

TRÆBAROMETERET



Guide til mere træbyggeri
I DEN ALMENE SEKTOR

TRIN 0/
Betonhus
100% CO₂ ækv

TRIN 1/
Mindre Beton
88% CO₂ ækv

TRIN 2/
Hybrid
79% CO₂ ækv

TRIN 3/
CLT-elementer
71% CO₂ ækv

TRIN 4/
Rummoduler
70% CO₂ ækv

TRIN 5/
Materialer på vej
68% CO₂ ækv

INDHOLD

Side 4	Forord	Side 26	Trin 1/Mindre beton
Side 6	Intro Træ i tide	Side 32	Trin 2/Hybrid
Side 8	Træ og livscyklusvurderinger	Side 38	Trin 3/CLT-elementer
Side 10	Hvor meget træ?	Side 44	Trin 4/Rummoduler
Side 12	Målsætninger	Side 50	Trin 5/Nye materialer/genbrug
Side 14	Krav og barrierer	Side 56	Opsamling
Side 16	Betonhus - et ensartet udgangspunkt	Side 58	Nu skal vi igang!
Side 18	Træbarometeret	Side 60	Appendix - Metode/LCA-beregninger
Side 20	Trin 0/Betonhus	Side 62	Viden og links

1. udgave, februar 2022

Udarbejdet af: Niels Toft Wendelboe, Byggepartnerskabet &os og Louise Heebøll, V!GØR

Fotos: Byggepartnerskabet &os og KAB

Layout: Byggepartnerskabet &os og KAB

Tryk: Litotryk

Udgivet af: Byggepartnerskabet &os og KAB.
Kontakt KAB for trykte eksemplarer
eller hent pdf på www.generationernestraehus.dk

KAB Byggepartnerskabet &os består af partnerne:
KAB, JJW Arkitekter, Sweco, Oluf Jørgensen,

Norconsult, Rekommanderet, SLA og Enemærke og Petersen.

Støttet af: Samvirkende Boligselskaber, Boligforeningen 3B, Boligselskabet AKB, København, Himmerland Boligforening, Brabrand Boligforening, Boligforeningen Århus Omegn, Boliglaboratorium v. Realdania og Statens Kunstfond.



Boligforeningen
3B



KAB V!GØR & OS



FORORD

MERE TRÆBYGGERI – VI KUNNE I 1800-TALLET SELVFØLGELIG KAN VI OGSÅ NU!

Klimaforandringerne er et nærværende og voksende problem – det er nu, vi skal handle!

Da byggebranchen står for en væsentlig del af Danmarks CO₂-udledning, har vi, der er i denne branche, et stort ansvar.

Vi er kommet langt med at nedbringe vores nye bygningers energiforbrug og afledte CO₂ udledning, og vi bliver stadig bedre til at forny og renovere vores eksisterende bygningsarv. Nu gælder det materialerne i nybyggeriet.

Der er mange metoder til at nedbringe miljøbelastningen for byggeriet, men særligt træns evne til at ab-

sorbere CO₂ mens det gror, og ved brug indkapsle det i bygningerne, rummer store potentialer.

Det almene boligbyggeri har så stort et volumen, at selv en mindre forbedring batter. Og husk: Hvis det almene kan inden for vores stramme økonomi, så lærer andre af erfaringerne og kan nedbringe miljøbelastningen i andre dele af byggesektoren.

KAB har i de sidste 10 år stået for opførelse af adskillige byggerier med gennemprøvede og økonomisk overkommelige metoder med træ i boksmoduler med en meget lav miljøbelastning. Det er vores erfaring, at det er vigtigt at tænke træteknologi ind allerede i de tidligste faser af byggeriet. Derfor har vi her sam-

let en række overskuelige trin, der kan hjælpe bygherrer og rådgivere godt i gang. Et godt sted at starte for fagfolk, beboervalgte og andre interesserede.

Nogle af de viste byggeteknikker er så almindelige, at man kan undres over, de ikke anvendes i alle byggerier. Andre er nye teknikker og materialer, der er på vej. Der er altså flere muligheder og løsninger for rigtig mange typer af byggerier.

Rigtig god fornøjelse — vi håber, du får inspiration til at bygge med træ i dit næste byggeprojekt.

Rolf Andersson,
udviklingsdirektør KAB

Fotoet her er taget i efteråret 2021 og er af en nedrivning af et ældre hus på Østerbro. Det viser med al tydelighed, at vi har bygget etagehuse med træskelletter i århundreder.



INTRO

TRÆ I TIDE FOKUS PÅ PROJEKTERNES TIDLIGE FASER

Når man skal i gang med et nyt byggeprojekt, står man i starten med et blankt papir og ved derfor meget lidt om, hvordan det færdige byggeri skal se ud. Til gengæld har man ofte rigtig mange forskellige muligheder åbne: Måske ved man bare, at man har brug for nogle flere almene boliger i et område, men der findes mange forskellige måder at komme i mål med denne ambition.

Efterhånden som processen skrider frem, ved man mere og mere om byggeriet: Man køber en grund, afklarer lokalplansforholdene, boligselskab og rådgivere finder sammen en god boligfordeling og udformning.

Samtidigt indskrænkes mulighederne: Har man købt en grund, hvor man er nødt til at bygge tæt og højt, kan den indledende vision om grønne forhaver være tabt. Har man tegnet et hus med konstruktive størrelser, der er længere end trækonstruktioner kan bære, må man benytte beton og stål.

Vi ved altså mere og mere om projektet i løbet af processen, men får samtidig færre muligheder.

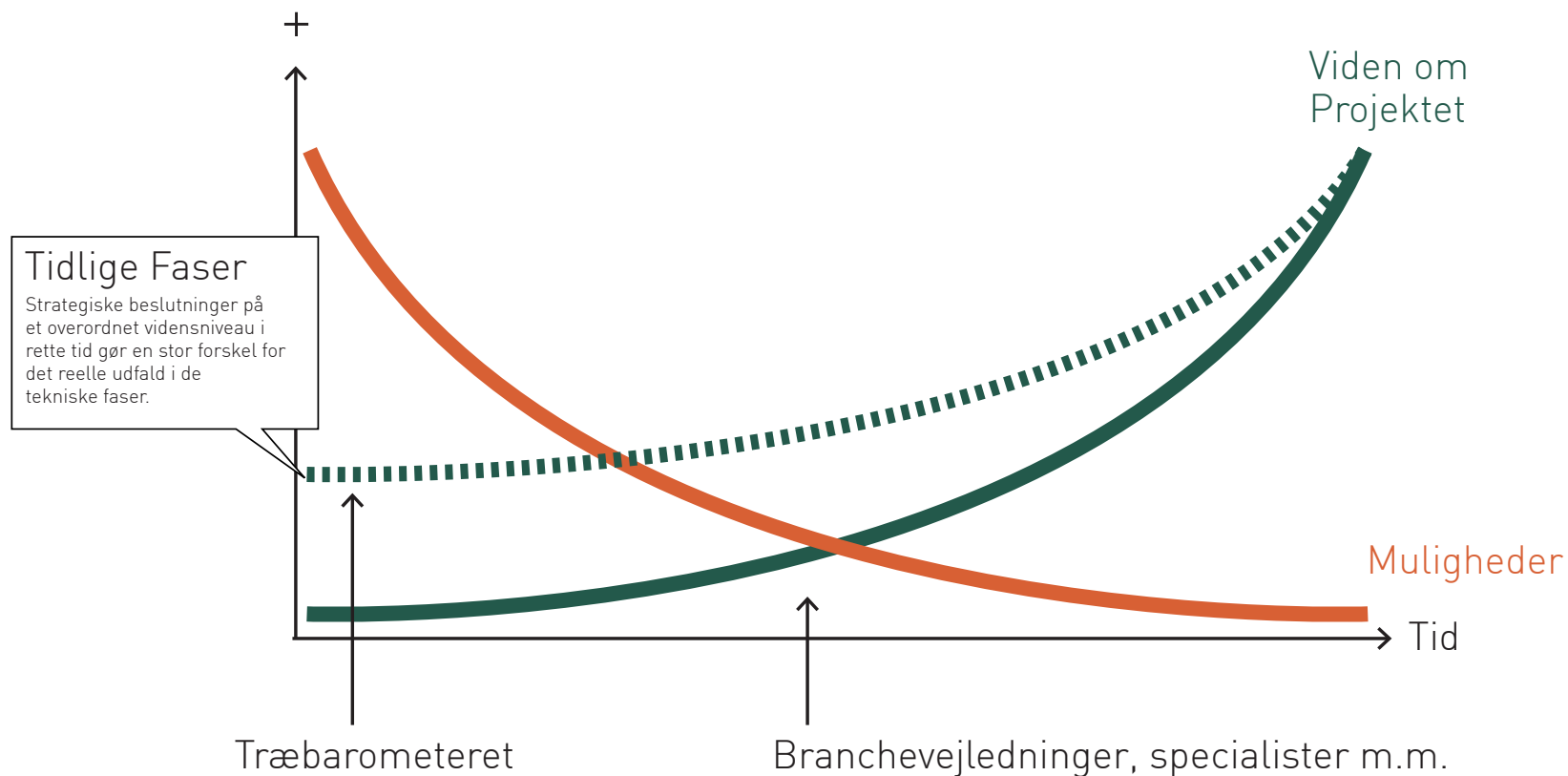
VI VED NOK — MEN FOR SENT

Mange byggeprojekter lægger ud med høje miljøambitioner, men støder undervejs på forhindringer og overraskelser. Dette resulterer ofte i, at man fraval-

der de oprindelige visioner og falder tilbage på kendte standardløsninger.

Der findes allerede i dag en lang række dygtige aktører, der har stor ekspertise inden for træbyggeris mange tekniske aspekter (du kan se en liste med eksempler senere i dette hæfte), men disse aktørers ekspertise kommer ofte for sent på banen.

I de indledende faser, hvor boligselskabet og rådgiverne beslutter, hvordan man skal organisere boligerne, hvordan bygningen skal se ud, og hvordan den skal bæres, træffer man mange vigtige beslutninger på meget kort tid. I eksempelvis programmeringsfa-



serne, i et skitseforslag eller en arkitektkonkurrence er der ofte for lidt tid til at danne sig overblik over mulige faldgruber i de efterfølgende faser. Allerede når man er klar med dispositionsforslag og skema A, har man ofte taget en lang række beslutninger, der kan være afgørende for, i hvilket omfang man kan benytte træ i byggeriet.

Den tunge ekspertise, der allerede findes i byggebranchen, kommer ofte først på banen efter disse afgørende faser, og derfor kan ambitionerne ofte støde på grund.

TRÆ I TIDE

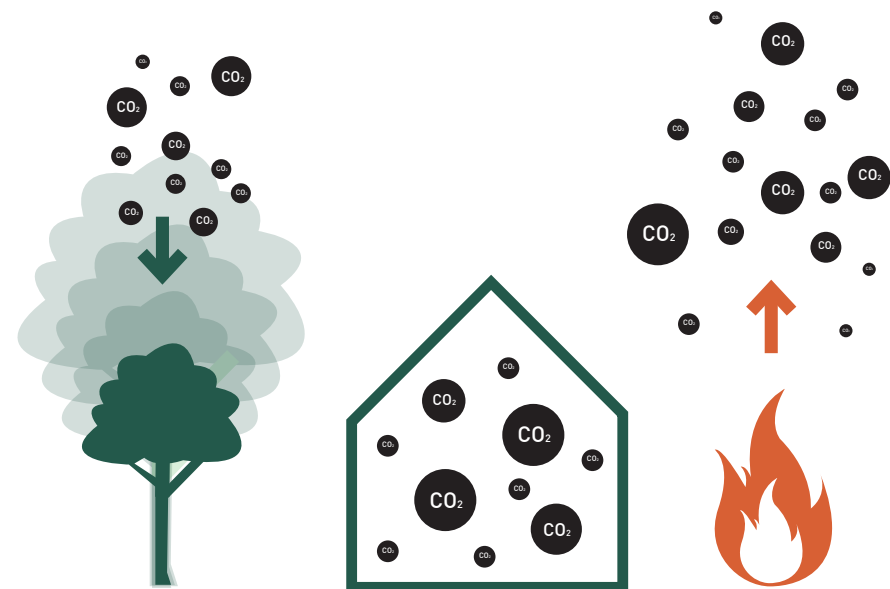
For at få relevant viden om træbyggeri på banen i tide vil vi i dette hæfte fokusere på at lave en overskuelig introduktion, hvor man vil kunne danne sig et indledende overblik over forskellige strategier til at bygge med træ og nedbringe byggeriets klimabelastning. Vi vil illustrere en række faldgruber og muligheder, så visionerne har større overlevelseschancer i de efterfølgende, mere tekniske faser. Man vil således ikke kunne finde komplette, tekniske udredninger for brand, fugt m.m., men gode eksempler og links til aktører med større ekspertise.

Da den almene sektor opererer inden for begrænsede økonomiske rammer, fokuserer vi her på, hvordan vi kan bygge mest muligt med træ, inden for denne ramme. Vi håber altså at gøre det muligt at skrue op og ned for mængden af træ på en måde, så selv projekter med meget stram anlægsøkonomi kan gøre deres del af vores fælles arbejde med at nedbringe klimabelastningen i byggeriet.

Læs mere om den bagvedliggende metode i metodeappendixet.

INTRO

Træer absorberer CO₂ mens de vokser. Bygger vi huse af dem, kan vi opbevare den absorberede CO₂ i vores bygninger. Hvis vi ikke evner at genbruge vores bygningsdele, når bygningerne rives ned, bliver bygningerne til affald. I dag brænder vi almindeligvis vores træaffald af, og derved frigives CO₂ på ny. På den baggrund kan CO₂ besparelsen ved træbyggeri fremstå mindre, end man kunne forvente.



TRÆ OG LIVSCYKLUSVURDERINGER

HVAD SKER DER MED TRÆET, NÅR HUSET RIVES NED?

Når man skal vurdere en bygnings miljøbelastning (herunder CO₂ også angivet som GWP) vurderer man hele bygningens levetid (life cycle assessment, LCA). Man tager stilling til miljøbelastningen helt fra produktionen af materialerne, transport til byggepladsen og opførelsen af bygningen. Disse faser i et byggeri har man mulighed for at kontrollere og dokumentere. De fleste producenter har eksempelvis datablade (EPD) for disse faser på deres hjemmesider.

Man vurderer også miljøbelastningen i bygningens brugsfase, herunder simuleret energiforbrug og forventet udskiftning af bygningsdele, der har kortere levetid end beregningsperioden. Da man i sagens natur ikke kan forudse præcis hvordan bygningen bruges og hvor længe, tager man udgangspunkt i en antaget

levetid på f.eks. 50 år. Noget af det mest bæredygtige man kan gøre er dog at beholde bygninger i længere tid, da man på den måde kan få mest mulig brugskvalitet ud af den miljøbelastning, man i produktions- og opførelsesfasen allerede har udløst.

En livscyklusvurdering rummer slutteligt også en vurdering af, hvad der sker med bygningsdelene, når man skal afmontere eller nedrive bygningen. Det kan være svært at gætte, hvor effektiv man er til at genbruge byggematerialer om 50 eller 100 år, men man tager udgangspunkt i antagelser baseret på dagens praksis. Man angiver ofte anslåede potentialer for genbrug eller upcycling. Disse antagelser medtages dog ikke i beregningen og angives ofte som "Uden for projekt".

Ovenstående betragtninger er helt centrale, når man skal forstå, hvordan man kan vurdere og sammenligne miljøbelastning på tværs af forskellige strategier for brug af træ.

I denne publikation tager vi udgangspunkt i standardhus bygget af betonelementer. Betonelementer har en stor miljøbelastning i produktionsfasen (bl.a. på grund af det store energiforbrug i produktionen af cement).

Vi er dog relativt gode til at håndtere beton efter endt levetid (nedbrydes og genbruges bl.a. som skærver og tilslag), så når man vurderer miljøbelastningen for et betonhus, vil man altså se stor belastning i produktionsfasen og relativt lille belastning efter endt levetid.

Det modsatte gør sig groft sagt gældende med træ: I produktionsfasen absorberer træer CO₂, og belaster således klima meget mindre. Når man fælder træer, saver dem op og indbygger dem i huse, deponerer man CO₂ i stedet for at lede den ud i atmosfæren. Hvis man beholder sit træhus for evigt, har man en negativ miljøbelastning. I nutidige LCA beregninger tager man dog udgangspunkt i, at træet brændes efter endt levetid. Denne proces frigør den deponerede CO₂, og man kan derfor notere sig en markant miljøbelastning på træ i vurderingerens afsluttende faser.

På den baggrund kan miljøgevinsten ved at benytte træ ofte fremstå lavere end forventet. Man kan håbe, at vi i den kommende tid bliver bedre til at genbruge træ fra bygninger, vi ikke bruger mere, men i denne publikations beregninger tager vi udgangspunkt i dagens gældende standarder for at sikre sammenlignelighed og brugbarhed i nutidige byggeprojekter.

Læs mere om livscyklusvurdering (LCA) her:

Den Frivillige Bæredygtighedsklasse:

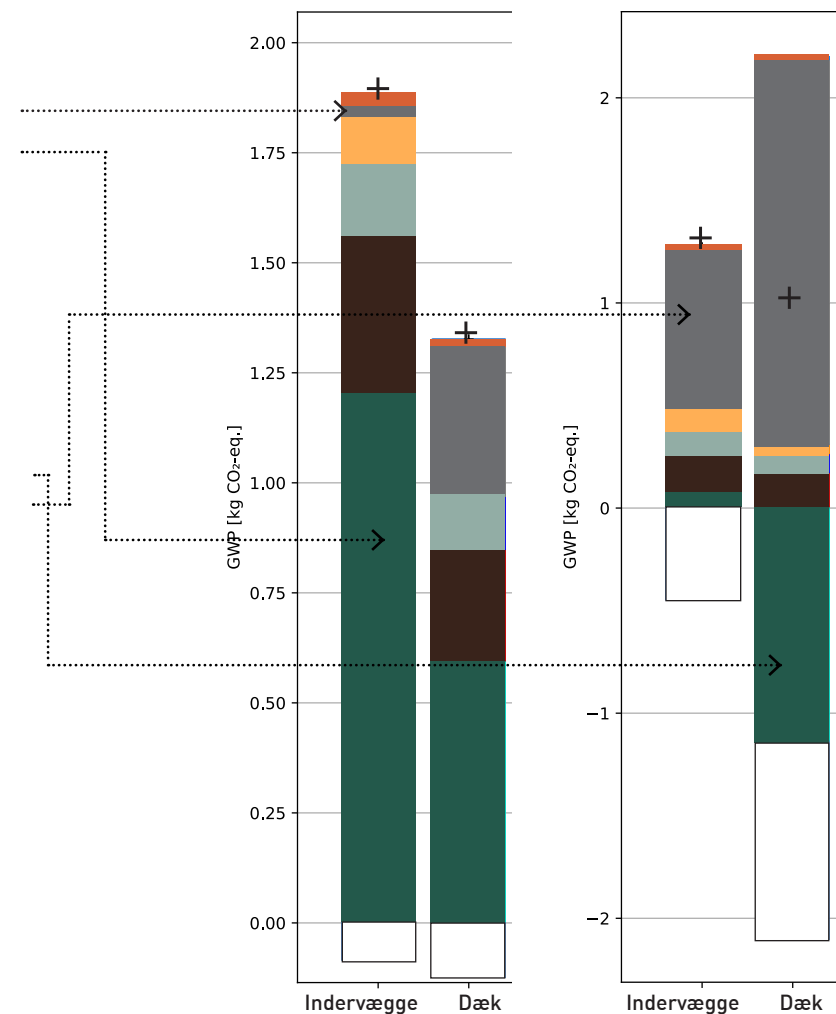
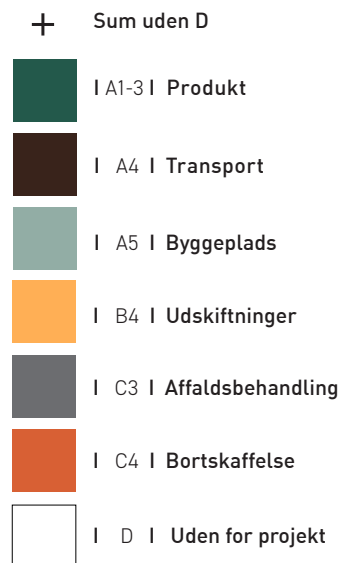
<https://baeredygtighedsklasse.dk/Supplerende-vejledning-og-videndeling/Introside#lca-i-praksis-vejledning>

BUILD: "Klimapåvirkning fra 60 bygninger"

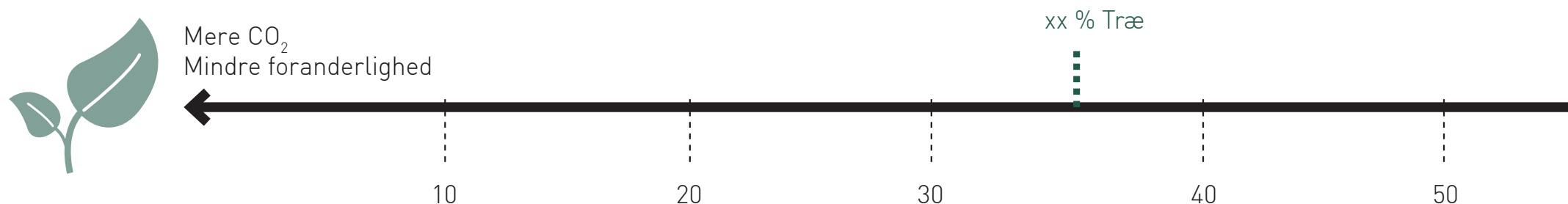
<https://build.dk/Assets/Klimapaavirkning-fra-60-bygninger/SBi-2020-04.pdf>

Betonelementer:
Stor miljøbelastning i produktionsfasen (grøn).
Lille belastning efter endt levetid (grå).

