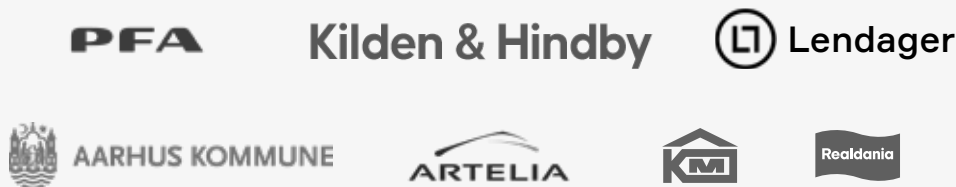


12 / 05 / 2025

TRÆ Vidensdeling

PFA EJENDOMME
KILDEN & HINDBY
AARHUS KOMMUNE
LENDAGER
ARTELIA
KAJ OVE MADSEN AARHUS
REALDANIA





TRÆ
Kalkværksvej 1
8000 Aarhus C
træ.com

Projektet er udarbejdet i et samarbejde mellem:

*PFA Ejendomme
Kilden & Hindby
Aarhus Kommune
Lendager
Artelia
Kaj Ove Madsen Aarhus
Realdania*

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	4
INTRODUKTION	6
TRÆ	8
BYGNINGENS FORM	10
KONSTRUKTION	12
ETAGEDÆK	15
VÆGGE	18
FACADE	20
BETON	22
BRAND	24
AKUSTIK	27
FUGT	28
CIRKULÆRE MATERIALER	30
HVORFOR GENBRUGE MATERIALER?	32
GENBRUGTE METALPLADER	33
GENBRUGTE VINDMØLLEVINGER	34
GENBRUGSTRÆ TIL GULVE	36
GENBRUGSTRÆ TIL VÆGOVERFLADER	37
GENBRUGSTRÆ TIL KONSTRUKTIONER (SYNLIGE SØJLER)	37
GENBRUGTE VINDUER TIL INDVENDIGE GLASVÆGGE	38
GENBRUGTE VINDUER I STUEETAGEN	38
PET-AKUSTIKBATTS	40
GENBRUGTE BELYSNINGSARMATURER	41
SUNDHED	42
SOCIALE BÆREDYGTIGHEDSTILTAG	44
LIVING LAB	46
BÆREDYGTIGHED UDEN CERTIFICERING	48
BÆREDYGTIGHED UDEN CERTIFICERING	50
BYLIV OG BYNATUR	52
BYLIV OG BYNATUR	54
ADOPTIVTRÆER	56
GENBRUGTE MURSTEN	57
BÆREDYGTIG BYGGEPLADS	58
BÆREDYGTIG BYGGEPLADS	60
LCA-BEREKNINGER	62
LCA-BEREKNINGER	64

Forord

Visionen for TRÆ var at bygge Danmarks højeste træbyggeri. Ikke nok med det, ville vi også bruge så mange genbrugsmaterialer som muligt overalt i projektet. Vi gav håndslag på ikke at gå den slagne vej for i stedet at dyrke innovation.

Processen har været krævende for alle involverede parter, og vi har alle lært meget undervejs. At tænke, udvikle og bygge et projekt, der på så mange måder udfordrer status quo vil altid være udfordrende, og det er derfor særligt vigtigt for os at dele vores erfaringer med andre i branchen, så vi fælles kan rykke os.

Det har krævet en særligt modig bygherre og udvikler i form af PFA Ejendomme og Kilden & Hindby at muliggøre et så anderledes projekt. Aarhus Kommune har ligeledes udvist stor imødekommethed og åbenhed i samarbejdet omkring en bygning, hvor udfordringer med genbrugsmaterialer ift. lokalplanlægning skulle håndteres. Lendager som arkitekter og Artelia som ingeniører kombineret med en aktiv medspiller hos totalentreprenøren Kaj Ove Madsen Aarhus, der var inddraget tidligt i processen, har alle ydet en særlig indsats og essentielle bidrag til projektet.

At dele viden med branchen var også et erklæret formål for projektet, og både Aarhus Kommunes Klimafond og Realdania har været med til at støtte projektet på forskellige måder for at få realiseret de tårnhøje ambitioner.

Nu hvor TRÆ står færdig som et markant genbrugspejlemærke for fremtidens byggeskik, kan vi kun glæde os over resultatet, der på langt de fleste punkter er kommet i mål ift. vores oprindelige visioner. Nok har vi lært meget af processen, men dette er kun et skridt på vejen fremad mod en bæredygtig byggebranche, der agerer inden for de planetære grænser.

God læsning.

