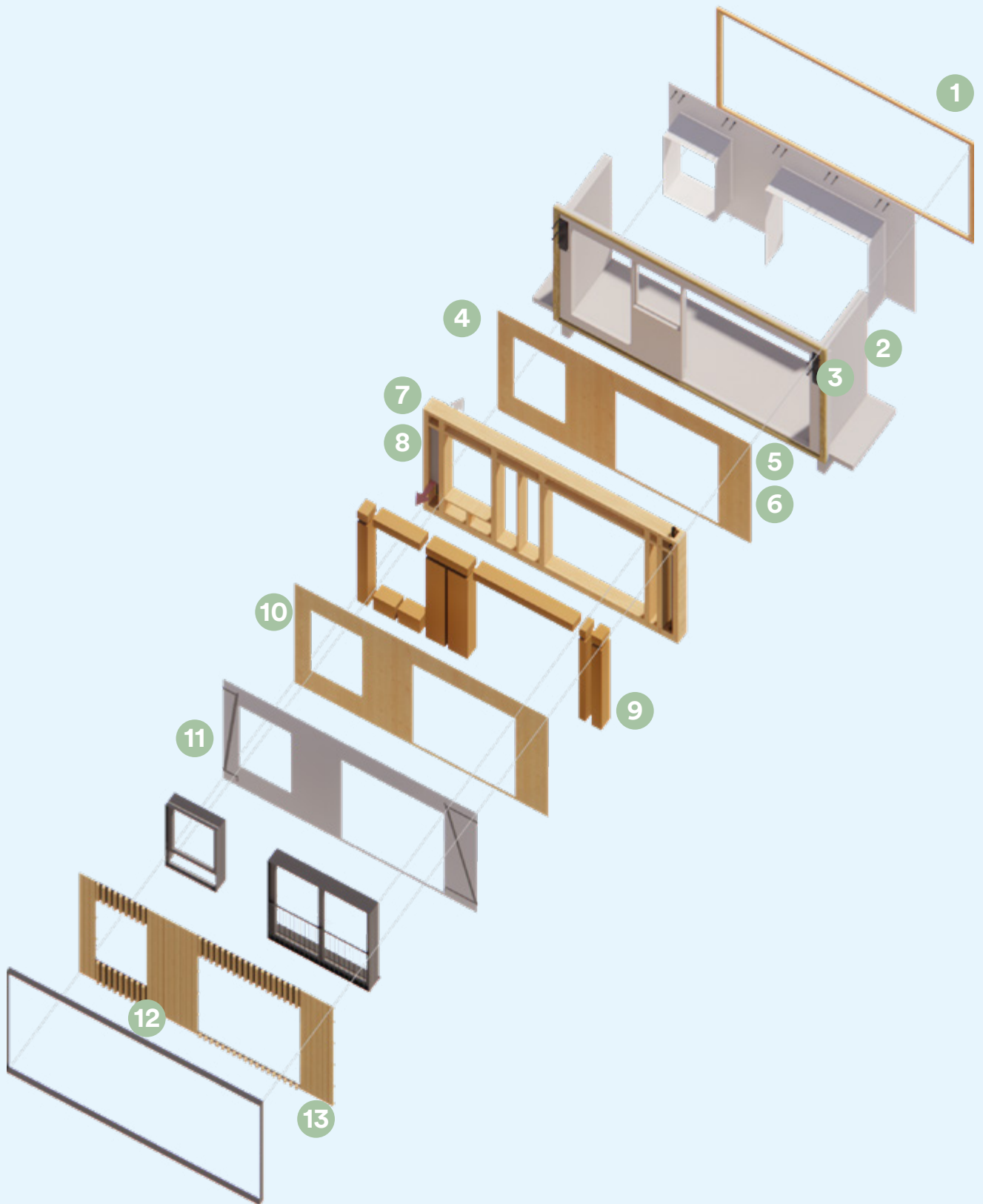
Diffusionsåben vindspærre, der kan modstå perioder med høj relativ luftfugtighed. Den valgte vindspærreplade er af uorganisk materiale, og kan derfor modstå disse betingelser.

12: AFVANDING

Der er gennemgående afvandingsprofiler rundt om hvert eneste facadeelement, for effektiv bortledning af regnvand og kondensdannelse.

13: VENTILERET HULRUM

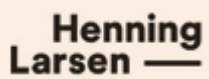
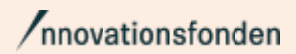
Afstandslistes og hulrum bag regnskærmen.



KILDEFORTEGNELSE

- 1 Landsbyggefonden (2014). Nye udfordringer for det almene boligbyggeri.
- 2 Birgisdottir, H. (2015). Bæredygtigt byggeri. (1 ed.) Energistyrelsen.
- 3 World Green Building Council. (2019). Bringing embodied carbon upfront - Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon. World Green Building Council, Advancing Net Zero.
- 4 Miljøstyrelsen (2016). Affaldsstatistik 2014, Miljø- og Fødevareministeriet.
- 5 World Wide Fund for Nature (2012). Living Forest Report: Chapter 4 - Forests and Wood Products.
- 6 Henning Larsen Architects (2017), Manual for Design for Disassembly, udviklet i REBUS.
- 7 Durmisevic, E. (2018), WP3 - Reversible Building design, BAMB - Buildings as Material Banks, University of Twente.
- 8 Birgisdottir, H. et al. (2020). Klimapåvirkning fra 60 bygninger – muligheder for udformning af referencelværdier til LCA for bygninger. Build – Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet.





RE+BUS

RENOVATING BUILDINGS SUSTAINABLY