Massivtræelementer (CLT):
Negativ miljøbelastning i produktionsfasen (grøn).
Stor belastning efter endt levetid (grå).



INTRO



HVOR MEGET TRÆ ? ET BAROMETER HVOR MAN KAN SKRUE OP OG NED

At bygge mest muligt i træ er en af mange mulige strategier for at nedbringe et byggeris miljøbelastning. Kan man erstatte en række bygningsdele med en stor miljøbelastning (f.eks. betonelementer, aluminium m.m.) med bygningsdele i træ, er der store miljøgevinster er hente.

Det er dog uhyre sjældent at man bygger huse udelukkende i træ. Der findes en række barrierer i form af bl.a. brandkrav, akustikkrav og fugt, der kan udløse følgearbejder, og dermed gøre en række af træløsningerne for omkostningstunge til den almene rammeøkonomi. Tilsvarende kan en træfacade eller trævin-

duer udløse driftomkostninger, der både i forhold til miljøbelastning og totaløkonomi kan vise sig ikke at være bæredygtige på længere sigt.

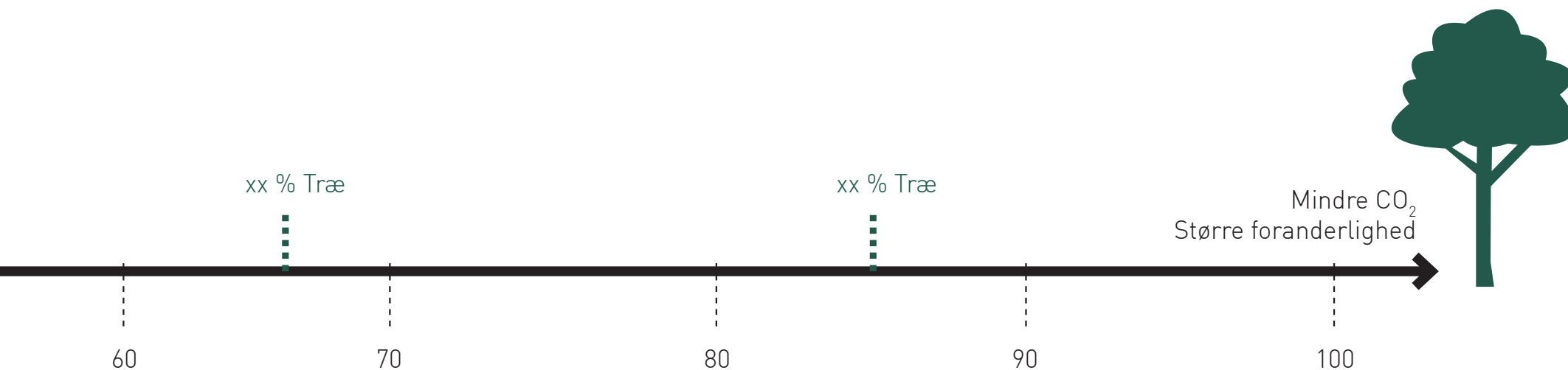
I Træbarometeret arbejder vi med muligheden for at skrue op og ned for mængden af træ fremfor for enten/eller-løsninger. Der er populært sagt tale om et barometer, der kan stige og falde nogenlunde trinkløst, og ikke en kontakt, der enten kan tændes eller slukkes.

Vi læner os op af Torben Valdbjørn Rasmussens definition:



Træbyggeri er byggeri, hvor træ eller træbaserede produkter anvendes til en større eller mindre del af de byggematerialer, der er anvendt over terræn eller over den lastfordelende plade af beton i terrændæk, eksklusiv glasarealer. Andelen af træ eller træbaserede produkter defineres som disse produkters volumenandel i procent af byggeriets materialer.

*Torben Valdbjørn Rasmussen, BUILD,
AAU i Boliglaboratorium 23. marts 2021*



Træbarometeret er altså et katalog over en række mulige blandingsprodukter. I den ene ende findes Trin 0/Standardhuset med relativt lidt træ. Over en række trin skrues op for mængden af træ helt til Trin 5, der rummer en stor mængde træbaserede bygningsdele.

Med Træbarometeret i hånden kan man i planlægningen af byggeprojekter i nogen grad skrue op og ned for mængden af træ i løbet af et projektforsløb. Skulle man støde på økonomiske vanskeligheder eller tekniske problemer, håber vi, at man vil nø-

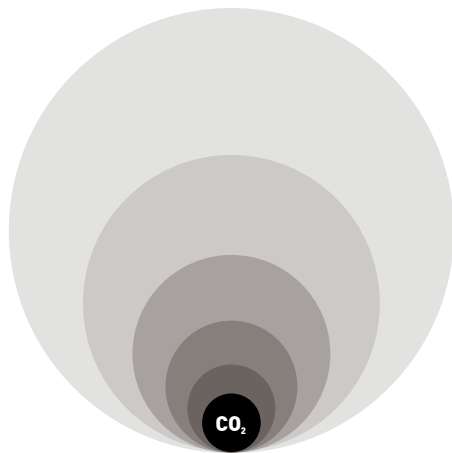
jes med at skrue lidt ned, fremfor helt at opgive træambitionerne og falde tilbage til standardhuset (Trin 0).

Det skal understreges, at man ikke i et snuptag kan erstatte betonelementer med CLT elementer i træ. Bygningsdele i forskellig grad af træ har meget forskellige konstruktive og brandtekniske egenskaber. Vi vil derfor rettere udpege en række metoder til at bruge mere træ og linke til projekter, producenter og eksperter, der kan understøtte det videre arbejde.

Hvis man tænker, at f.eks. 20 % lavere miljøbelastning lyder som et lavt tal, er det værd at huske, at den almene sektor har en volumen, hvor selv en mindre procentuel forbedring af miljøbelastningen vil have betydning på makroniveau.

Hvis løsningerne kan lade sig gøre inden for den almene rammeøkonomi, vil endnu flere aktører kunne være med, og vi vil som branche og samfund være tættere på at sænke udledningen af CO₂.

MÅLSÆTNINGER

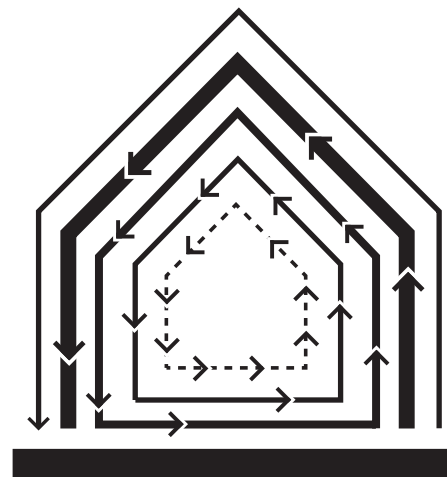


MÅL #1: MILJØBELASTNING

Reduceret CO₂-udledning

Byggeriet står for en stor del af Danmarks CO₂-udledning - så her er rig mulighed for forbedring.

Der findes mange metoder til at nedbringe byggebranchens CO₂-udledning, og særligt bygningsdele i træ rummer store mulige CO₂-besparelser. Træ absorberer CO₂, mens det vokser, og hvis vi efterfølgende bruger træ som materiale, når vi opfører bygninger, kan vores bygninger være med til at indkapsle CO₂. Det kræver dog, at vi indretter dem rigtigt og undlader at brænde træet, når byggeriet evt. er udtjent.



MÅL #2: FLEKSIBILITET

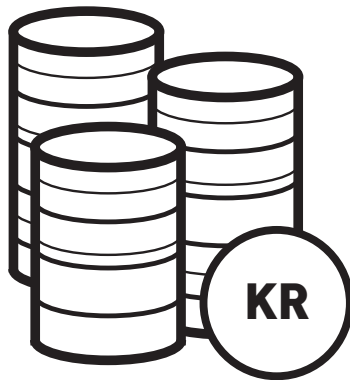
Boliger der følger beboernes livsmønstre

Danmarks almene byggerier har gennem mere end 100 år dannet ramme om en stor gruppe borgeres dagligdag. Der er i dag boliger til mange, forskellige livssituationer og familiemønstre, og der vil også fremadrettet være brug for både store og små boliger. Da mange ønsker at bo i de større byer, er der pres på kvadratmeterne.

Træ kan relativt let bearbejdes, og hvis vi bygger strategisk med træ, kan vi opføre bygninger med stor fleksibilitet.

Vi vil her prøve at belyse de muligheder træ som byggemateriale giver bygningernes evne til at forandre sig i takt med beboernes livssituationer.

En effektiv måde til at nedbringe bygningers klimabelastning er at benytte dem længe. Hvis bygningerne ikke kan følge med beboerne, bliver de revet ned.



MÅL #3: ALLE SKAL KUNNE VÆRE MED

Bæredygtigt byggeri inden for den almene rammeøkonomi

Der findes allerede en række fyrtårnsprojekter, der demonstrerer innovative metoder til at benytte træ i byggeri. I dette hæfte vil vi formidle erfaringerne fra fyrtårnene og anviser metoder til at implementere mere træ i byggeriet inden for den almene rammeøkonomi.

Den almene sektor udgør en stor del af dansk boligbyggeri, så hvis alment boligbyggeri kan udlede f.eks. 20 % mindre CO₂, gør det en forskel i makroskala. Omkostningseffektive løsninger afprøvet inden for en almen rammeøkonomi vil tilsvarende være indenfor rækkevidde for en lang række andre aktører i byggebranchen. Fyrtårnene har vist vejen — nu skal alle være med!

KRAV OG BARRIERER

Der findes en lang række krav, som alt byggeri skal leve op til. Nedenstående er særlige fokusområder for træbyggeri. For hvert trin i træbarometeret vil vi se på mulige barrierer og løsninger for disse delemner.

BRAND



Bygningsreglementet stiller de samme krav til alle bygninger. Det centrale er, hvordan man i den enkelte bygning lever op til disse krav i hele bygningens levetid. Træ brænder lettere end mursten og beton, og man er derfor ofte nødt til at behandle, imprægnerer eller inddække træet i forskellig grad for at kunne leve op til kravene i bygningsreglementet.

Bygningsreglementet bliver løbende revideret, og nye krav kommer til. Det kan udløse kostbare følgearbejder i byggeprojekterne.

Brand er en helt central barriere i arbejdet med at bruge mere træ i byggeriet. Kan brandkravene ikke overholdes, eller sprænges økonomien, kan byggeriet ikke realiseres.

I skrivende stund er navnligt brandkravene til bærende konstruktioner i træ en central barriere, mange producenter forsøger at overkomme.

De bærende konstruktioner udgør ofte den største miljøbelastning, så det er en af de barrierer, man skal tage stilling til tidligt i processen.

AKUSTIK



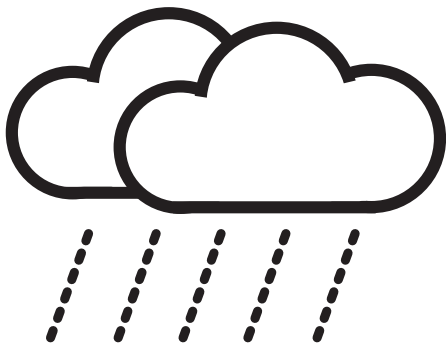
I en lang række af den almene sektors ældre, hæderkronede byggerier har man allerede benyttet store mængder træ: Man har ofte brugt bærende bjælkelag med jordindskud og plankegulve, og lejlighedsskel er ofte blevet bygget som bræddevægge.

Disse løsninger har dog vist sig at give beboerne store støjgener på tværs af boligerne, og man har derfor løbende strammet bygningsreglementets krav til akustisk dæmpning på tværs af boligerne.

Træ er lettere end f.eks. betonelementer, og er derfor mindre effektivt til at stoppe lyd. Man er altså ofte nødt til at gøre noget ekstra ved træbyggeri, som betonelementer kan løse i en enkelt arbejdsgang/bygningsdel.

Akustik er derfor en helt central barriere i arbejdet med at bruge mere træ i byggeriet. Kan kravene ikke overholdes, eller sprænges økonomien af ekstra lag og følgearbejder, kan byggeriet ikke realiseres.

FUGT



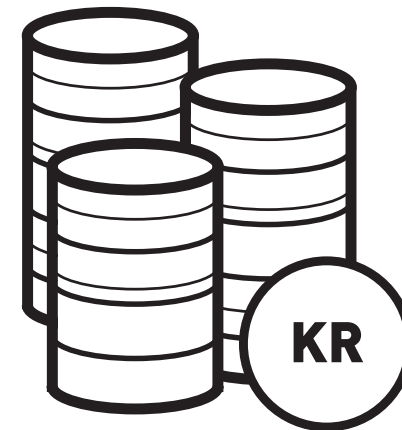
Træ fungerer glimrende som byggemateriale, så længe det holdes tørt. Bliver træ fugtigt uden mulighed for at tørre, kan der opstå råd, skimmel og en lang række andre skadelige følgevirkninger. Træfacader skal ofte også varmebehandles, imprægneres eller løbende males for at kunne opretholde sin funktion. Skulle ulykken være ude, er det dog ofte let at reparere facader eller skifte en beklædning ud.

Når man vil skifte en større mængde indbyggede bygningsdele ud med træløsninger, er det derimod helt centralt at holde dem tørre i hele byggeprocessen. Dette kan udløse krav til kostbare overdækninger på byggepladserne og rumme en risiko for skader, der kan være omkostningstunge at afhjælpe.

At udvikle en funktionel og økonomisk overkommelig fugtstrategi er derfor en central del ved anvendelse af træ i byggeriet.



ØKONOMI



Brand, akustik og fugt er alle kendte barrierer, der ofte har kendte løsninger.

En række af disse løsninger rummer dog arbejdsgange og supplerende bygningsdele, der ikke er nødvendige i mere standardiseret (beton)byggeri.

Træbyggeriet skal kunne konkurrere med det standardiserede byggeri og realiseres inden for den almene rammeøkonomi. Derfor er planlægningen vigtig, så visionære træprojekter ikke støder på barrierer i form af kostbare følgearbejder.

Udformes strategien rigtigt, rummer træ også mulighed for besparelser, da det f.eks. ofte kræver mindre konstruktioner, der kan løftes med lettere kraner og ikke skal tørre, som våd beton skal.

Vi vil på de følgende sider anviser muligheder for at anvende så meget træ som muligt inden for den økonomiske ramme.

BETONHUS – ET ENSARTET UDGANGSPUNKT

BETONHUS / STANDARDOPGANG

ET ENSARTET UDGANGSPUNKT TIL SAMMENLIGNING

I denne publikation har vi til demonstrationsformål defineret et standardhus, som vi vil anvende i en række variationer. Det er ikke fordi, vi ønsker at bygge det samme hus eller den samme planløsning alle steder — men på den måde kan vi gøre en række forskellige løsningsscenerier sammenlignelige. Planløsningen vil altså være den samme (med varierende fleksibilitetsmuligheder) i alle træbarometerets trin.

Det er muligt at bygge huse med større eller mindre andel af træ i mange højder. I vores standardhus har vi taget udgangspunkt i 1-5 etager. Langt størstedelen af dansk boligbyggeri opføres i dette etage-spænd, hvor der også findes flest løsninger, der kan overkommes inden for den almene rammeøkonomi.

Som supplement til standardmodellen i 1-5 etager, vil vi også i nogen grad tage stilling til en alternativ model i 10 etager. Generationernes Træhus i Ørestad (10 etager) indgår i dette projekt, og ved at sammenligne de problematikker, man støder på i denne højde, med de mere standardiserede 1-5 etager, vil

vi belyse en række muligheder og barrierer ved at bygge højt i træ.

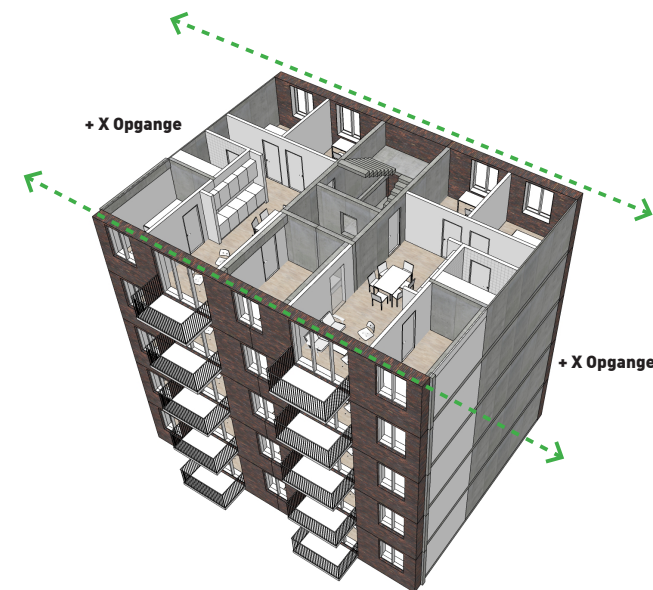
STEDSSPECIFIKKE FORHOLD

For at gøre scenarierne sammenlignelige og relevante for flest mulige har vi ikke medtaget stedspecifikke data. Funderingsforhold, forurennet jord, solorientering, bylivsforhold, ønsker/krav om kælder, lokalplansforhold m.m. kan variere stærkt fra byggegrund til byggegrund. Disse har alle stor betydning for byggeriet, men for at sikre sammenligneligheden på tværs af scenarierne, har vi undladt at medtage disse data.

OVERBLIK OG INDBLIK

Det er centralt at forstå, at denne publikation giver et indledende overblik til brug i de tidligste faser af et byggeris tilblivelse. Vi henviser for hvert trin i publikationen til en række eksempelbyggerier, producenter og eksperter, som man med fordel kan studere, når overblikket skal udbygges til et dybere indblik.