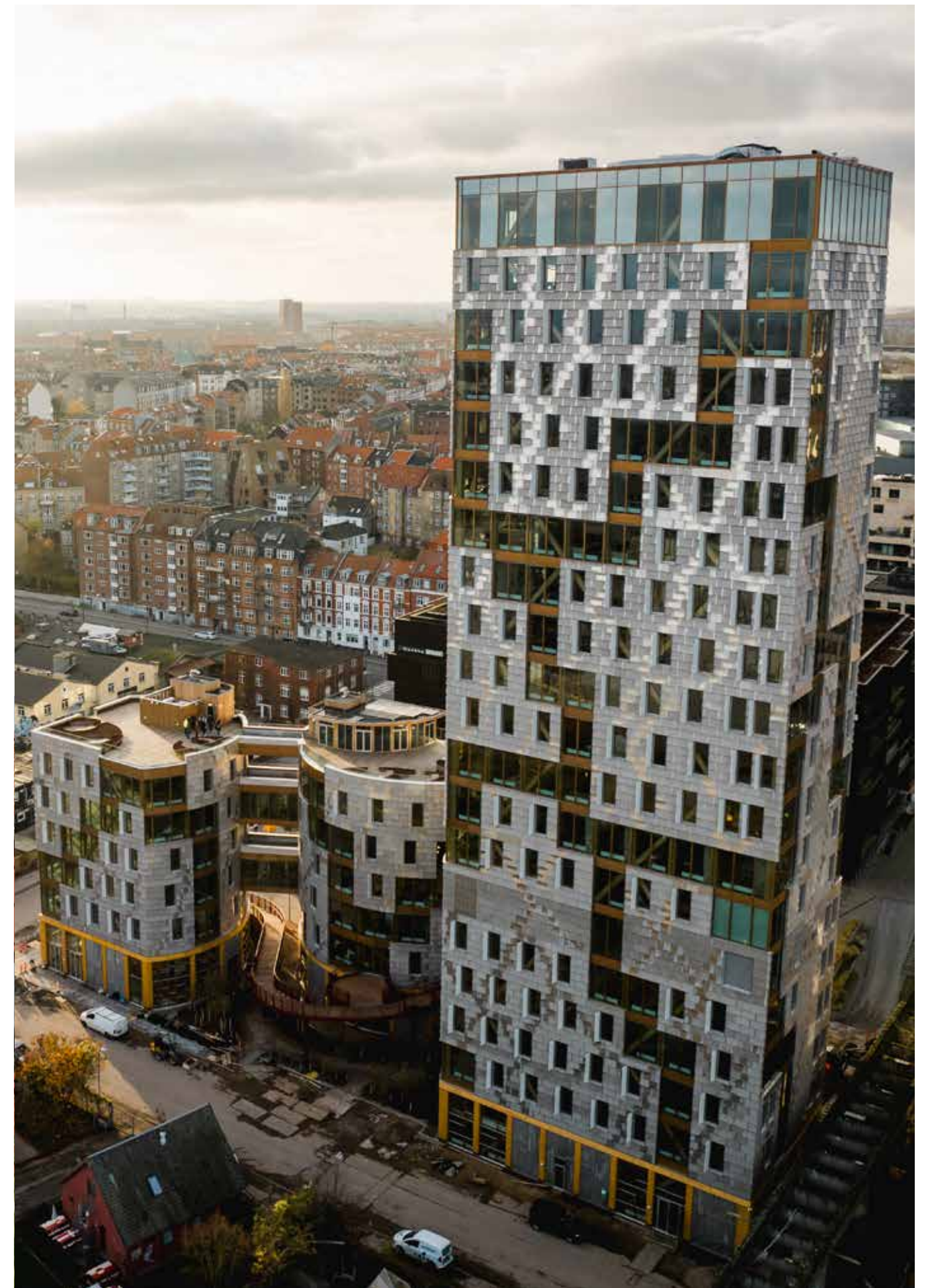


Foto: Anders Nymann Wejse

Introduktion

En udfordring ved at bygge et højhus i træ er, at der mangler erfaring og viden på området i forhold til, hvad man ved om f.eks. betonbyggerier i dag. Processen med at bygge højhuset TRÆ i Aarhus' Sydhavn har fra starten haft et erklæret formål om at bidrage med vigtige erfaringer om, hvordan man kan bygge højt i træ i Danmark, og hvordan proces og design kan optimeres i fremtiden. Med dette projekt vil man bidrage til at opbygge erfaringsgrundlaget for træbyggerier.

For at byggebranchen kan bevæge sig i en mere bæredygtig retning, er det vigtigt, at man bliver dygtig til at bruge trækonstruktioner og lære af de udfordringer, der opstår undervejs. Det er til en vis grad muligt at overføre viden fra stål- og elementbyggeri til træbyggeri, imens andre metoder må udvikles for første gang i større skala – hvilket ses på flere af de særlige løsninger, der er blevet udviklet i arbejdet med TRÆ.

Byggeriet af TRÆ har været betinget af, at man er gået i gang med byggeprocessen

uden at have al den nødvendige erfaring, der i stedet er blevet opbygget undervejs. Allerede nu er der mere viden tilgængelig end da byggeriet startede, bl.a. igennem brancheorienterede publikationer, forsøgsbyggerier og på baggrund af erfaringerne fra TRÆ, som man nu ønsker at dele med den brede offentlighed. I takt med, at man bygger flere træbyggerier af forskellige størrelser og typologier er det essentielt, at man bliver ved med at dele med hinanden, så branchens videnskæssige fundament styrkes gennem samarbejde og videndeling.

Nærværende dokument indeholder en beskrivelse af de valg og fravalg, der er truffet undervejs i processen. De følgende kapitler vil gå igennem TRÆs forskellige bygningsdele – konstruktion, etagedæk, vægge, facade mm. – og kaste lys på vigtige emner som brand, akustik, cirkulære materialer, sundhed og byliv, der alle har haft indflydelse på bygningens design. Til slut gennemgås projektets LCA-beregninger.



Foto: Anders Nymann Wejse

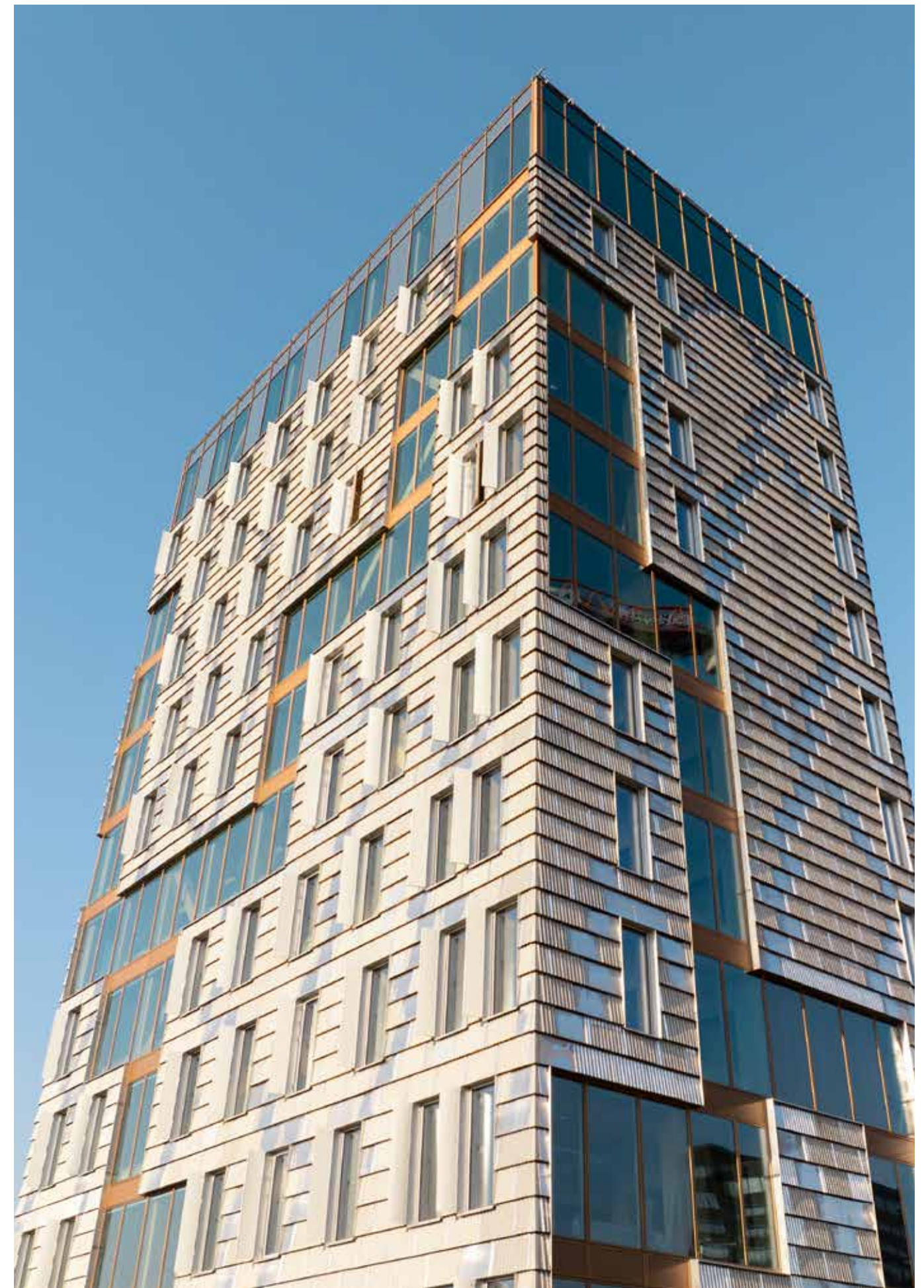


Foto: Anders Nymann Wejse

TRÆ





Foto: Anders Nymann Wejse

Bygningens form

Bygningen fandt sin nuværende form ved at tage højde for faktorer som flow, kontekst, menneskelig skala og hvordan offentligheden kunne gøre brug af byrummene.