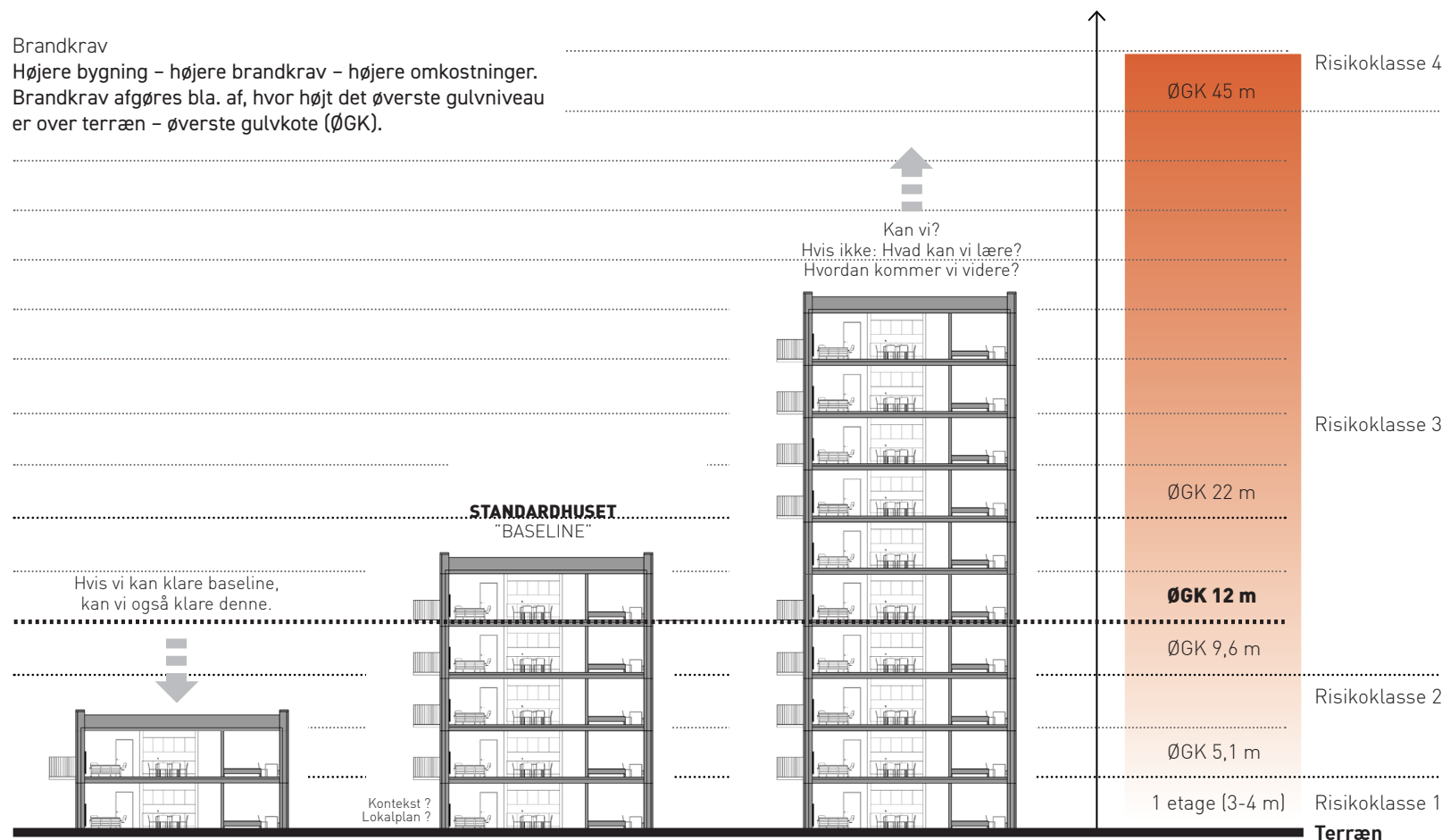
Læs mere om den bagvedliggende metodik i Meto-deappendixet.



Standardopgangen
— kan udformes som punkthuse,
længer, karreer m.m.

Brandkrav

Højere bygning – højere brandkrav – højere omkostninger.
Brandkrav afgøres bla. af, hvor højt det øverste gulvniveau er over terræn – øverste gulvkote (ØGK).



BRAND / HØJDER / KRAV

HØJERE BYGNING, HØJERE KRAV

Bygningsreglementets krav til bygningernes brandegenskaber er defineret ved forskellige parametre. Bl.a. hvem der bruger bygningen, hvad de bruger bygningen til, og hvor højt over terræn bygningens øverste gulvflade er. Jo højere det øverste gulv er over terræn, jo højere krav. Disse krav springer opad i en række etaper med hver deres batteri af ekstra

krav, og her er skillelinjen ved øverste gulvniveau på 12 meter over terræn central. I denne højde kan man oftest (afhængig af byggegrunden og byggeteknikken) bygge 4-5 etager inden for krav, hvor de fleste byggeteknikker kan følge med. Et centralt krav, der skifter ved denne skillelinje, er kravet om, hvor længe de bærende konstruktioner kan holde sig funktionelle

under en brand. Bygger man højere end ØKG 12 meter, springer kravet op i et niveau (REI 120, dvs. 120 minutters brand), hvor kun få af de nuværende kendte træsystemer kan følge med. Der sker dog en rivende udvikling på producentsiden i disse år, så vi forventer nye muligheder.

TRÆBAROMETERET

Træbarometeret er et katalog over en række mulige blandingsprodukter af træ og andre bygningsdele. I den ene ende findes Trin 0 / Standardhuset med relativt lidt træ. I opslagene om Trin 1-5 belyser vi en række mulige strategier for at skrue op for mængden af træ. Det er vores håb, at man kan finde inspiration i alle 6 trin og sammensætte det rigtige blandingsforhold til det enkelte, konkrete projekt. De færreste projekter vil lande rent på et enkelt af trinene.

Miljøbelastningen er angivet som procent af Trin 0 / Betonhus inkl. affaldshåndtering, som man beregner det nu. Procenttallet i parentes er miljøbelastningen uden affaldshåndtering, for at belyse hvilke strategier, der muligvis rummer mulighed for lav CO₂-udledning på kort sigt og potentiale for bedre genanvendelsesformer på længere sigt.

0

Trin 0 /
Betonhus
100 % CO₂ækv

Bærende system af betonelementer, betonhuldæk, betonbagmure med skalmur, lejlighedsskel i betonelementer og tunge vådrumsmoduler.

1

Trin 1 /
Mindre Beton
88 % CO₂ækv

Alle ikke-bærende/stabiliserende betonelementer erstattes med lette skeletkonstruktioner i træ. Badekabiner erstattes af lette moduler.

2

Trin 2 /
Hybrid
79 % CO₂ækv

De materialer der er bedst til opgaven på de rigtige steder. Bærende konstruktion er en hybrid af bærende træ og lydæmpende beton. Bærende, stabiliserende og brandsikrede flugtvejstrapper i beton.

3

Trin 3 /
CLT Elementer
71 % CO₂ækv

Bærende konstruktion med massive træelementer: CLT-elementer (Cross Laminated Timber). I dette trin afhjælpes krav til brand og akustik uden brug af beton.

4

Trin 4 /
Rummoduler
70 % CO₂ækv

Bærende konstruktioner i materialeoptimerede træskeletkonstruktioner. Udføres som rumstore moduler på en fabrik og transporteres til byggepladsen på lastbiler.

5

Trin 5 /
Materialer på vej
68 % CO₂ækv

Konstrueret som Trin 3 med ekstra fokus på alternative materialer. Der anvendes f.eks. halm som isoleringsmaterialer, trævinduer og genbrugsmaterialer.

TRIN 0/ BETONHUS



Trin 0/ Betonhus

Træ / Vægt: 1 %

Træ / Volumen: 2 %

LCA / CO₂ ækv: 100 % af Trin 0

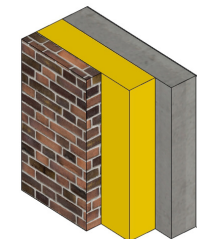
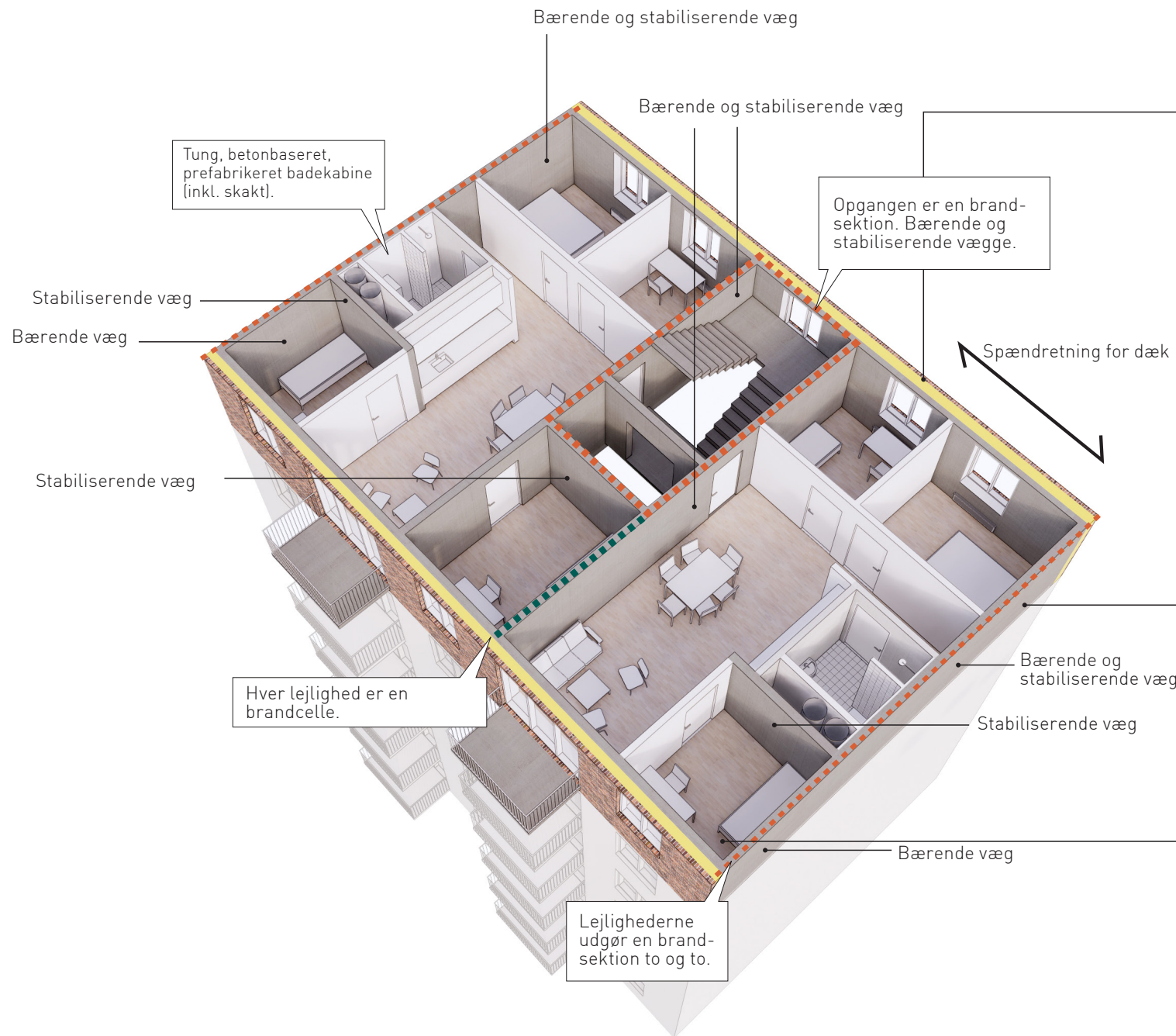
LCA / CO₂ ækv (uden affald): 100 % af Trin 0

Trin 0 / Betonhus er udgangspunktet i træbarometeret.

Vi betragter dette som et standardhus, der kan sammenlignes med på alle parametre.

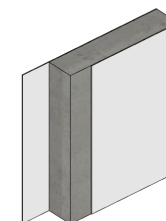
Trin 0 opføres med et bærende system af betonelementer, betonhuldæk, betonbagmure med skalmur, lejlighedsskel i betonelementer og tunge vådrumsmoduler.

Af flere grunde har det været fordelagtigt at bygge på denne måde i årtier. Derfor skal de øvrige trin kunne matche betonhuset økonomisk og overgå det på andre parametre for at kunne realiseres.



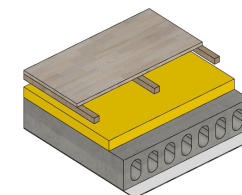
FACADENS OPBYGNING

I Trin 0 lukkes hele husets facade samtidig med den øvrige betonelementmontage. Man kan let komme igang med opføre bygningens indersider, mens murene opfører den isolerede teglfacade.



LEJLIGHEDSSKEL

Alle lejlighedsskel monteres samtidigt med den øvrige betonelementmontage. Betonelementerne klarer brand og lydkrav og skal kun spartles og males. Disse få arbejdsgange har været med til at gøre Trin 0 konkurrencedygtigt.



ETAGEDÆK

I Trin 0 udføres etagedæk i materialeoptimerede betonhuldæk. I kraft af at dækkene er hule, bruges der relativt lidt beton. De har alligevel ret let ved at overholde brand og lydkrav.

TRIN 0 / BETONHUS



BRAND / Løsninger / Barrierer

I Trin 0 er alle bærende og stabiliserende konstruktioner udført som betonelementer. Betonelementerne kan ofte overholde bygningsreglementets brandkrav uden yderligere beklædninger, og på den baggrund er de fleste synlige overflader i Trin 0 malet beton.

Beton er teknisk klassificeret som ubrændbart materiale, og man har groft sagt løst bygningsreglementets brandkrav på både den ene og den anden side af ØGK 12 m (øverste gulvkote 12 meter over terræn), så snart man har færdigmonteret betonelementerne.

Der er naturligvis flere lag i brandsikringen af Trin 0, men på dette parameter er betonløsninger meget konkurrencedygtige.

At kunne overholde brandkravene med meget få arbejdsgange (inkl. dertilhørende anlægsudgifter) er ofte et argument, der bringer projekter i retning af Trin 0.



15-16 etager
Øverste gulvkote max 45 m



7-8 etager
Øverste gulvkote max 22 m



4-5 etager
Øverste gulvkote max 12 m



1-4 etager
Øverste gulvkote max 9,6 m



LYD / Løsninger / Barrierer

Betonelementer rummer i kraft af deres tyngde gode akustiske egenskaber. Man kan have en oplevelse af at et tomt rum med betonoverflader kan runge, men i bygningsreglementets krav er det bygningens evne til at dæmpe lyd i mellem boligerne, der tæller.

Betonvægge dæmper effektivt horisontal forplantning af lyd mellem boliger, og en traditionel betonhuldækkonstruktion med et trægulv på lydbrikker dæmper effektivt den vertikale forplantning af lyd.

Der har været eksempler på betonbyggerier fra 1960'erne og 1970'erne

med store lydproblemer, men i dagens Danmark har man i vid udstrækning løst disse komplikationer, og de fleste beboere, der flytter fra et fuldmuret hus fra slutningen af 1800-tallet til et nutidigt Trin 0-hus, vil opleve en stor dæmpning af støj fra naboerne.

Trin 0 husene har altså løst et centralt problem for beboerne på en overkommelig og konkurrencedygtig måde.

At kunne overholde bygningsreglementets lydkrav med meget få arbejdsgange (inkl. dertilhørende anlægsudgifter) er ofte et argument, der bringer projekter i retning af Trin 0.



FUGT — barrierer og løsninger

Når man bygger et Trin 0 hus, bygger man ofte først det bagvedliggende betonhus i sin helhed og monterer vinduer hurtigst muligt i den efterfølgende proces. Man taler om, at man "lukker huset", så regn ikke kan trænge ind. Betonelementer kan tåle at blive monteret og stå udenfor i regnvejrs, men når man skal male, lægge gulve m.m., skal huset være tørt. I kraft af at beton produceres ved at tilsætte store mængder vand i støbeprocessen, rummer Trin 0-huset en svaghed på dette punkt.

En række af de mere træbetonede trin i denne publikation rummer problematikker med at holde trækonstruktionerne tørre, men lykkes dette, har de en fordel frem for betonbyggerierne i Trin 0.

Så snart Trin 0-huset er lukket, skal det tørres ud med varmeblæsere, der groft sagt kan beskrives som store hårtørrere. Dette tager lang tid (hvilket er fordyrende) og bruger en stor mængde energi.

Byggeteknikker med fugtstrategier der rummer kortere tørretid og lavere energiforbrug, kan altså i nogen grad konkurrere med betonbyggerier.



ØKONOMI — barrierer og løsninger

Trin 0-husene rummer helt centrale konkurrencefordele i forhold til bygningsreglementets krav til brand og lyd. Når betonelementerne er monteret, kan man groft sagt nøjes med at lægge gulve og male væggene og lofterne. Her rummer de fleste af denne publikations mere træbaserede trin en lang række supplerende beklædninger og arbejdsgange, der ofte munder ud i øgede materialeudgifter og større udgifter til løn.

Trin 0-husene rummer dog store udgifter forbundet med bl.a. udtørring af betonen (tid og energi), dyrere kraner og dyrere konstruktioner og fundamenter, der skal bære de tungere huse.

På dette punkt rummer de tørre og lette træbyggerier en række fordele, som man skal være i stand til at høste for at kunne bygge mere i træ inden for den almindelige rammeøkonomi.

Hvis man skal kunne konkurrere økonomisk med Trin 0, skal både rådgivere og entreprenører kunne se og udnytte disse fordele for at kunne opveje højere udgifter til bl.a. øgede følgearbejder og beklædninger.