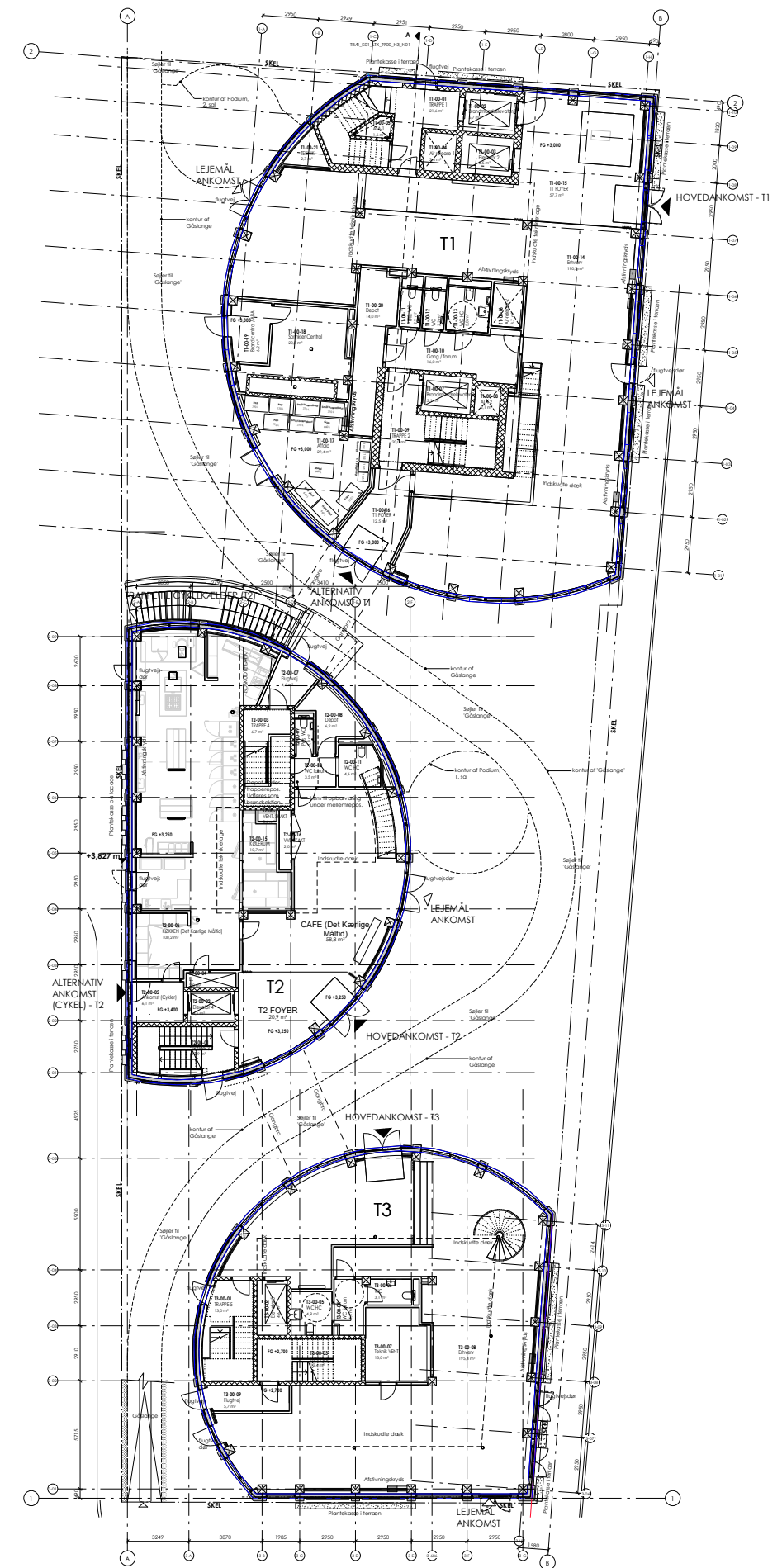
En mere retvinklet bygning vil for alle typer materialer være mere optimalt økonomisk og materialeforbrugsmæssigt, og det ville f.eks. være muligt at undgå de kantbjælker i stål, der er nødvendige i T1, samt de runde sider af T2 og T3, pga. robusthedskrav. I teorien kunne man flytte søjlerne, så de er i samme modul som dækelementerne og fjerne bjælken. Stålbjælkerne kunne principielt også erstattes af bjælker i limtræ, men det ville dog give udslag i bjælker, som rager ned i lokalerne. Afstivende skråstænger fordrer anvendelse af stål uanset bygningens geometri.

Den valgte formgivning med rundede former og flere tårne, gør, at træet må kombineres med andre materialer i sin konstruktion, da

træ som udgangspunkt leveres i rektangulære formater.

En anden konsekvens af bygningens formgivning i tre volumener frem for ét er, at den giver et større antal kvadratmeter facade, som medfører højere økonomiske omkostninger ift. f.eks. drift i form af øget varmetab gennem facade, samt et højere CO2-aftryk for den bygningsdel sammenlignet med en optimeret rektangulær og symmetrisk formgivning.

Formgivningen har dog andre vigtige kvaliteter, såsom at den giver store kvaliteter tilbage til byen med sin særegne facade, bløde geometri og inkluderende byrum. Som bygherre og rådgiver har man et stort ansvar, når man skaber et højhus, der på grund af sin højde kan betragtes langvejs fra, og som derfor gerne skal bidrage positivt til både byens skyline og til at skabe et imødekomende, levende bykvarter lokalt omkring bygningskroppen (se kapitlet 'Byliv og bynatur').



Plan af stueetagen 1:300. Illustration: Lendager

Konstruktion

Et af byggeriets primære succeskriterier var at vise, at det er muligt at bygge et træbyggeri i højden under danske forhold og ifølge dansk bygningsreglement.

Byggeriets overordnede geometri har taget form af en række cirkelslag, der skæres af matriklens afgrænsning, hvilket skaber tre bygningskroppe, der står som lodretstående kævler på grunden.

På grund af dette geometriske hovedgreb og fordelingen af byggeretter mellem de tre bygninger er T1 er udført i 20 etager og T2 og T3 i 6 etager over terræn, hvilket resulterer i forskelle på konsekvens- og konstruktionsklasser for hhv. T1 og T2/T3.

Eftersom T1 er mere end 15 etager højt, er T1 indplaceret i ekstra høj konksvensklasse (CC3+) og konstruktionsklasse KK4. T1s højde

på 20 etager stiller således skærpede krav til bygningens konstruktive udformning og deraf afledte krav til dimensionering af konstruktionsdele og samlinger mellem konstruktionsdele.

Denne præmis er ikke anderledes end for et konventionelt byggeri i beton og stål, men visse løsninger er blevet særligt udviklet for TRÆ, da der i Danmark ikke er fortilfælde for træbyggeri over 15 etagers højde.

En væsentlig erfaring i forhold til at bygge højt i træ er, at det er vigtigt at arbejde ud fra træets præmisser fra start. Der blev i forbindelse med de tidligere faser arbejdet med et søjlenet, som var målrettet en optimal udnyttelse af CLT-dækket, som udgør den bærende del af etagedækket, for at reducere brugen af supplerende stålbjælker. Dette gav dog



Foto: Anders Nymann Wejse



Mock-up af konstruktionen. Foto: Lendager

dels udfordringer for facadeudtrykket og dels udfordringer med en optimal indretning af etagerne eksempelvis ift. lejemålsindretninger. Den endelige udformning af søjlenet og dækgemetri er således endt i et kompromis mellem funktion, æstetik og statisk rationalitet.

I arbejdet med og projekteringen af alle statiske systemer er det essentielt at man i de tidlige skitseringsfaser optimerer balancen mellem et optimalt bæresystem for konstruktionen og bygningens æstetiske og funktionelle egenskaber. Når man arbejder med bærende træ med mere eller mindre uafprøvede løsninger i dansk kontekst er dette kun endnu vigtigere at afsætte tid og ressourcer til, da erfaringsgrundlaget ganske enkelt er mindre end for projektering med beton og stål, og der er en risiko for, at en mindre statisk optimal løsning vil resultere i en stor mængde supplerende konstruktioner, der øger bygningens CO2-aftryk.

Fra projektets første streger, har det været for mål at, udkonkurrere den konventionelle råhuskonstruktion på bæredygtighed. Dette

skulle gøres ved at minimere anvendelse af stål og beton og finde optimerede løsninger, der ikke var overdimensionerede. Ud over råhuset var det også ambitionen, at aptering, beklædning, skeletkonstruktioner mv. skulle udføres i træ. Undervejs har det også været afsøgt indledningsvist, i hvilket omfang dette træ endda kunne være genbrugstræ for ikke kun at se på CO2-udledning, men også ressourceforbrug. Dog er TRÆ ikke endt som et rent træbyggeri, selvom der stadig indgår store mængder træ. Træelementerne suppleres af andre materialer og bl.a. består konstruktionens kerner og fundament af CO2-reduceret beton, som beskrives nærmere i 'Beton'-kapitlet.

For at lave en effektiv trækonstruktion, der minimerer brugen af beton og stål, er det vigtigt at arbejde ud fra træets præmisser fra start. Samtidig er det også vigtigt at indtænke robusthed, hvilket medførte, at der skulle anvendes stålbjælker i stedet for træbjælker. Dette var nødvendigt for at undgå nedragende bjælker i lokalet.

Stålbjælker i facaden kunne principielt ændres



Foto: Anders Nymann Wejse

til træbjælker, men det ville resultere i en større etagehøjde pga. konstruktionshøjde (mere facade, færre etager) og/eller mindre vinduer.

Det blev ligeledes undersøgt, hvorvidt det var muligt at udføre også kerner i træ, men pga. brandkrav ville dette resultere i et forringet areal per etage, da konstruktionerne fylder mere – og der ville skulle etableres flere og større skråstivere i facaden, hvilket ville have en indflydelse på både udsyn, dagslysforhold og brutto-netto forhold.

Fremadrettet vil det være relevant at undersøge nærmere, hvordan man kan optimere mængden af stål i skråstiverne samt knudepunkterne mellem søjler og dæk, da især de mange samlinger i træafstivninger har resulteret i et stort omfang af stål. Den valgte søjletakt skabte mange samlinger, og det er værd at undersøge om det kan resultere i et lavere forbrug af stål, hvis søjletakten udføres med længere, symmetriske mellemrum.

Der blev indledelsesvist fra Artelias side

frembragt et forslag om at skabe et søjlegrid i bygningen, der reducerede omfanget af stål-bjælker, men da det resulterede i bindinger i indretningen, blev nettet ikke anset som hensigtsmæssigt.

Etagedæk

TRÆ indeholder ca. 14.000 m² etagedæk, og det er den bygningsdel i træ, der fylder mest i bygningen. Der er leveret og monteret 9.730 m² CLT-dæk.

Det konventionelle valg af etagedæk er beton, som typisk udføres i præfabrikerede huldæk, bl.a. da disse er velafprøvede, standardiserede og relativt billige ift. øvrige løsninger. Havde man ikke valgt CLT som etagedæk, ville man dog have brugt pladsstøbt beton (in-situ) i T1 pga. geometrien og de særlige robustkrav til byggerier i mere end 15 etager.

I TRÆ er der i stedet valgt en optimeret CLT-konstruktion som etageadskillelse på baggrund af en proces, hvor forskellige parametre

som højde, pris, bæredygtighed og lovgivningskrav blev sammenlignet med hinanden i række variantsammenligninger. Den valgte konstruktion opfylder alle krav til brand og akustik, men gør desværre også, at trædækkene ikke bliver synlige for brugerne af bygningen, hvilket var et æstetisk benspænd for den indvendige arkitektur.