FORANDERLIGHED

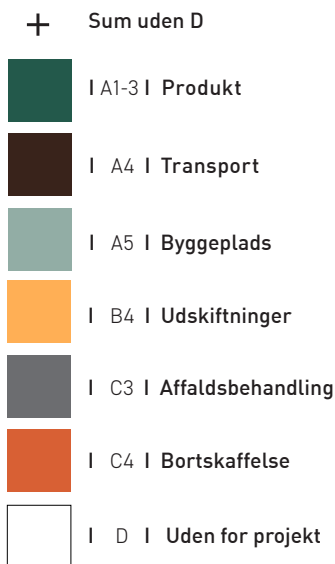
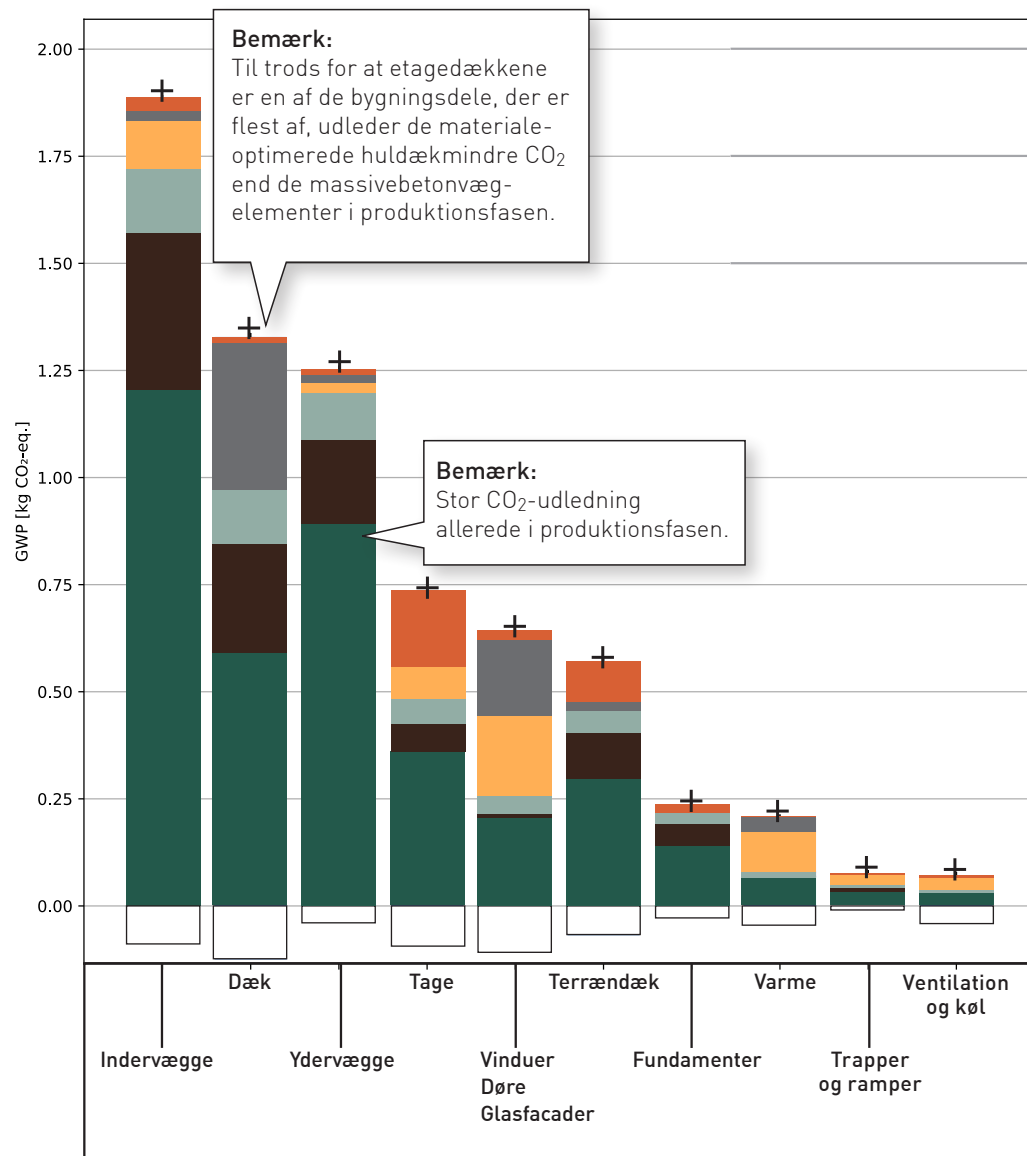
Alle fordelene ved brandtekniske og lydmæssige barrierer mellem lejlighederne i et Trin 0-byggeri bliver stort set til ulemper i forhold til byggeriernes evne til at tilpasse sig beboernes varierende rumbehov og livssituation.

I de større danske byer har man eksempelvis sammenlagt små arbejderboliger fra sidste halvdel af 1800-tallet til større boliger, både på langs og på tværs af etageskel. Bygningerne har med andre ord kunnet følge med velstandsstigningen i det omkringliggende samfund. Det skyldes, at de

var opført på en måde, som muliggør, at man f.eks. let har kunne lave hul i en væg, rive vægge mellem to boliger ned eller gennembryde gulvet og lave boliger i to etager.

Sådanne sammenlægninger er som udgangspunkt ekstremt besværlige i Trin 0-huse, da betonelementerne er støbt sammen, kostbare at skære hul i og ofte svære at bearbejde uden at svække den bærende konstruktion. Trin 0-huse vil på den baggrund ofte forblive, som de oprindeligt var indrettet, og dermed blive revet ned, hvis den oprindelige indretning ikke længere fungerer i forhold til det omkringliggende samfunds krav og ønsker.

TRIN 0 / BETONHUS



Hotspot: CO₂ ækvivalenter pr. bygningsdel (GWP: kg CO₂/m²/år)

Hotspotanalyse gør det muligt at se miljøbelastningen for hver gruppe af bygningsdele. På den baggrund kan man prioritere, hvor man skal forsøge at optimere først.

Da der er tale om en standardopgang med 5 etager, er der store mængder etagedæk i forhold til mængden af vægge.

Bemærk, at det er bygningsdelene med beton, der fylder mest. Dette skyldes i høj grad CO₂-udledningen forbundet med produktionen af cement. Det betyder også at CO₂ med garanti bliver udledt, da den udledes allerede i produktionsfasen. Træbaserede løsninger udleder størstedelen af deres CO₂ i affaldshåndteringen og giver derfor en længere årrække til at minimere den forestående CO₂-udledning i forbindelse med nedrivning og genbrug.

Viden & links

Ønsker du at vide mere om denne udbredte måde at bygge på, har vi samlet en række projekter, vejledninger og eksempler på igangværende forskning. De viste eksempler er ikke at betragte som konkrete eksempler på træbarometerbyggeri, men rettere inspiration til yderligere fordybelse i hvordan mange byggerier opføres i dag.



Eksempel

Sandkaj
Københavns Nordhavn

Dansk Arkitekturcenters hjemmeside:
<https://dac.dk/viden/arkitektur/aarhusgadekvarteret/>



Eksempel

Frederiks Brygge
Københavns Sydhavn

Dansk Arkitekturcenters hjemmeside:
<https://dac.dk/viden/arkitektur/frederiks-brygge/>



Eksempel

Teglholmen
Københavns Sydhavn

Dansk Arkitekturcenters hjemmeside:
<https://dac.dk/viden/arkitektur/teglholmen/>



Eksempel

Valbys nye bykvarterer

Dansk Arkitekturcenters hjemmeside:
<https://dac.dk/viden/arkitektur/groenttorvet/>

TRIN 1/

MINDRE BETON

Trin 1/

Mindre beton

Træ / Vægt: 7 %

Træ / Volumen: 4 %

LCA / CO₂ ækv: 88 % af Trin 0

LCA / CO₂ ækv (uden affald): 81 % af Trin 0

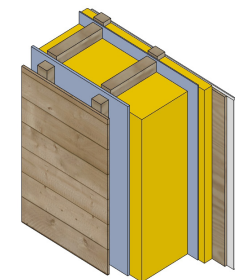
I Trin 0 bruger man betonelementer både som bærende og stabiliserende elementer, men også en række andre steder, hvor de ikke har samme konstruktive nødvendighed.

I Trin 1 erstattes alle ikke-bærende/stabiliserende betonelementer med lette skeletkonstruktioner i træ. Det betyder, at alle betonelementerne i facaden erstattes af materialeoptimerede træskeletmoduler.

Badekabiner erstattes af lette stålmoduler, og lejlighedsskel erstattes i videst muligt omfang af lette lyddæmpede skeletvægge. De lette lejlighedsskel gør det betydeligt nemmere at lægge dele af lejligheder sammen og øger bygningens fleksibilitet betydeligt.

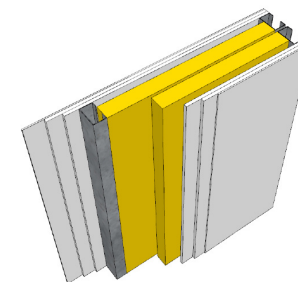
LETTE BADEKABINER

De præfabrikerede betonbadekabiner erstattes af lette badekabiner med en mindre miljøbelastning. Badekabinerne udføres stadig i uorganiske materialer med henblik på at minimere fugtskader.



FACADENS OPBYGNING

Etagedækkene bæres ikke af facaderne, da de i stedet ligger af på lejlighedsskel og trappeopgange. Betonfacaderne fra Trin 0 erstattes derfor af lette trækassetter med genbrugsisolering og træbeklædning.



FÆRRE BETONVÆGGE

De betonvægge, der ikke stabiliserer huset, erstattes med søjler, bjælker og lette skeletkonstruktionsvægge. Denne kombination kan stadig bære de overliggende etagedæk, og har en mindre miljøbelastning. At arbejde med lette lejlighedsskel giver ligeledes større fleksibilitet i forhold til fremtidige sammenlægninger og ombygninger.

TRIN 1 / MINDRE BETON



BRAND — barrierer og løsninger

I Trin 1 er de fleste bærende og stabiliserende konstruktioner udført som betonelementer. Betonelementerne kan ofte overholde bygningsreglementets brandkrav uden yderligere beklædninger, og på den baggrund er de fleste synlige overflader i Trin 1 malet beton.

Ikke-stabiliserende felter af vægge mellem boligerne (horisontale lejlighedsskel) er i Trin 1 erstattet af en kombination af betonsøjler, bjælker og lette gips-/skeletvægge. Det er altså stadig en bærende betonkonstruktion (søjler), men med en markant mindre mængde beton. Både betonsøjler og gipsvægge kan relativt let overholde en lang række brandkrav.

Facadens træskelet er inddækket af ubrændbart materialer (gips og fibercementplader), så hvis man vælger en ubrændbar regnskærm/udvendig beklædning, kan også disse elementer brandsikres med nogenlunde konventionelle tiltag.



15-16 etager
Øverste gulvkote max 45 m



7-8 etager
Øverste gulvkote max 22 m



4-5 etager
Øverste gulvkote max 12 m



1-4 etager
Øverste gulvkote max 9,6 m



LYD — barrierer og løsninger

Betonelementer rummer i kraft af deres tyngde gode akustiske egenskaber. Man kan have en oplevelse af at et tomt rum med betonoverflader kan runge, men i tilbygningsreglementets krav er det bygningens evne til at dæmpe lyd i mellem lejlighederne der tæller.

Betonvægge dæmper effektivt horisontal forplantning af lyd mellem boliger, og en traditionel betonhuldækkonstruktion med et trægulv på lydbrikker dæmper effektivt den vertikale forplantning af lyd.

I Trin 1 er dele af betonvæggene mellem boligerne (horisontale skel) erstattet med lette gipsskeletvægge. Da der er tale om en let konstruktion, er man nødt til at opbygge en væg med flere lag end Trin 0's betonelementer.

Disse lag kræver ofte flere mandetimer i montagen, da der skal monteres flere forskellige byggevarer (flere lag stålskelet, isolering og gipsplader), men er stadig at regne for standardløsninger.



FUGT — barrierer og løsninger

På samme måde som i Trin 0 bygger man i Trin 1 ofte først det bagvedliggende betonhus i sin helhed og monterer facadeelementerne inkl. vinduer hurtigst muligt i den efterfølgende proces.

Man lukker huset, så regnen ikke kan trænge ind.

Betonelementer kan tåle at blive monteret og stå udenfor i regnvej, men når man skal male, lægge gulve m.m. skal huset være tørt. Da beton produceres ved at tilsætte store mængder vand i støbeprocessen, rummer

Trin 1-huset stadig en svaghed på dette punkt. Der er mindre beton, der skal tørre, end i Trin 0, men udtørring er stadig et centralt emne i planlægningen.

En række af de mere træbetonede trin i nærværende publikation rummer problematikker med at holde trækonstruktionerne tørre, men lykkes dette, har de en fordel frem for betonbyggerierne i Trin 0 og Trin 1. Så snart Trin 0-husene er lukkede, skal de tørres ud med varmeblæsere, der groft sagt kan beskrives som store hårtørrere. Dette tager lang tid (hvilket er fordyrende) og bruger en stor mængde energi.



ØKONOMI — barrierer og løsninger

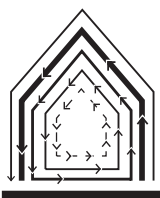
Trin 0 og Trin1-husene rummer helt centrale konkurrencefordele i forhold til bygningsreglementets krav til brand og lyd. Når betonelementerne først er monteret, kan man stort set nøjes med at lægge gulve og male væggene og lofterne. De fleste af denne publikations mere træbaserede trin rummer en lang række supplerende beklædninger og arbejdsgange, der ofte munder ud i øgede materialeudgifter og større udgifter til løn.

Facadeelementer produceret som træskeletkonstruktioner kan dog produceres på fabrik eller værksted under optimerede forhold, der kan være med til at holde prisen nede. En række producenter har tilsvarende et

meget lille spild, da de kan lade tiloversblivende byggematerialer gå direkte videre i næste produktion.

Tilsvarende er disse elementer ofte så lette, at man kan pakke mange på en lastbil, optimere transportomkostningerne og benytte mindre, billigere kraner til montage.

Priserne i branchen kan variere med konjunkturerne, men lette træskelet-facader er ofte konkurrencedygtige i forhold til betonelementer. På den baggrund er Trin 1-huset et godt bud på et konkurrencedygtigt alternativ til Trin 0.



FORANDERLIGHED

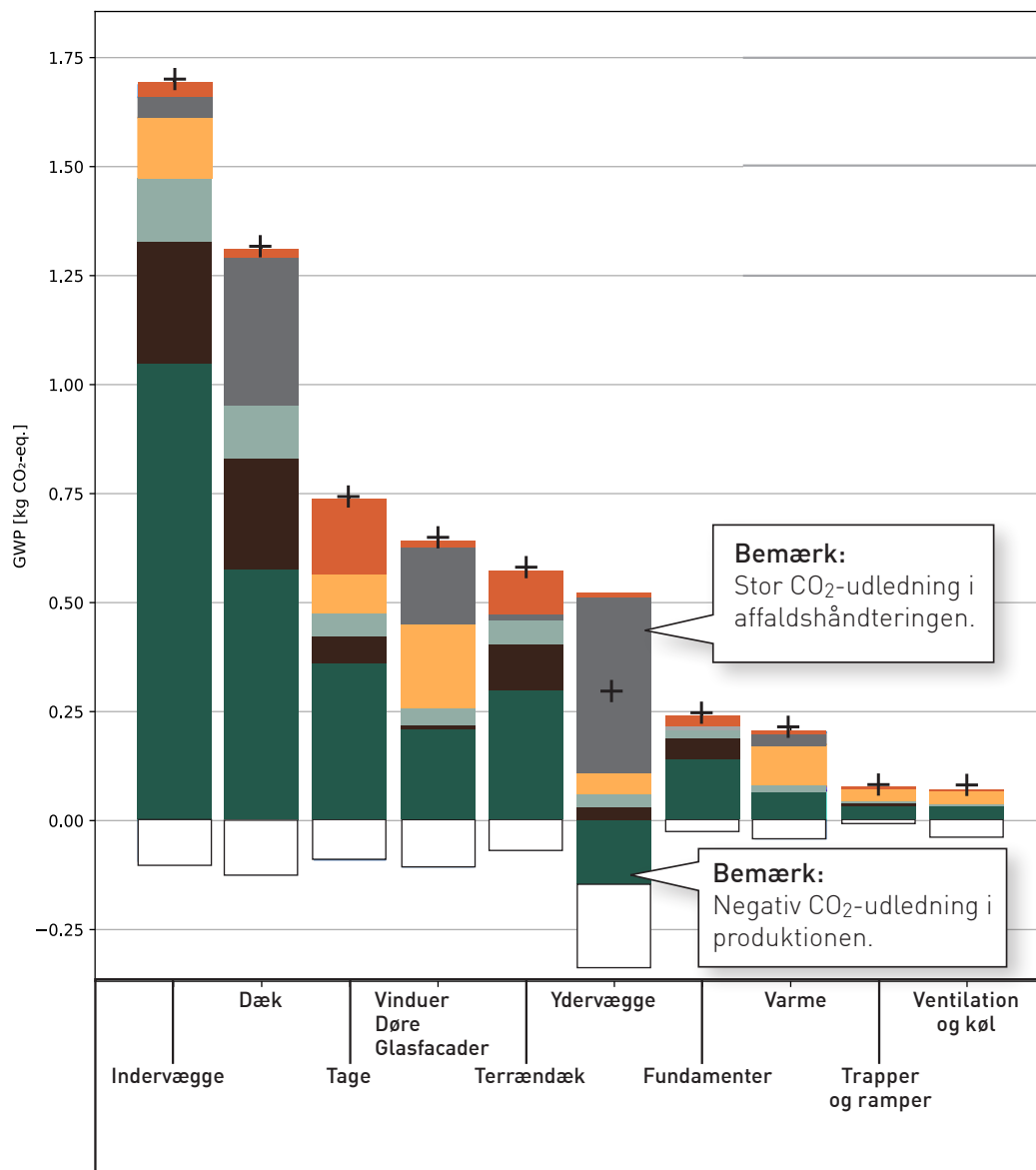
Trin 1 rummer markant større foranderlighed end Trin 0-husene. I det man arbejder med at udskifte strategisk udvalgte betonelementer mellem boliger på samme etage med lette skeletvægge, bliver det muligt at lægge hele boliger sammen, eller blot lade et værelse overgå fra en bolig til en anden.

Dette kan blandt andet have stor betydning i arbejdet med at fastholde resursestærke børnefamilier i almene bebyggelser, da boligerne i højere grad kan følge beboernes livssituationer. Hvis man f.eks. er blevet skilt,

eller ens børn er flyttet hjemmefra, kan det være attraktivt at afgive et værelse til naboen, og dermed nedsætte huslejen. Tilsvarende kan det at overtage et værelse fra naboen, give en resursestærk børnefamilie værelser nok og give dem mulighed for at blive boende uden f.eks. at skulle foretage skoleskift, købe bil m.m.

Facaden kan tilsvarende relativt let skrues af og ofte skilles ad. Det gør det muligt at opgradere bygningens klimaskærm flere gange i bygningens levetid og derved løbende forbedre bygningens driftsenergiforbrug og den afledte miljøbelastning.

TRIN 1/ MINDRE BETON



- + Sum uden D
- I A1-3 I Produkt
- I A4 I Transport
- I A5 I Byggeplads
- I B4 I Udskiftninger
- I C3 I Affaldsbehandling
- I C4 I Bortskaffelse
- I D I Uden for projekt

Hotspot: CO₂ ækvivalenter pr. bygningsdel (GWP: kg CO₂/m²/år)

Hotspotanalyse gør det muligt at se miljøbelastningen for hver gruppe af bygningsdele. På den baggrund kan man prioritere, hvor man skal forsøge at optimere først.

Da der er tale om en standard opgang med 5 etager, er der store mængder etagedæk i forhold til mængden af vægge.

Bemærk, at ydervægge (facader) nu optager CO₂ i produktionsfasen (mørkegrøn). Her udskydes CO₂-udledningen til nedrivnings-, genbrugs- og affaldsfasen (grå). Man kan altså argumentere for, at man indløser en hurtig CO₂-besparelse og køber sig tid til at finde mere raffinerede former for genbrug og nedrivning, inden huset rives ned. Dette kan være med til at bremse de aktuelle klimaforandringer på kortere sigt.

Viden & links

Ønsker du at vide mere om denne udbredte måde at bygge på, har vi samlet en række projekter, vejledninger og eksempler på igangværende forskning. De viste eksempler er ikke at betragte som konkrete eksempler på træbarometerbyggeri, men rettere inspiration til yderligere fordybelse i, hvordan mange byggerier opføres i dag.



Eksempel

Generationernes Byhus

Boligselskab: Boligforeningen 3B / KAB
<https://www.3b.dk/nyheder/2020/nye-baeredygtige-boliger-i-oerestaden>

<https://www.kab-bolig.dk/traebyggeri>

Arkitekt, Landskab, Ingeniør og
Entreprenør: Byggepartnerskabet &Os
bit.ly/Byggepartnerskabet

Producent/Produkt

Taasinge

Producentens Hjemmeside:
<https://www.taasinge.dk/>

Tekniske Vejledninger

Træinformation

Hjemmeside:
<https://www.traeinfo.dk/>

Publikationer og Vejledninger:
bit.ly/traeinfo



Eksempel

Tekstilhaven Almene Boliger

Boligselskab:
Boligselskabet af 1942, Nykøbing Sj.
<http://www.bs1942.dk/>

Arkitekt: JJW Arkitekter
<https://www.jjw.dk>

<https://www.jjw.dk/projekt/textilgarden-almene-boliger-rorvigvej/>



Producent/Produkt

Södra

Producentens Hjemmeside:
<https://www.sodra.dk/>

Eksempel fra Producentens Hjemmeside:
bit.ly/sodra_thermowood

Arkitekt: Argency
<https://arcgency.com/cph-village-vesterbro>

TRIN 2/

HYBRID

Trin 2/ Hybrid

Træ / Vægt: 17 %

Træ / Volumen: 23 %

LCA / CO₂ ækv: 79 % af Trin 0

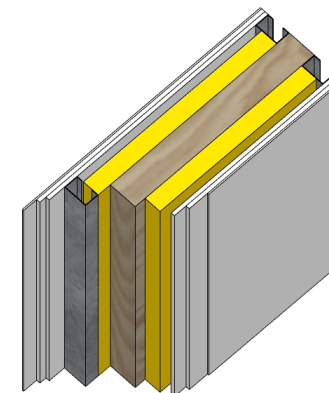
LCA / CO₂ ækv (uden affald): 38 % af Trin 0

Man kan tænke sig mange forskellige typer hybrider. Grundtanken er at benytte de materialer, der er bedst til opgaven på de rigtige steder.

I Trin 2 overgår den bærende konstruktion fra kun at være betonbaseret til at være en hybrid af bærende træ og beton. Her benytter man betons lyddæmpende og brandhæmmende potentialer ved at lave dækkonstruktioner i træ med en støbt betonplade ovenpå.

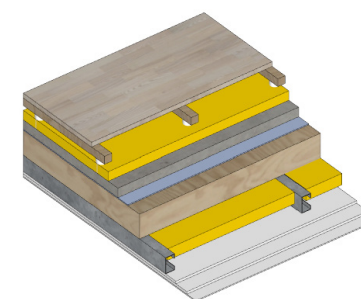
Tilsvarende benyttes betons stabiliserende og brandmæssige fordele til at lave flugtvejstrapper, der også stabiliserer de øvrige bærende konstruktioner.

Idet en substantiel del af den bærende konstruktion overgår til at være træ, og den øvrige beton i nogen grad kan rumme mindre cement, er der tale om en anseelig reduktion af miljøbelastningen ved at skifte til Trin 2.



FÆRRE BETONVÆGGE

En række af de bærende vægge erstattes i dette trin med massive CLT-træelementer. Disse er fortsat bærende og stabiliserende, men kræver (modsat betonelementer) en række inddækninger/følgearbejder for at overholde brandkravene i bygningsreglementet. Disse ekstra beklædninger kan ofte være fordyrende for byggeriet i forhold til betonelementer.



HYBRIDDÆK

Betonhuldækkene skiftes i dette trin ud med bærende CLT-dæk. Bl.a. for at kunne overholde lydkravene mellem to boliger (trinlyd) tilføres opbygningen et tungt lag i form af et lag lavstyrkebeton med lavere cementindhold end almindelig beton.

Der findes en lang række hybridkonstruktioner, dette er blot et indledende eksempel, der viser behovet for brandinddækning og tyngde i forhold til lydkrav.

TRIN 2 / HYBRID



BRAND — barrierer og løsninger

I Trin 2 erstattes en række betonvægge med CLT-elementer, og alle etagedæk erstattes med CLT-dæk med en betonudstøbning ovenpå. Den bærende konstruktion er altså i vid udstrækning lavet af træ i Trin 2.

Dette udløser bl.a. krav til konstruktionens evne til at blive stående under en brand. Den skal fungere i et antal minutter under en standardbrand, og her kan man i dag pakke træelementerne ind i nok gips til at de kan klare både 60 og 90 minutter (REI60 og REI90). Dette er nok til at bygge op til 4-5 etager. Skal man over dette niveau, er man nødt til at tage en lang række brandtekniske redskaber i brug.

Man arbejder på at lette disse muligheder af både teknologisk og myndighedsmæssig vej. Nye muligheder bliver løbende annonceret.



15-16 etager
Øverste gulvkote max 45 m



6-8 etager
Øverste gulvkote max 22 m



4-5 etager
Øverste gulvkote max 12 m



1-4 etager
Øverste gulvkote max 9,6 m



LYD — barrierer og løsninger

Hvor man i Trin 1 og Trin 2 har gavn af betonelementernes lyddæmpende tyngde, er man nødt til at tilføje et CLT-dæk ekstra tyngde for at kunne overholde bygningsreglementets lydkrav. Særligt trinlyd mellem etager er vanskelig at håndtere akustisk.

Der findes dog flere måder, hvorpå man kan tilføje CLT-dæk ekstra tyngde, og i Trin 2 har vi peget på en løsning, hvor der støbes et lag beton på oversiden af CLT-etagedækkene. Dette tilføjer både tyngde og konstruktive fordele i form af skivevirkning i dækket.

Lette skillevægge mellem boligerne skal opbygges i samme akustiske, dobbelte gipskonstruktion som i Trin 1.



FUGT — barrierer og løsninger

Det er centralt at lægge en fugtstrategi, når man arbejder med træ i byggeri, og i særdeleshed når der arbejdes med bærende konstruktioner i træ. Afhængig af hvilken type hybridblanding af beton og træ man arbejder med, skal man tage stilling til hvornår hvilke bygningdele monteres, hvor

længe de står uden overdækning, og hvordan man sikrer, at de tørres ud, inden de eventuelt beklædes i forbindelse med apteringen. Her kan det være en fordel at arbejde strategisk med mest mulig præfabrikation under tag. Dette kan være med til at forkorte montagetiden på byggepladsen, gøre det lettere at håndtere fugten og i sidste ende være med til at nedbringe anlægsøkonomien.



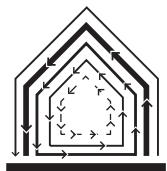
ØKONOMI — barrierer og løsninger

Hybridløsninger kan udformes på mange forskellige måder afhængig af materialepriser og entreprenørens leverandører. Tankegangen er at blande bygningsdelene og opbygningen på en måde, der både sikrer lav miljøbelastning og samtidig kan rummes inden for den almene anlægsøkonomi.

Hvis man arbejder strategisk med f.eks. præfabrikation og effektiv mon-

tageproces, kan man spare tid og penge i forhold til betonelementmontagen i Trin 0 og Trin 1. Træelementer kan tit monteres med små, billige mobilkraner, og da byggeriet bliver lettere kan der være penge at spare på optimeret transport af elementer og nedskalering af konstruktioner, terrændæk og fundamenter.

Har entreprenøren erfaring med træbyggeri, kan puljen afsat til risiko/uforudsete problemer muligvis nedsættes.



FORANDERLIGHED

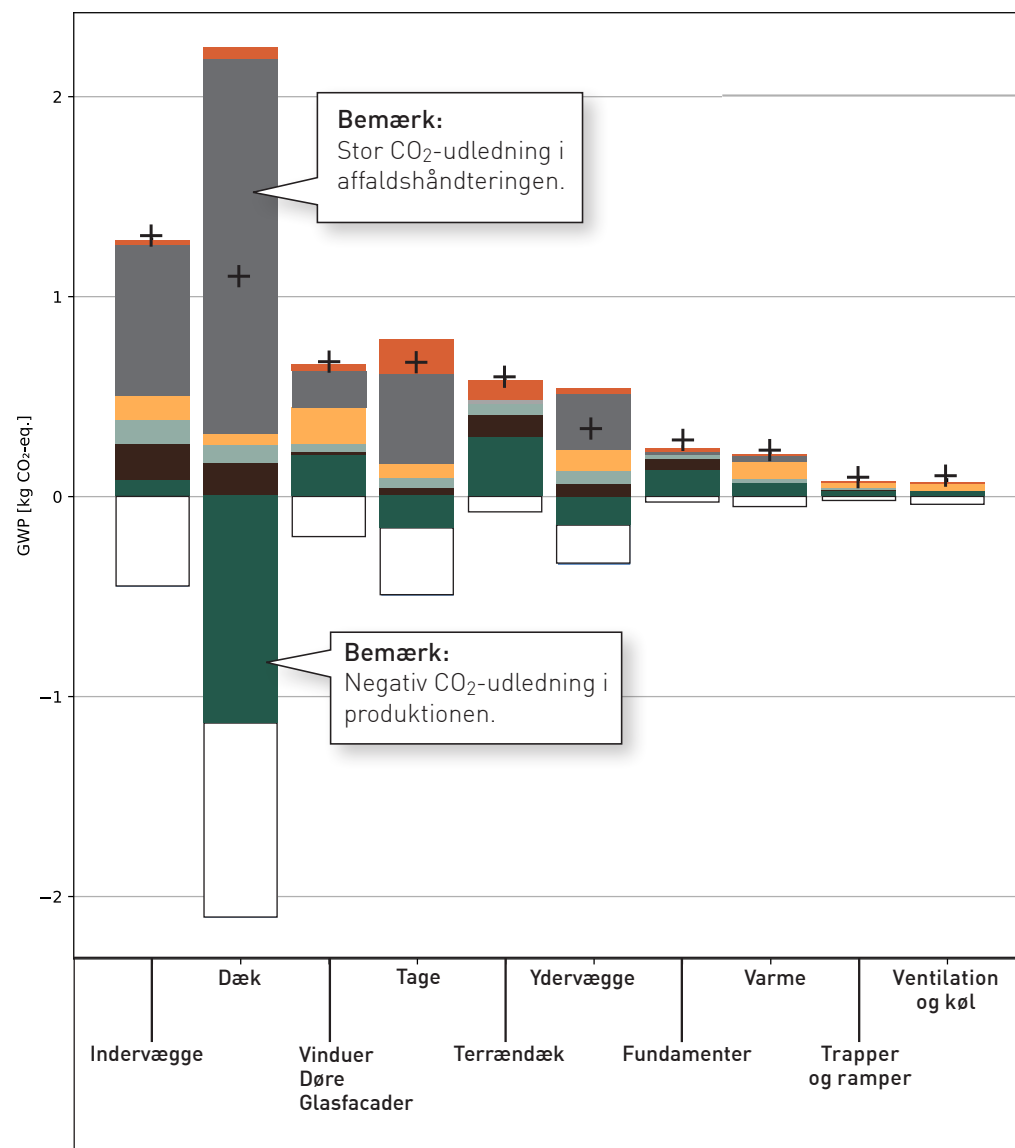
Trin 2 rummer (som Trin1) markant større foranderlighed end Trin 0 huse. I det man arbejder med at udskifte strategisk udvalgte betonelementer mellem boliger på sammen etage med lette skeletvægge, bliver det muligt at lægge hele boliger sammen, eller blot lade et værelse overgå fra en bolig til en anden.

Dette kan blandt andet have stor betydning i arbejdet med at fastholde resursestærke børnefamilier i almene bebyggelser. Boligerne kan i højere grad følge beboernes livssituationer og kan dermed have stor betydning i arbejdet med at fastholde resursestærke børnefamili-

er i almene bebyggelser. Hvis man f.eks. er blevet skilt, eller ens børn er flyttet hjemmefra, kan det være attraktivt at afgive et værelse til naboen, og dermed nedsætte huslejen. Tilsvarende kan det at overtage et værelse fra naboen, give en resursestærk børnefamilie værelser nok og give dem mulighed for at blive boende uden f.eks. at skulle foretage skoleskift, købe bil m.m.

Facaden kan tilsvarende relativt let skrues af og ofte skilles ad. Dette gør det muligt at opgradere bygningens klimaskærm flere gange i bygningens levetid, og derved løbende forbedre bygningens driftsenergiforbrug og den afledte miljøbelastning.

TRIN 2 / HYBRID



- + Sum uden D
- I A1-3 I Produkt
- I A4 I Transport
- I A5 I Byggeplads
- I B4 I Udskiftninger
- I C3 I Affaldsbehandling
- I C4 I Bortskaffelse
- I D I Uden for projekt

Hotspot: CO₂ ækvivalenter pr. bygningsdel (GWP: kg CO₂/m²/år)

Hotspotanalyse gør det muligt at se miljøbelastningen for hver gruppe af bygningsdele. På den baggrund kan man prioritere hvor man skal forsøge at optimere først.

Da der er tale om en standard opgang med 5 etager, er der store mængde etagedæk i forhold til mængden af vægge.

Bemærk at en række bygningsdele nu udleder negativ/optager CO₂ i produktionsfasen (mørkegrøn). Her udskydes CO₂-udledningen til nedrivnings-, genbrugs- og affaldsfasen (grå). Man kan altså argumentere for, at man indløser en hurtig CO₂-besparelse og køber sig tid til at finde mere raffinerede former for nedrivning og genbrug, inden huset rives ned. Dette kan være med til at bremse de aktuelle klimaforandringer på kortere sigt.

Viden & links

Ønsker du at vide mere om denne udbredte måde at bygge på, har vi samlet en række projekter, vejledninger og eksempler på igangværende forskning. De viste eksempler er ikke at betragte som konkrete eksempler på træbarometerbyggeri, men rettere inspiration til yderligere fordybelse i, hvordan mange byggerier opføres i dag.



Eksempel

Lisbjerg Bakke

Boligselskab: AL2 Bolig
bit.ly/lisbjerg-bakke

Arkitekt: Vandkunsten
<https://vandkunsten.com/projects/et-moderne-dansk-traehus>

Entreprenør: Hustømmerne
<https://hustommerne.dk/referencer/nybyggeri/traehuse-i-etager-dgnb/>



Leverandør

Profile A/S

Leverandørens hjemmeside:
<https://www.profile.dk>

Eksempel fra leverandørens hjemmeside:
<https://profile.dk/clt-elementer/lisbjerg-bakke>



Producent

Lilleheden

Producentens hjemmeside:
<https://www.lilleheden.dk/>

Eksempel fra producentens hjemmeside:
bit.ly/lilleheden



Producent

CREE by Rhomberg

Producentens hjemmeside:
<https://www.creebuildings.com/>

Foto: CREE Buildings

TRIN 3/

CLT-ELEMENTER

Trin 3/ CLT-elementer

Træ / Vægt: 25 %

Træ / Volumen: 29 %

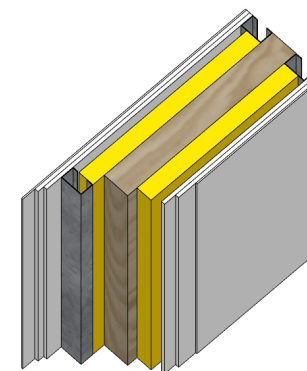
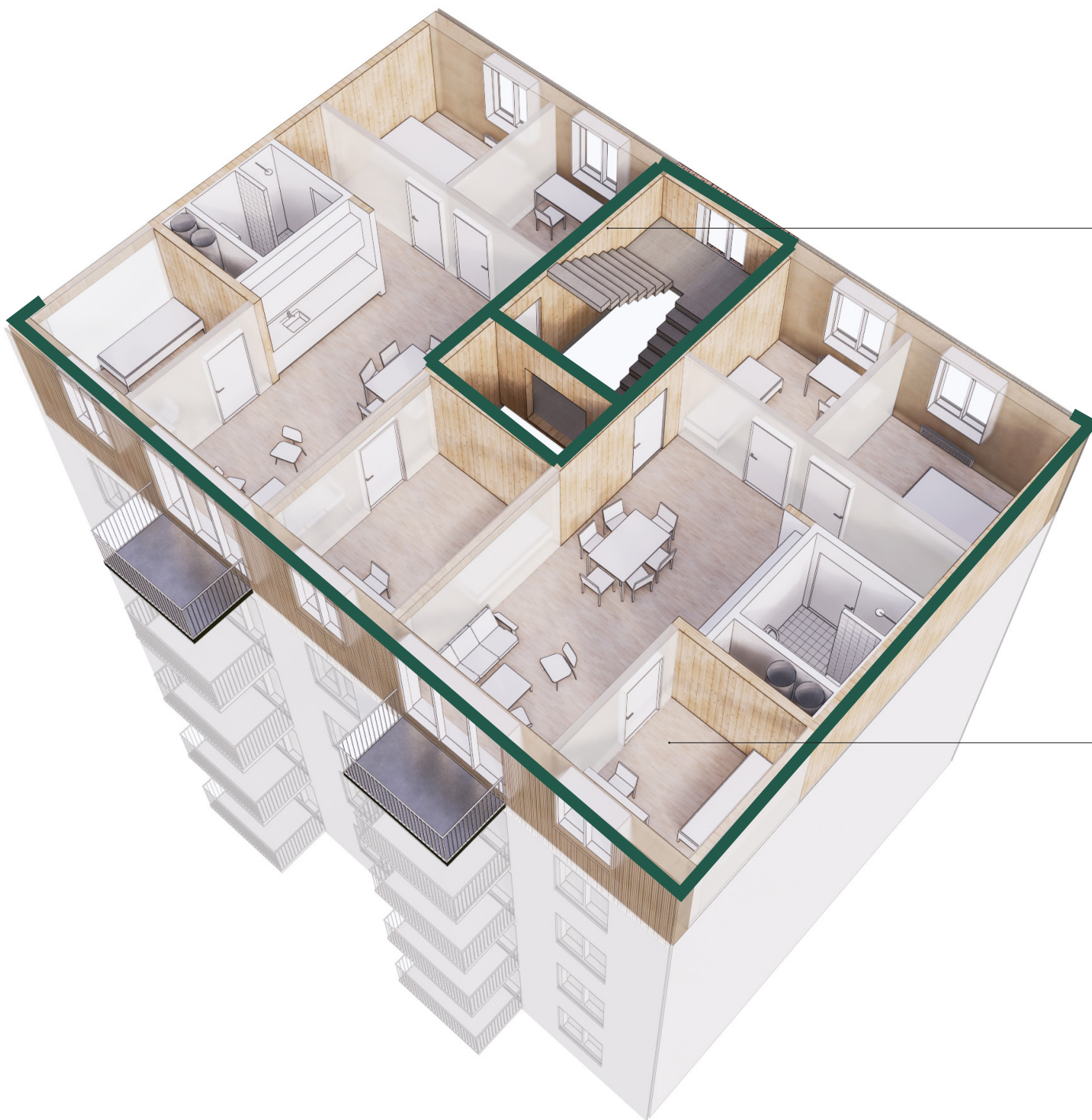
LCA / CO₂ ækv: 71 % af Trin 0

LCA / CO₂ ækv (uden affald): 20 % af Trin 0

I Trin 3 erstattes hele den bærende konstruktion med massive træelementer: CLT-elementer (Cross Laminated Timber). I dette trin afhjælpes brand- og akustikkrav uden brug af beton.

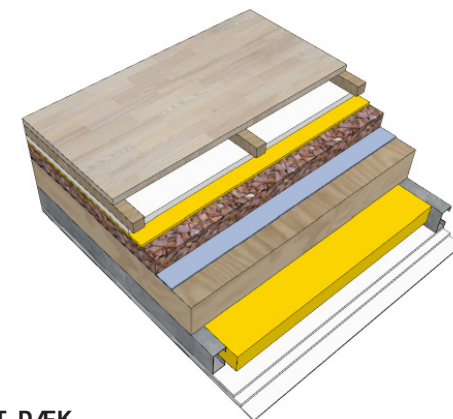
Trin 3 er altså så godt som betonfrit — kun bundpladen / gulvet i badekabinen og terrændækket er af beton.

Idet den bærende konstruktion udløser den største miljøbelastning i de fleste boligprojekter, er der tale om en markant lavere miljøbelastning.



INGEN BETONVÆGGE

Alle bærende og stabiliserende vægge erstattes i dette trin med massive CLT-træelementer. Disse er fortsat bærende og stabiliserende, men kræver (modsat betonelementer) en række inddækninger/følgearbejder for at overholde brandkravene i bygningsreglementet. Disse ekstra beklædninger kan ofte være fordyrende for byggeriet i forhold til betonelementer.



CLT-DÆK

Betonhuldækkene skiftes i dette trin ud med bærende CLT-dæk. Betonlaget fra Trin 2 erstattes her af tørt løsfyld i form af f.eks. lerkugler eller granitskærver. Dette lag sikrer en betonfrikonstruktion, der overholder brand og lydkrav. Der findes en lang række tilsvarende opbygninger — dette er blot et indledende eksempel, der viser behovet for brandinddækning og tyngde i forhold til lydkrav.