Etageadskillelsen er, foruden CO₂-aftrykket, valgt ud fra forhold omkring bygningens form, som et så rationelt byggesystem som muligt, der gav mening ift. bygningernes særlige geometri. Uanset hvilket materiale, der var blevet valgt, ville bygningens form resultere i en række unikke løsninger, hvor et retvinklet konstruktivt system møder en konveks facade. En



Fotos: Anders Nymann Wejse



Vægge

Da TRÆ er konstrueret som et søjle-bjælke-system, reducerer det omfanget af byggeriets vægge. Dette tæller positivt i projektets CO2-aftryk, da væggene dermed får et mindre materialeforbrug.

Ud fra ambitionen om at bruge så meget træ som muligt i bygningen, er næsten alle indvendige, uklassificerede vægge udført med træskelet. Vægge med brandkrav er udført med stålskelet samt vægge til toiletkerner af hensyn til overholdelse af lydkrav.

Bygningens kernevægge omkring trapper, elevatorer, teknikrum og -skakte mv. er udført i beton, som er det traditionelle valg. Denne beslutning blev taget under projekteringen, hvor det blev undersøgt, om de bærende og stabiliserende vægge kunne udføres som CLT-vægge. Undersøgelser viste, at man godt kunne lave de to lave bygninger med træ, men i den høje bygning var ikke muligt pga.

brandkrav. Det kunne teknisk set godt lade sig gøre at udføre væggene i træ, men det ville kræve en markant forøgelse i væggenes tykkelse (fra 200 mm til 380 mm), hvilket ville reducere antal brugbare kvadratmeter i bygningen. Det skyldes både statikken samt de brandmæssige og akustiske krav til, at trækonstruktionen skal udføres med et 'offerlag' ift. brandsikkerhed. Derfor blev konklusionen af undersøgelsen, at bærende og stabiliserende vægge skulle udføres i beton. For at reducere betonkonstruktionernes CO2-udledning blev det besluttet at udføre dem i beton med CO2-reduceret cement (se kapitlet om 'Beton').

I forhold til isolering i væggene er der valgt glasuld frem for stenuld. Dette til trods for, at stenuld i nogle tilfælde kan give et bedre LCA-resultat. Dog bliver ressourcerne brugt mere ansvarligt i produktionen af glasuldsisoleringen.

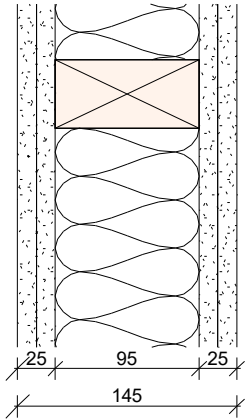


Fotos: Anders Nymann Wejse

IV01

[224 001] Letvæg, træskelet, gipsplade, 145 mm
- Standardgipsplade type A-1, 2 x 12,5 mm
- Træstolpe, 95 x 45 mm (600 cc)
- Standardgipsplade type A-1, 2 x 12,5 mm

Luftlydisolering: ca. 40 R'w [dB]

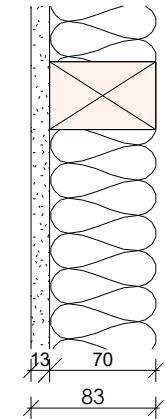


Skillevægge træskelet 1:10. Illustration: Lendager

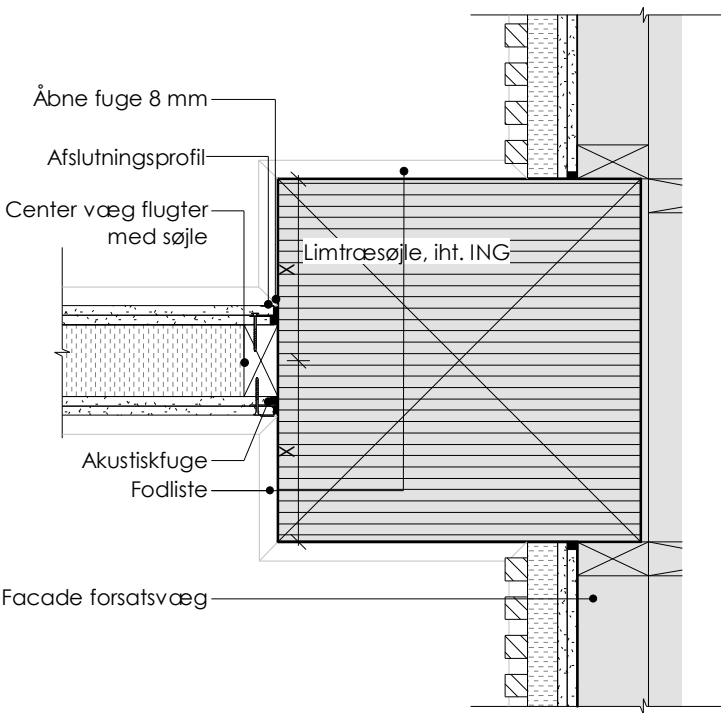
IV11

[224 011] Letvæg, træskelet, én side gipsplade, 82,5 mm
- Standardgipsplade type A-1, 12,5 mm
- Træstolpe, 70 x 45 mm (600 cc)
- Isolering, 70 mm