TRIN 3 / CLT-ELEMENTER



BRAND — barrierer og løsninger

I Trin 3 erstattes alle betonvægge med CLT-elementer, og alle etagedæk erstattes med CLT-dæk. Hele den bærende konstruktion er altså lavet af træ.

Dette udløser bl.a. krav til konstruktionens evne til at blive stående under en brand. Den skal fungere i et antal minutter under en standardbrand, og her kan man idag pakke træelementerne ind i så meget gips, at de kan klare både 60 og 90 minutter (REI60 og REI90). Det er nok til at bygge op til 4-5 etager. Skal man over dette niveau, skal man tage en lang række brandtekniske redskaber i brug.

Man arbejder på at lette disse muligheder af både teknologisk og myndighedsmæssig vej. Nye muligheder bliver løbende annonceret.



15-16 etager
Øverste gulvkote max 45 m



6-8 etager
Øverste gulvkote max 22 m



4-5 etager
Øverste gulvkote max 12 m



1-4 etager
Øverste gulvkote max 9,6 m



LYD — barrierer og løsninger

Hvor man i Trin 1 og Trin 2 har gavn af betonelementernes lyddæmpende tyngde, er man nødt til at tilføje CLT-dæk ekstra tyngde for at kunne overholde bygningsreglementets lydkrav. Særligt trinlyd mellem etagerne er vanskelig at håndtere akustisk.

Der findes flere måder at tilføje CLT-dæk ekstra tyngde, og i Trin 3 har vi

peget på en løsning, hvor man hælder et lag tørt løsfyld ud på oversiden af CLT-etagedækkene. Løsfyldet kan være granitskærver, lerkugler eller andre materialer afhængigt af systemvalget. Til forskel fra Trin 2 er der dog tale om en tør, betonfri proces, hvor man ikke behøver at håndtere hverken betonens tørretid eller fugtrisiko.

Lette skillevægge mellem boligerne skal opbygges i samme akustiske, dobbelte gipskonstruktion som i Trin 1.



FUGT — barrierer og løsninger

Det er centralt at lægge en fugtstrategi, når man arbejder med træ i byggeri. I særdeleshed når der arbejdes med bærende konstruktioner i træ. Afhængigt af hvilken type hybridblanding af beton og træ man arbejder med, skal man tage stilling til, hvornår de forskellige bygningdele monteres,

hvor længe de står uden overdækning, og hvordan man sikrer, at de tørres ud, inden de eventuelt beklædes i forbindelse med averteringen. Her kan det være en fordel at arbejde strategisk med mest mulig præfabrikation under tag. Dette kan være med til at forkorte montagetiden på byggepladsen, gøre det lettere at håndtere fugten og i sidste ende være med til at nedbringe anlægsøkonomien.

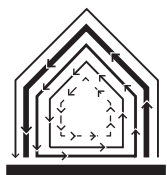


ØKONOMI — barrierer og løsninger

Hvis man arbejder strategisk med f.eks. præfabrikation og en effektiv montageproces, kan man spare tid og penge i forhold til betonelementmontagen og udtrørringen i Trin 0, 1 og 2. Træelementer kan tit monteres med små, billige mobilkraner, og da byggeriet bliver lettere, kan der være penge at spare på optimeret transport af elementer og nedskalering af konstruktioner, terrændæk og fundamenter.

Idet der er tale om massive træelementer, kan det være en fordel at arbejde strategisk med hvilke bygningsdele, der udføres som massivtræ, og hvilke der udføres som materialeminimerede fladelementer i skeletkonstruktioner af træ. Erstatte en stor mængde bygningsdele med massivtræ, kan man komme i en situation, hvor man bruger unødigt meget træ.

Har entreprenøren erfaring med træbyggeri, kan puljen afsat til risiko/uforudsete problemer muligvis nedsættes.



FORANDERLIGHED

Trin 3 rummer markant større foranderlighed end Trin 0-husene. Idet man erstatter betonelementer med træelementer, bliver det lettere at lægge hele boliger sammen, horisontalt og vertikalt, eller blot lade et værelse overgå fra en bolig til en anden.

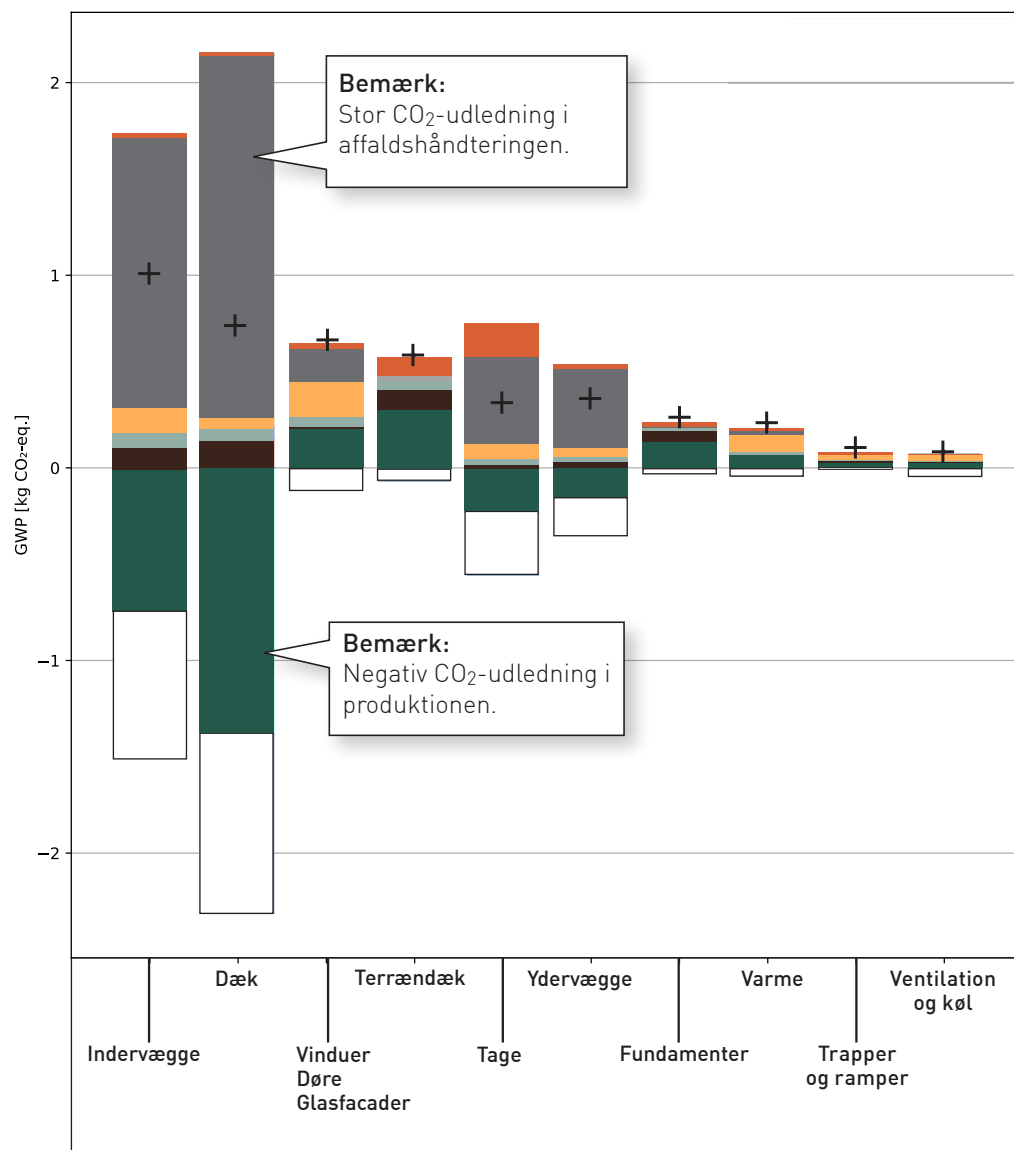
Dette kan blandt andet have stor betydning i arbejdet med at fastholde resursestærke børnefamilier i almene bebyggelser.

Boligerne kan i højere grad følge beboernes livssituationer. Hvis man

f.eks. er blevet skilt, eller ens børn er flyttet hjemmefra, kan det være attraktivt at afgive et værelse til naboen, og dermed nedsætte huslejen. Tilsvarende kan det at overtage et værelse fra naboen give en resursestærk børnefamilie værelser nok, og dermed give dem mulighed for at blive boende uden f.eks. at skulle foretage skoleskift, købe bil m.m.

Facaden kan tilsvarende relativt let skrues af og ofte skilles ad. Dette gør det muligt at opgradere bygningens klimaskærm flere gange i bygningens levetid, og derved løbende forbedre bygningens driftsenergiforbrug og den afledte miljøbelastning.

TRIN 3 / CLT-ELEMENTER



- + Sum uden D
- I A1-3 I Produkt
- I A4 I Transport
- I A5 I Byggeplads
- I B4 I Udskiftninger
- I C3 I Affaldsbehandling
- I C4 I Bortskaffelse
- I D I Uden for projekt

Trin 3/ CLT-elementer

I Trin 3 erstattes hele den bærende konstruktion med massive træ elementer: CLT-elementer (Cross Laminated Timber). I dette trin afhjælpes brand- og akustikkrav uden brug af beton.

Trin 3 er altså så godt som betonfrit — kun bundpladen/gulvet i badekabinen og terrændækket er af beton.

Idet den bærende konstruktion udløser den største miljøbelastning i de fleste boligprojekter, er der her tale om en markant lavere miljøbelastning.

Viden & links

Ønsker du at vide mere om denne måde at bygge på, har vi samlet en række projekter, vejledninger og eksempler på igangværende forskning. De viste eksempler er ikke at betragte som konkrete eksempler på træbarometerbyggeri, men rettere inspiration til yderligere fordybelse i, hvordan mange byggerier opføres i dag.



Eksempel Moxy Hotel

Hotellets hjemmeside:
<https://www.marriott.com/hotels/travel/cphox-moxy-copenhagen-sydhavnen/>

Artikel om processen på Træ.dk:
bit.ly/udensynligttrae

Vejledning Binderholz Massivholzhandbuch

Hjemmeside med søgbar oversigt fra producenten Binderholz Bausysteme:
<https://www.massivholzhandbuch.com/en/>

Samlet publikation i PDF-format:
bit.ly/binderholz

Videnportal Træ.dk

Træ.dk Danmarks Træportal:
<https://www.trae.dk/>

Opslag om CLT:
<https://www.trae.dk/leksikon/clt/>



Eksempel Toppen / Almene boliger

Boligselskab: Boligselskabet Sjælland
<https://bosj.dk/>

Entreprenør: Adserballe & Knudsen
<https://www.aogk.dk/projekt/toppen-trekroner/>

Arkitekt: Vilhelm Lauritzen Arkitekter
<https://www.VLA.dk/>



Eksempel Knudrisrækkerne

Arkitekt: Sweco Architects
<https://www.sweco.dk/showroom/knudrisraekkerne/>

Entreprenør: Q Construction
<https://qconstruction.dk/nyheder/rejsegilde-traebyggeri/>

TRIN 4/

RUMMODULER

Trin 4/ Rummoduler

Træ / Vægt: 22 %

Træ / Volumen: 18 %

LCA / CO₂ ækv: 70 % af Trin 0

LCA / CO₂ ækv (uden affald): 39 % af Trin 0

I Trin 4 arbejdes der med bærende konstruktioner i træ, men til forskel fra Trin 2 og 3 arbejdes der udelukkende med lette skeletkonstruktioner. Der er tale om en række rumstore moduler bygget op som lette trægitre, og ikke massive træelementer. At benytte lette gitre i stedet for massive elementer kan være en måde at begrænse materialeforbruget markant.

De rumstore moduler præfabrikeres på fabrik og transporteres til byggepladsen på lastbiler. Dette udløser på den ene side en række begrænsninger i forhold til størrelser og dimensioner, der ofte skal gå nogenlunde op i moduler på 4,5 x 12 meter.

På den anden side rummer produktionen under tag på fabrik store fordele i forhold til fugtstrategi, præcision og affaldsminimering. Når de rumstore moduler kører ud af fabrikken, har de ofte både fået lagt gulv og malet vægge. Der kan være store økonomiske gevinster at hente i kraft af industriel stordrift — økonomiske gevinster, der kan gøre Trin 4 konkurrencedygtigt med Trin 0.



De rumstore moduler opbygges på fabrik og transporteres til byggepladsen på lastbiler. Dette udløser en række begrænsninger i forhold til størrelser og dimensioner, der ofte skal gå nogenlunde op i moduler på 4,5 x 12 meter.

TRIN 4 / RUMMODULER



BRAND — barrierer og løsninger

Rummodulbyggeri kan tænkes på mange måder, men da man stiller moduler ovenpå og ved siden af hinanden, har man ofte vægge og lofter/gulve, der består af flere lag. Når man skal lave et etagedæk, rummer det populært sagt både gulvkonstruktionen fra overboen og loftkonstruktionen fra underboen. Vægge er tilsvarende allerede på fabrikken delt op i to lag. Disse dobbeltkonstruktioner — sammen med den rigtige mængde gipsbeklædning — sætter i stigende grad rummodulproducenterne i stand til at overholde stadig højere brændkrav. Det er et område i rivende udvikling, og i skrivende stund kan man bygge rummoduler i op til 6 etager eller mere.



15-16 etager
Øverste gulvkote max 45 m



6-8 etager
Øverste gulvkote max 22 m



4-5 etager
Øverste gulvkote max 12 m



1-4 etager
Øverste gulvkote max 9,6 m



LYD — barrierer og løsninger

At rummoduler som udgangspunkt rummer dobbeltkonstruktioner i alle lejlighedsskel giver ikke kun brandmæssige fordele, men gør det også lettere at overholde bygningsreglementets krav til akustik. Som nævnt herover er etagedækket både loftkonstruktionen fra underboen, og gulvkonstruktionen fra overboen. Væggene mellem to lejligheder består tilsvarende af væggen fra det ene modul og væggen fra det andet modul.

Hvor disse dobbeltkonstruktioner kan synes unødvendigt omkostningstunge på en byggeplads, er de helt naturlige forudsætninger for boksmodulbyggerier.

Produktionen er så optimeret, at det kan betale sig at bygge transporterbare rummoduler, selvom man skal bygge hver væg i begge de moduler, man stiller ved siden af hinanden.



FUGT — barrierer og løsninger

Rummodulbyggeri bygges under kontrollerede forhold under tag på fabrik. Her bygges de enkelte moduler så færdige, at de kan tåle at stå udenfor og kan transporteres fra fabrik til byggeplads på en lastbil.

På den måde er boksmoduler lidt i familie med skibscontainere, eller de moduler man bygger byggepladsskure af. De fleste fugtfølsomme ar-

bejdsgange håndteres i tørvejr, og de enkelte moduler emballeres, så de kan holdes tørre i den efterfølgende, ofte hurtige, montageperiode på en byggeplads.

Enkelte aktører stiller spørgsmål til, om man helst vil købe en bil, der er bygget ude på parkeringspladsen eller en, der er bygget på en fabrik. Nogle vil mene, at de samme overvejelser gør sig gældende for boligbyggeri.



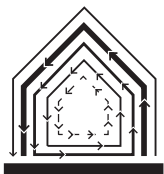
ØKONOMI — barrierer og løsninger

Der findes mange metoder til at bygge boksmoduler. Mange producenter har dog optimeret både deres indkøb, spild og produktion, så denne byggeteknik er konkurrencedygtig i forhold til Trin 0 byggeri.

Når man bygger alle sine projekter med nogenlunde samme byggeteknik på en fabrik, har man mulighed for at købe meget stort ind med tilhørende rabatter. Tiloversblivende materialer kan ofte bruges på det næste byggeri, og gentagne arbejdsgange kan i stigende grad automatiseres.

Feltet er i rivende udvikling i disse år, og da mange boksmodulproducenter i kraft af deres byggeteknik kan flytte en stor del af byggepladsen ind under tag, dukker der flere og flere robotter op i byggeriet.

Trin 4 modellen har vist sig at være en meget omkostningseffektiv metode til at opføre træbyggeri med lav miljøbelastning til en overkommelig pris. Man har således allerede opført en lang række almene boligbebyggelser med denne byggeteknik.



FORANDERLIGHED

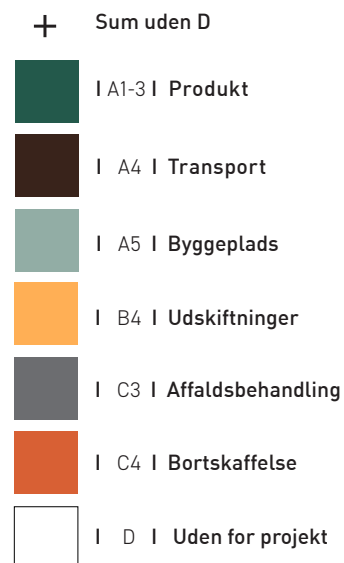
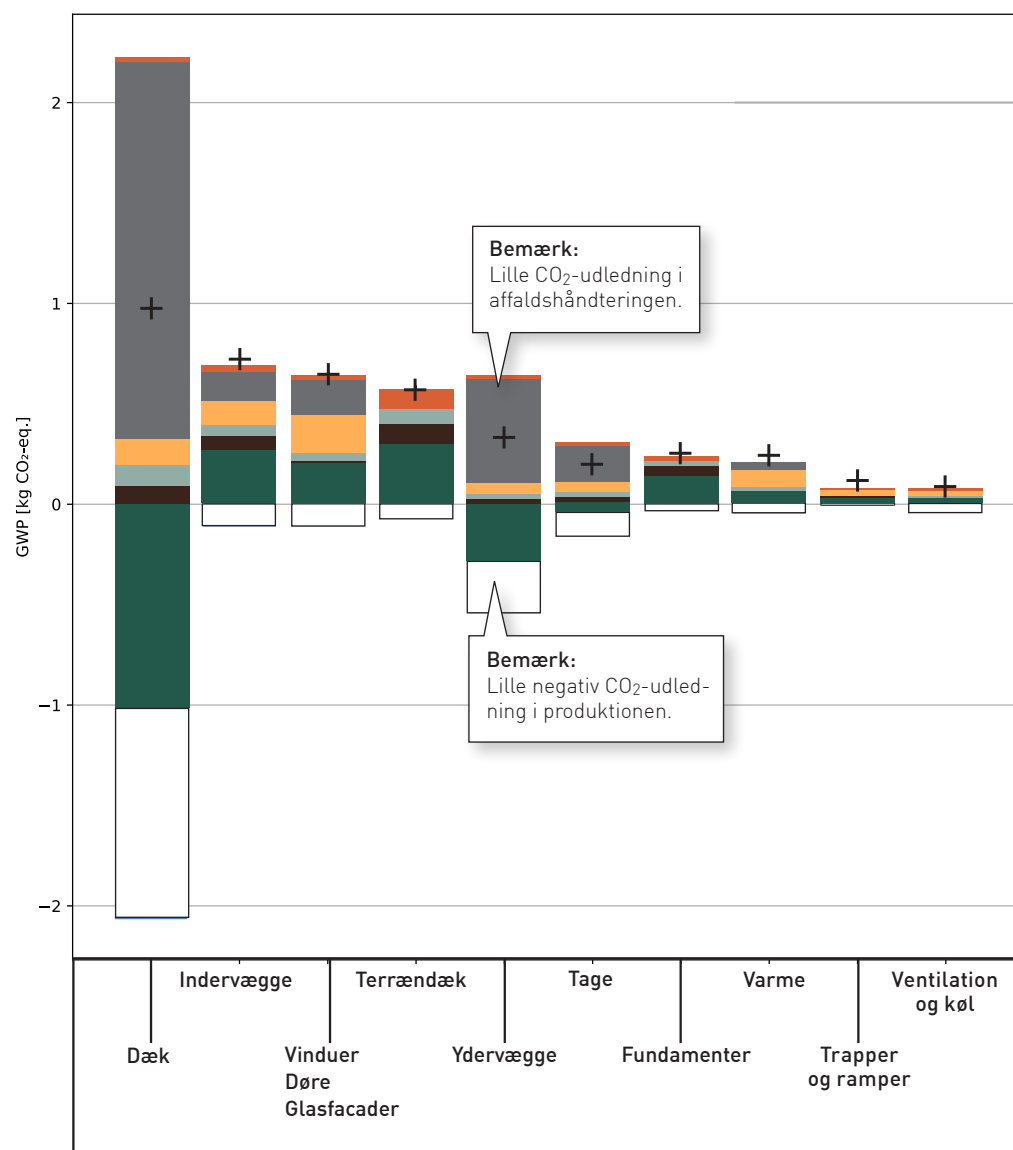
Boksmoduler er stærkt optimerede i forhold til både produktion og materialeforbrug. Det giver en række begrænsninger i forhold til både udformning og forandring af boksmodulbyggeri.

Man skal således allerede i de tidligste skitseringsfaser indrette boligerne på en måde, så de kan deles op i moduler, der kan transporteres på en lastbil. Der findes forskellige muligheder, men 4,5 x 12 meter kan være et omtrentligt bud maksimalmål for hver enhed.

Disse begrænsninger i geometri kan skabe stærke bindinger i bygningernes indretning i designfasen og efterfølgende omdannelse af rumindretningen.

Boksmoduler er ofte indrettet med bærende konstruktive vægge pr. modul (ca 4,5 meter), og skulle man få lyst til at nedlægge et værelse, eller flytte en væg på et senere tidspunkt, kan man støde på komplikationer. Der findes dog mange velfungerende boksmodulboliger med mulighed for at lave flere eller færre værelser.

TRIN 4 / RUMMODULER



Hotspot: CO₂ ækvivalenter pr. bygningsdel (GWP: kg CO₂/m²/år)

Hotspotanalyse gør det muligt at se miljøbelastningen for hver gruppe af bygningsdele.

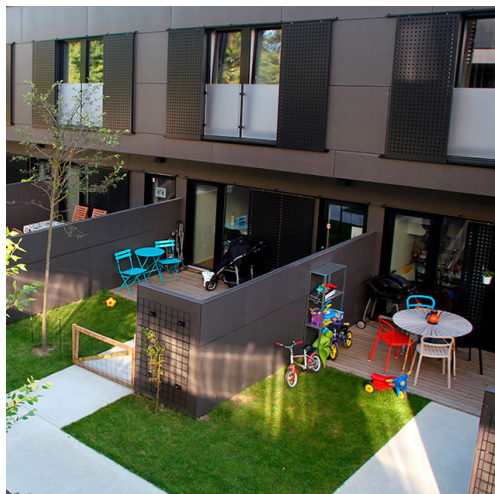
På den baggrund kan man prioritere hvor man skal forsøge at optimere først.

Da der er tale om en standard opgave med 5 etager, er der store mængder etagedæk i forhold til mængden af vægge.

Bemærk at en række bygningsdele nu udleder negativ/optager CO₂ i produktionsfasen (mørkegrøn). Her udskydes CO₂-udledningen til nedrivnings-, genbrugs- og affaldsfasen (grå). Man kan altså argumentere for, at man indløser en hurtig CO₂-besparelse og køber sig tid til at finde mere raffinerede former for nedrivning og genbrug, inden huset rives ned. Dette kan være med til at bremse de aktuelle klimaforandringer på kortere sigt.

Viden & links

Ønsker du at vide mere om denne udbredte måde at bygge på, har vi samlet en række projekter, vejledninger og eksempler på igangværende forskning. De viste eksempler er ikke at betragte som konkrete eksempler på træbarometerbyggeri, men rettere inspiration til yderligere fordybelse i, hvordan mange byggerier opføres i dag.



Eksempel AlmenBolg+

KAB's hjemmeside:
<https://www.kab-bolig.dk/boligsoegende/boligformer/almenbolig>

Eksempel: Grøndalsvænge / ONV arkitekter
<https://onv.dk/projekt/groendalsvaenge/>



Producent Scandi Byg

Producentens hjemmeside:
<https://www.scandibyg.dk/>



Eksempel Eco Village "Skråningen"

Arkitekt: Vandkunsten
<https://vandkunsten.com/projects/bo-faellesskaber-eco-village>

Entreprenør: Scandi Byg
<https://www.scandibyg.dk/nyheder/svanemaerkede-boliger-til-ecovillage/>

Producent Flexmodul

Producentens hjemmeside:
<https://flexmodul.dk/>

Producent BM Byggeindustri

Producentens hjemmeside:
<https://bmbyggeindustri.dk/>

TRIN 5/

NYE MATERIALER/GENBRUG

Trin 5/

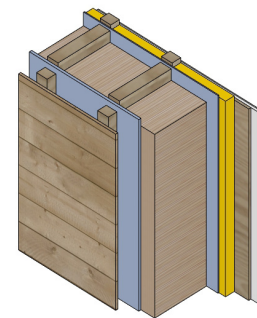
Materialer på vej

Træ / Vægt:	29 %
Træ / Volumen:	47 %
LCA / CO ₂ ækv:	68 % af Trin 0
LCA / CO ₂ ækv (uden affald):	11 % af Trin 0

Trin 5 er konstrueret på samme måde som Trin 3, men her erstattes flest mulige bygningsdele med biobaserede genbrugsløsninger.

I Trin 5 lægger vi den størst mulige mængde fyldmaterialer med biologisk materiale. Vi har i dette eksempel taget udgangspunkt i halmisolering baseret på overskud fra fødevareproduktionen. Papiruld baseret på genbrugspapir er ligeledes en løsning, der vinder indpas. En række nye, biologiske materialer er ved at blive udviklet og brandtestet, så de forventes at have en stadig større betydning i de kommende år.

Trin 5 peger altså i retning af et så godt som betonfrit hus, bygget af materialeoptimerede trækonstruktioner, isoleret og kompletteret med størst mulig grad af genbrugsmaterialer.



FACADENS OPBYGNING

Etagedækkene bæres ikke af facaderne, da de i stedet ligger af på lejlighedsskel og trappeopgange. Betonfacaderne fra Trin 0 laves derfor om til lette trækassetter med halmisolering og træbeklædning.



SKRALD SOM BYGGEKEMATERIALE?

Alle skeletkonstruktionerne i Trin 5 kan udfyldes med genbrugsmaterialer som f.eks. halm, papiruld eller genbrugstræ i forskellige granulatbaserede pladeformer.

En række materialer er i dag under udvikling, og der forventes løbende at fremkomme nye og gennemtestede, biobaserede genbrugsløsninger.

TRIN 5 / NYE MATERIALER/GENBRUG



BRAND — barrierer og løsninger

I Trin 5 er hele den bærende konstruktion udført i træ og udformet som i Trin 3. Dermed har vi de samme opmærksomhedspunkter ved brand.

I Trin 5 lægger vi op til at erstatte den størst mulige mængde fyldmaterialer, med biologisk materiale. Vi har taget udgangspunkt i halm fra fødevarereproduktionen, men man kan tilsvarende bruge papiruld eller andre biobaserede isoleringsmaterialer. En række af disse materialer kan idag kun benyttes i byggeri under 5 etager, men biobaserede materialer er i rivende udvikling, og man må derfor forvente at kunne bygge højere og højere med biobaserede løsninger i de kommende år.



15-16 etager
Øverste gulvkote max 45 m



6-8 etager
Øverste gulvkote max 22 m



4-5 etager
Øverste gulvkote max 12 m



1-4 etager
Øverste gulvkote max 9,6 m



LYD — barrierer og løsninger

Hvor man i Trin 1 og Trin 2 har gavn af betonelementernes lyddæmpende tyngde, er man nødt til at tilføje CLT-dæk ekstra tyngde for at kunne overholde bygningsreglementets lydkrav. Særligt trinlyd mellem etagerne er vanskelig at håndtere akustisk. Der findes flere måder at tilføje CLT-dæk ekstra tyngde, og i Trin 5 har vi peget på en løsning, hvor man hælder et

lag tørt løsfyld ud på oversiden af CLT-etagedækkene. Løsfyldet kan være granitskæver, lerkugler eller andre materialer afhængigt af systemvalget. Til forskel fra Trin 2 er der dog tale om en tør, betonfri proces, hvor man ikke behøver at håndtere hverken betonens tørretid eller fugtrisiko.

Lette skillevægge mellem lejlighederne skal opbygges i samme akustiske dobbelte gipskonstruktion som i Trin 1.



FUGT — barrierer og løsninger

Det er centralt at lægge en fugtstrategi, når man arbejder med træ i byggeri. I særdeleshed når der arbejdes med bærende konstruktioner i træ. I Trin 5 støbes der ikke våd beton i processen, hvilket er med til at nedbringe mængden af fugt, der skal håndteres. Man skal fra starten tage stilling til, hvornår de forskellige bygningdele monteres, hvor længe de står uden

overdækning og hvordan man sikrer, at de tørres ud, inden de eventuelt beklædes i forbindelse med apteringen. Her kan det være en fordel at arbejde strategisk med mest mulig præfabrikation under tag. Dette kan være med til at forkorte montagetiden på byggepladsen, gøre det lettere at håndtere fugten og i sidste ende være med til at nedbringe anlægskønomien.



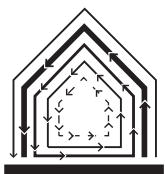
ØKONOMI — barrierer og løsninger

Hvis man arbejder strategisk med f.eks. præfabrikation, en effektiv montageproces med små, billige mobilkraner, optimeret transport af elementer og nedskalering af konstruktioner, terrændæk og fundamenter, kan man skabe økonomisk råderum til at afprøve nye materialer.

Både halm og papiruld er blevet brugt i en række projekter, og man kan således komme et langt stykke af vejen mod lavere miljøbelastning uden

at pådrage sig unødigt risiko. Har entreprenøren erfaring med biobaserede isoleringstyper, kan puljen afsat til risiko/uforudsete problemer muligvis nedsættes.

Vil man længere med afprøvning af nyere materialer inden for en almen rammeøkonomi, kan man overveje at afprøve disse i mindre skala. F.eks. i fælleslokaler eller andre mindre dele af byggeriet. Lykkes det i et byggeri, kan andre arbejde videre med løsningen.



FORANDERLIGHED

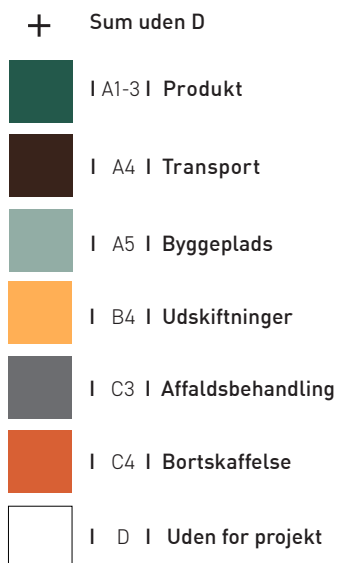
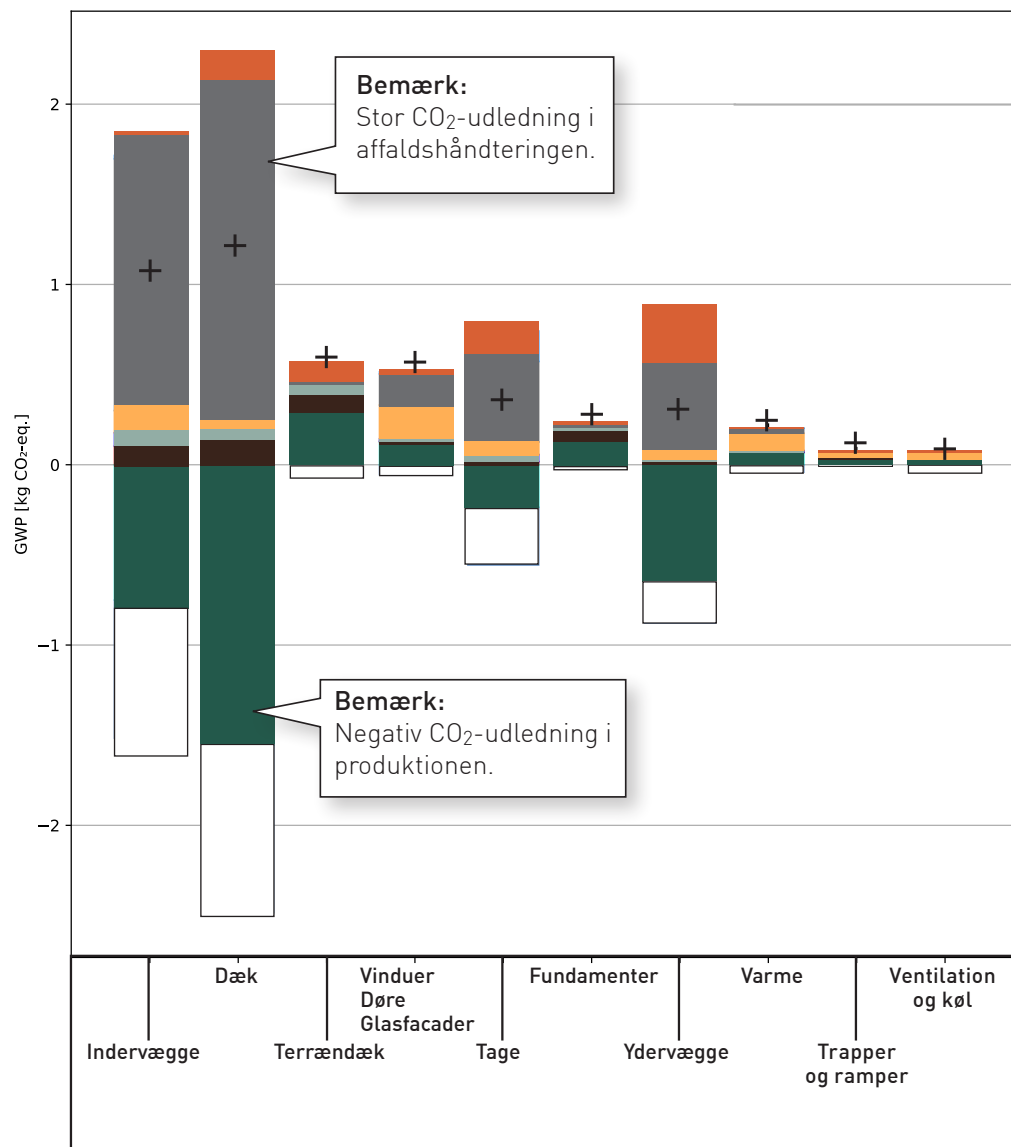
Trin 5 rummer markant større foranderlighed end Trin 0 husene. Idet man erstatter betonelementer med træelementer, bliver det lettere at lægge hele boliger sammen, horisontalt som vertikalt, eller blot lade et værelse overgå fra en bolig til en anden.

Dette kan blandt andet have stor betydning i arbejdet med at fastholde resursestærke børnefamilier i almene bebyggelser, da boligerne i højere grad kan følge beboernes livssituationer.

Hvis man f.eks. er blevet skilt, eller ens børn er flyttet hjemmefra, kan det være attraktivt at afgive et værelse til naboen, og dermed nedsætte huslejen. Tilsvarende kan det at overtage et værelse fra naboen give en resursestærk børnefamilie værelser nok, og dermed give dem mulighed for at blive boende uden f.eks. at skulle foretage skoleskift, købe bil m.m..

Facaden kan tilsvarende relativt let skrues af og ofte skilles ad. Dette gør det muligt at opgradere bygningens klimaskærm flere gange i bygningens levetid og derved løbende forbedre bygningens driftsenergiforbrug og den afledte miljøbelastning.

TRIN 5 / NYE MATERIALER/GENBRUG



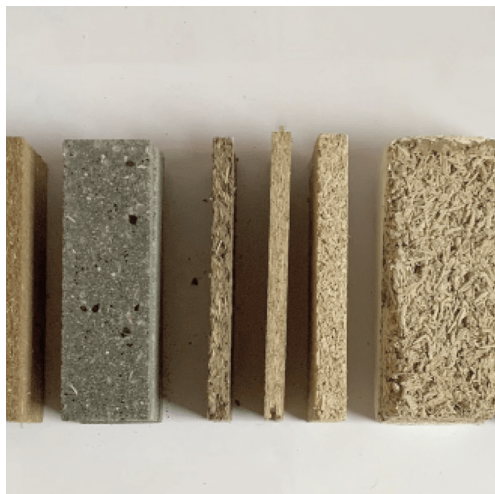
Hotspot: CO₂ ækvivalenter pr. bygningsdel (GWP: kg CO₂/m²/år)

Hotspotanalyse gør det muligt at se miljøbelastningen for hver gruppe af bygningsdele. På den baggrund kan man prioritere hvor man skal forsøge at optimere først. Da der er tale om en standard opgang med 5 etager, er der store mængder etagedæk i forhold til mængden af vægge.

Bemærk at en række bygningsdele nu udleder negativ/optager CO₂ i produktionsfasen (mørkegrøn). Her udskydes CO₂-udledningen til nedrivnings-, genbrugs- og affaldsfasen (grå). Man kan altså argumentere for, at man indløser en hurtig CO₂-besparelse og køber sig tid til at finde mere raffinerede former for nedrivning og genbrug, inden huset rives ned. Dette kan være med til at bremse de aktuelle klimaforandringer på kortere sigt.

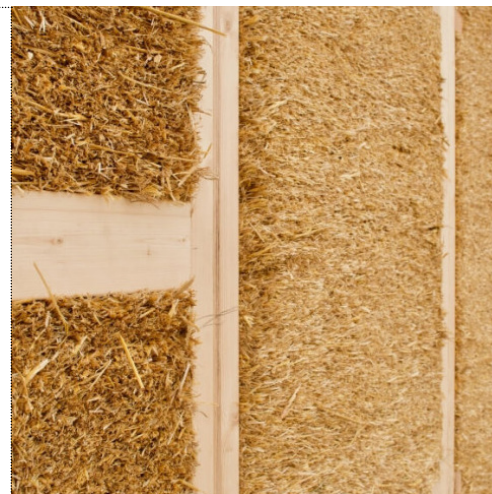
Viden & links

Ønsker du at vide mere om denne udbredte måde at bygge på, har vi samlet en række projekter, vejledninger og eksempler på igangværende forskning. De viste eksempler er ikke at betragte som konkrete eksempler på træbarometerbyggeri, men rettere inspiration til yderligere fordybelse i, hvordan mange byggerier opføres i dag.



Eksempel Havnens Hænder

Biobaseret Byggemarked:
<https://havnens-h.dk/>



Producent/Produkt Eco Cocoon

Producentens hjemmeside:
<https://ecococon.eu/dk/>

Introduktion / brochure:
<https://ecococon.eu/assets/downloads/ec-brochure-en.pdf>



Producent Woodfiber

Producentens hjemmeside:
<https://woodfiber.dk/>



Genbrug / Producent RGS Nordic

Hjemmeside:
<https://www.rgsnordic.com/uk/>

Eksempel:
bit.ly/genbrug_konstruktionstrae



0

Trin 0 /
Betonhus
100 % CO₂ækv

Bærende system af betonelementer, betonhuldæk, betonbagmure med skalmur, lejlighedsskel i betonelementer og tunge vådrumsmoduler.

1

Trin 1 /
Mindre Beton
88 % CO₂ækv

Alle ikke-bærende/stabiliserende betonelementer erstattes med lette skeletkonstruktioner i træ. Badekabiner erstattes af lette moduler.

2

Trin 2 /
Hybrid
79 % CO₂ækv

De materialer der er bedst til opgaven på de rigtige steder. Bærende konstruktion er en hybrid af bærende træ og lydæmpende beton. Bærende, stabiliserende og brandsikrede flugtvejstrapper i beton.

3

Trin 3 /
CLT Elementer
71 % CO₂ækv

Bærende konstruktion med massive træelementer: CLT-elementer (Cross Laminated Timber). I dette trin afhjælpes krav til brand og akustik uden brug af beton.

4

Trin 4 /
Rummoduler
70 % CO₂ækv

Bærende konstruktioner i materialeoptimerede træskeletkonstruktioner. Udføres som rumstore moduler på en fabrik og transporteres til byggepladsen på lastbiler.

5

Trin 5 /
Materialer på vej
68 % CO₂ækv

Konstrueret som Trin 3 med ekstra fokus på alternative materialer. Der anvendes f.eks. halm som isoleringsmaterialer, trævinduer og genbrugsmaterialer.

OPSAMLING

Nu skal vi igang!

Klimaforandringer er et faktum og en udfordring! Vi skal hurtigst muligt i gang med at nedbringe både samfundets og byggebranchens CO₂-udledning og miljøbelastning. De 6 trin, vi her har gennemgået, tegner tilsammen et billede af en række muligheder, man kan vende allerede nu.

Trin 1 og 4 peger særligt på velafprøvede, økonomisk overkommelige strategier for at bygge mere med træ. I Trin 1 har vi vist en model, hvor man med mindst mulig indsats kan spare 11 % af et byggeris CO₂-udledning. Man kan indvende, at det er en lille besparelse, men vi kan samtidig konstatere, at end ikke dette særdeles overkommelige trin realiseres særligt ofte i tidens store byggeboom. Langt størstedelen af byggerierne i de nye byudviklingsområder udføres stadig som klassiske betonhuse i familie med Trin 0.

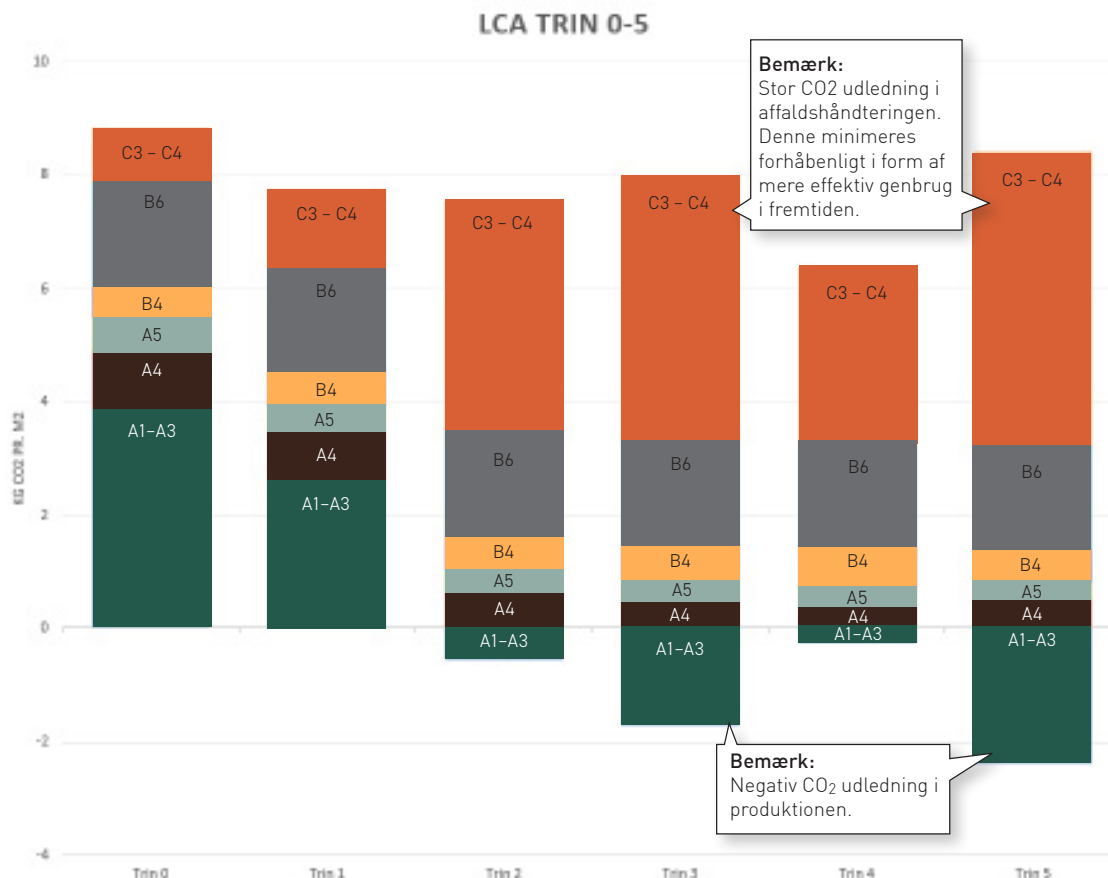
Lad os sammen have en ambition om at gøre Trin 1 til det nye Trin 0.

Trin 4 rummer industrielt fremstillede boksmoduler med bærende konstruktioner i træ. Disse moduler er allerede i dag en udbredt byggeskik i den almene sektor, og i arbejdet med konceptet AlmenBolig+ har en række af de almene boligselskaber, der står bag denne publikation, allerede vist vejen. Man har tidligere benyttet boksmoduler i tæt-lav byggerier, men producenterne er nu kommet så langt med deres brandteknologier, at man kan benytte denne byggeskik i 5-6 etager (og snart mere). Trin 4 har en miljøbelastning, der er nogenlunde lige så lav som Trin 5, så man gør allerede en stor forskel ved at pege på denne byggeskik.

Hvis man som læser af denne publikation blot husker at pege på Trin 4 eller Trin 1 ved næste byggeudvalgs-møde, er man med andre ord kommet meget langt inden for velafprøvede, økonomisk overkommelige løsninger.

Vi håber, man vil blande den rigtige palette af materialer til det enkelte byggeri, og således ikke lade sig binde af de enkelte, specifikke trin vist i dette hæfte. Vi forventer, at alle de kommende byggerier bliver hybride blandinger af alle trinene — på samme måde som vi i Trin 2 viser et bud på en kombination af materialer, der er sammensat, så man kommer i mål inden for rammen. Vi håber, vi som branche i de kommende år vil lave stadigt mere og flere miljørigtige kombinationer og planlægge disse så realistisk, at de rent faktisk bliver udført.

Som man kan se på ovenstående grafer rummer Trin 3 og Trin 5 meget store mængder træ, hvilket resulterer i kunstigt dårlige LCA-beregninger (miljøbelastning) pga. affaldshåndteringen i forbindelse med nedrivning. Når vi skriver, at Trin 3 kun når ned på 71 % og Trin 5 på 68 % af Trin 0, er det fordi vi som branche i dag ikke er kommet længere med at genbruge træ på en mindre miljøbelastende måde. Hvis vi bygger



De enkelte trins miljøbelastning er opgjort i faser. Særligt Trin 3 og 5 har store potentialer for hurtig nedbringning af miljøbelastningen i produktionsfasen, og forhåbentlig bedre genbrugsformer, så den samlede miljøbelastning nedbringes endnu mere end vi kan idag.

Trin 3 eller 5 huse i dag og lærer at genbruge træet på en bedre måde, inden husene rives ned, vil disse trin rumme en dramatisk lavere miljøbelastning.

På den baggrund er Trin 3 og Trin 5 en måde at bygge med meget lav CO₂-belastning allerede i dag, og dermed nedbringe CO₂ i atmosfæren på meget kort sigt. I lyset af forskellige fremskrivninger af klimaforandringerne kan denne accelererede nedbringelse

byggebranchens CO₂ være en fordel, idet man har brug for en reduktion så hurtigt som overhovedet muligt. Tilsvarende er der en lang række træbaserede produkter i form af både konstruktioner, vindspærreplader, isolering, facader m.m. der i dag er i så stærk udvikling, at Trin 5 forhåbentlig snart vil blive overhalet af stadig mere byggeteknisk og økonomisk overkommelige muligheder.

For at sige det kort: Vi skal i gang med at bygge meget mere i træ hurtigt. Vi har i Trin 1 og 4 peget på overkommelige løsninger, man kan kaste sig over allerede nu, og ser frem til de stadig bedre løsninger som Trin 2, 3 og 5 peger os i retning af.

Vi glæder os — god arbejdslyst!

www.træbarometeret.dk

APPENDIX

Metode / LCA-beregninger

Denne udgivelse betragter klimapåvirkningen over seks bygningsmodellers livscyklus. Analyserne tager udgangspunkt i fremgangsmetoden for udarbejdelsen af en LCA ved den frivillige bæredygtighedsklasse, som igen tager udgangspunkt i EN 15978 'Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet - Beregningsmetode'.

Livscyklusvurderingerne medtager alle faser af en livscyklus, men har afgrænsninger ved modulerne. De medtagne moduler er produktmodulerne (A1-3), byggeprocesmodulerne (A4-5), udskiftninger (B4), driftsenergi (B6) og affaldsbehandling samt bortskaffelse (C3-4).

Ved byggeprocesfasen er der regnet med en transportdistance på 500 kilometer for alle byggevarer ved alle trin i henhold til FBK. Det samme gør sig gæl-

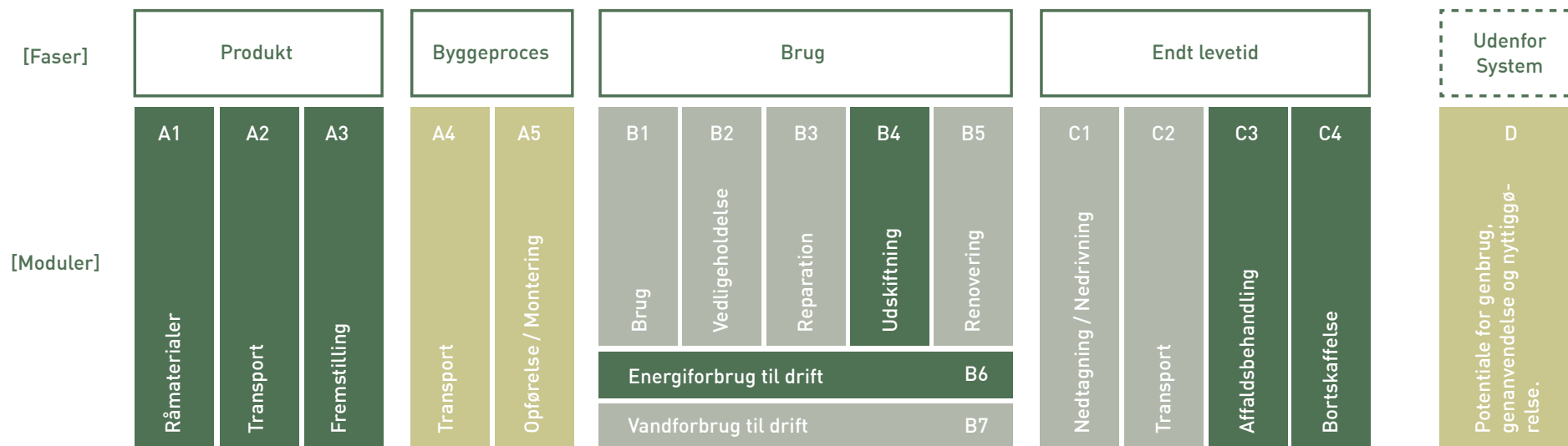
dende ved spild, hvor der er regnet med 10 % spild ved alle byggevarer ved alle trin i henhold til FBK. Betragtningstiden er fastsat til 50 år. Byggevarer med en levetid på under 50 år beregnes derfor til at blive udskiftet (B4). Alle levetider er bestemt ud fra SBI 2013:30 'Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi'. For at have mulighed for at inkludere klimapåvirkninger fra bygningernes energiforbrug ved driftsfasen er der foretaget en antagelse af driftsforbruget, som forholder sig til bygningsreglementets krav for nybyggeri anno år 2021.

For hvert trin er der udført en 3D Revit-model. Ud fra disse er der udarbejdet skematiske mængdeopgørelser for alle bygningsdele. Der er arbejdet med forskellige former for isolering, hvorfor der er taget højde for isoleringsevnen af disse, og derefter en bestemt tykkelse, sådan at bygningsdelene bliver

sammenlignelige vedrørende isoleringsevne. Der er forskellige bygningsdele, der går igen gennem de forskellige trin, men som alligevel er medtaget for at få et så retvisende resultat som muligt. Det gælder f.eks. terrændæk, fundament, trapper og døre.

Til at udforme livscyklusvurderingerne er programmet LCAbyg benyttet. LCAbyg er udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut og er et program, der beregner livscyklusvurderinger for bygninger. For at lave en LCA skal man bruge miljødata på de indtastede byggevarer. Disse miljødata findes som generiske i programmet, og er fra den tyske database Ökobaudat (BMI, 2020). Der findes en dansk database af miljøvaredeklARATIONER (EPD) som er udgivet af producenter og brancheforeninger.

I disse LCA'er er der benyttet danske branchemiljøva-



Faser i livscyklusvurderingerne (jf. FBK).
Illustration fra: <https://baeredygtighedsklasse.dk/>

redekorationer ved de byggevarer dette er relevant for, f.eks. betonvarer og træprodukter. Ved resten af byggevarerne er der benyttet generiske data fra den tyske Ökobaudat. Træprodukter, herunder konstruktionstræ og CLT-elementer, er sat til afbrænding efter endt levetid (iht. de branchespecifikke miljøvaredeklarationer) fremfor genbrug. Dette har en væsentlig betydning for det samlede CO₂-aftryk ved større mængder af træ, da det biogene carbon udledes i atmosfæren igen. Dette er gjort for at give et worst-case scenarie fremfor et resultat med dette forbehold. Det endelige resultat ved en LCA i denne udgivelse

viser en værdi af det globale opvarmningspotentiale (GWP). Resultatet har en værdi, der måles i CO₂ ækvivalenter. Det er en samlet enhed for de belastende drivhusgasser, der er målt op imod hinanden, og omregnet til CO₂ ækvivalenter. Det er denne værdi, der bruges til at sammenligne de forskellige trin.

Der er sammenlignet LCAByg modeller i D-fasen, hvor konstruktionstræ afbrændes kontra genbruges. EPD'er ved de forskellige trin er alle branche EPD'er. Den umiddelbare forskel i GWP er minimal, hvori- mod der ved de andre indikatorer er en besparelse

på op imod 60 %. Dette kan skyldes, at der i branche EPD'erne antages en distance til afbrændingsanlægget på 100 km mod en afstand til genbrugsstationen på 150 km. Så selvom der udledes mindre i affaldsfasen for genbrugstræ, så kan den ekstra transportomkostning opveje for GWP. Desuden er der ved afbrændingsscenariet en positiveffekt i form af undladt energiproduktion, sat i forhold til generel energiproduktion i Danmark. Ved genbrugsscenariet er der undgået produktion af nyt træprodukt i form af træplader.

VIDEN & LINKS

Viden & links

BUILD: Erfaringer fra 20 træbyggerier

<https://build.dk/Pages/Erfaringer-fra-20-traebyggerier.aspx>

BUILD: KLIMAPÅVIRKNING FRA 20 TRÆBYGGERIER

<https://build.dk/Pages/KLIMAPAAVIRKNING-FRA-20-TRAEBYGGERIER.aspx>

BUILD: Klimapåvirkning fra 60 bygninger

<https://build.dk/Pages/Klimapaavirkning-fra-60-bygninger.aspx>

BUILD: Anvendelse af træ i byggeriet

<https://build.dk/Pages/Anvendelse-af-trae-i-byggeriet.aspx>

CO2 besparelse ved træbyggeri:

https://www.trae.dk/wp-content/uploads/2020/09/baggrundsrapport_juni2020.pdf

Træinformation:

<https://www.traeinfo.dk/>

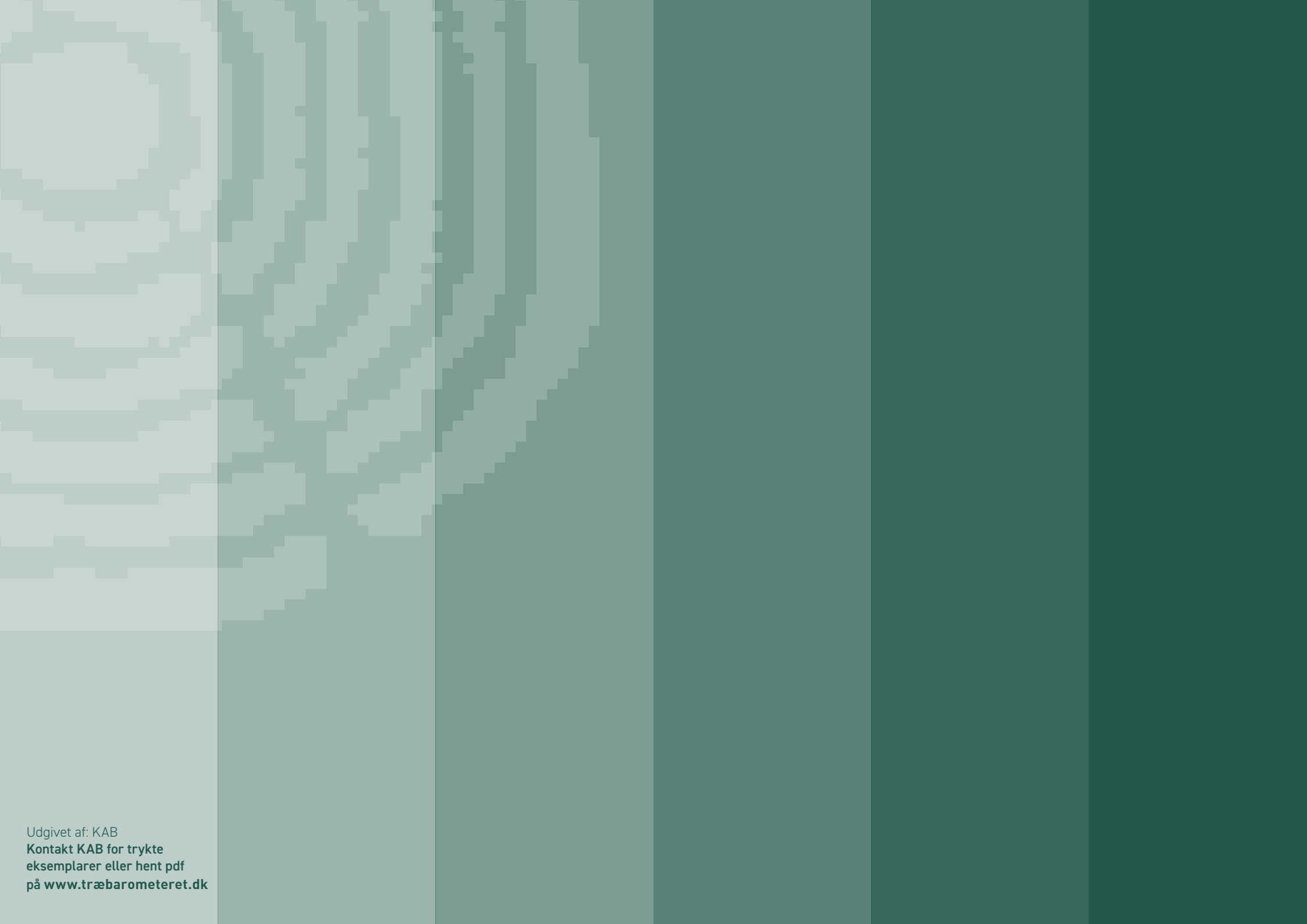
Træ.dk

<https://www.trae.dk/>



Tømmergården, tegnet af ONV arkitekter for Roskilde Nord Boligselskab, er bygget af træboksmoduler og beklædt med genbrugstømmer. Derfor er facadetømmeret i forskellige længder, hvilket også betyder, at vinduerne ikke er placeret på en lige linje. På den måde er det med til at skabe et andet udtryk og liv i byggeriet.





Udgivet af: KAB
Kontakt KAB for trykte
eksemplarer eller hent pdf
på www.træbarometeret.dk