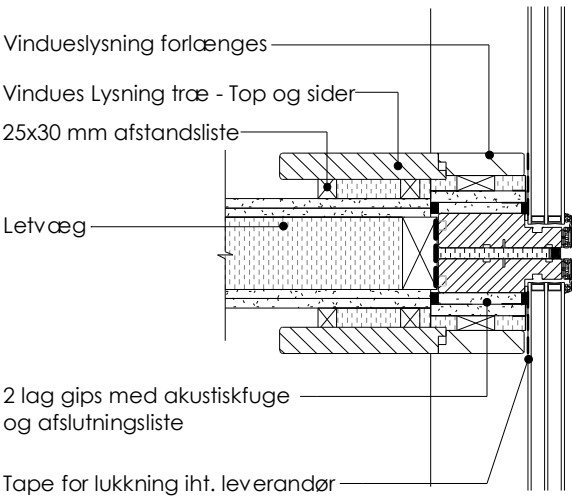
Uklassificerede



Forsatsvægge træskelet 1:10. Illustration: Lendager

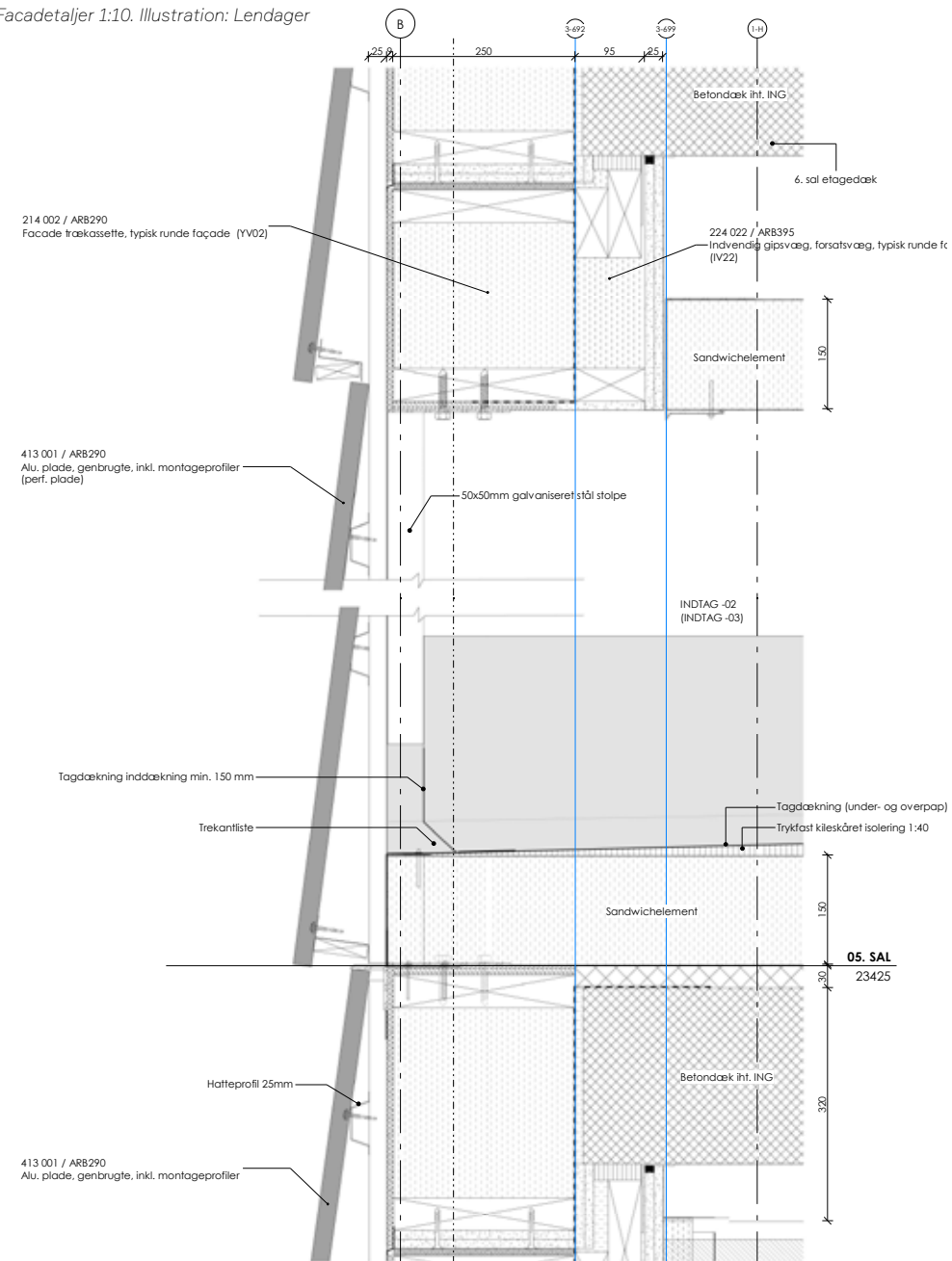


Letvæg mod træsøjle 1:10. Illustration: Lendager



Letvæg mod facade 1:10. Illustration: Lendager

Facadetaljer 1:10. Illustration: Lendager



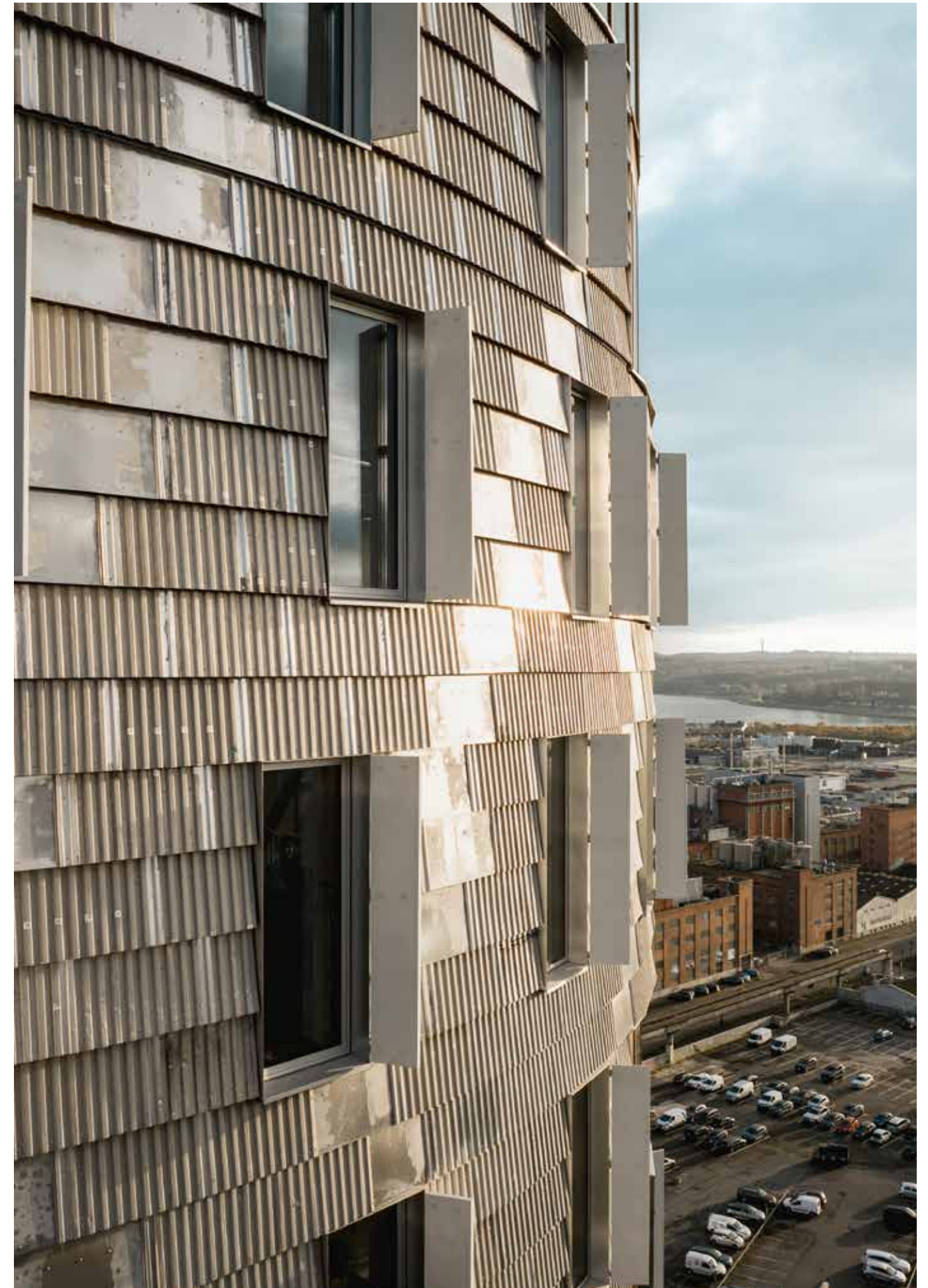
Facade

Facaden står for en væsentlig del af bygningens samlede CO₂-udledning. Der anvendes trækassetter i facaden, da de har et mindre CO₂-aftryk end for eksempel stål- og aluminiumskassetter, samt at de har bedre isoleringsegenskaber end stål- og aluminiumskassetter. Der er ikke tidligere anvendt trækassetter i facaden i et højhus i Danmark, hvilket er et vigtigt fremskridt at fremhæve.

Oprindeligt var ønsket at beklæde større arealer af facaden med træ, både ved at en del af de mindre bygninger blev udført med

brandimprægneret træbeklædning, med trædetaljer omkring vinduerne og trædetaljer i metalfacaderne på T2 og T3. Her opstod dog udfordringer i forhold til brandkrav (se 'Brand'), og det var kun muligt at få trædetaljer mellem facadens metalplader med i det endelige projekt.

Afstandslisten mellem pladerne er udført i kasseret termotræ, hvilket giver bygningen en 'skjult' facade af træ mellem metallet, der kun kommer til syne, når man står lige nedenunder og kigger op.



Fotos: Anders Nymann Wejse

Beton

Bygningsdel	Konstruktionstype	Begrundelse
Pæle	Præfabrikerede armere-de beton-pæle	· Styrke · Miljøeksponering · Manglende alternativer
Bundplader, fundamenter	Insitu-støbt beton	· Styrke · Miljøeksponering · Radonsikring · Armeringsvariation ift. reel belastning · Manglende alternativer
Bærende og stabiliserende vægge	Insitu-støbt beton samt præfabrikerede betonelementvægge	· Styrke og samlinger · Brand · Lyd
Etagedæk over kælder, T2 samt over 4. sal og 5.sal, T1	Insitu-støbt beton	· Fugt (våd-rum/storkøkken) · Lyd (tekniketage, 5. sal)
Tagdæk, T1, T2 og T3	Præfabrikerede huldæk	· Fugt

En af indgangsvinklerne til udviklingen af byggeriet har været at begrænse anvendelsen af beton i videst muligt omfang, og der er derfor forsøgt at finde alternative og mere CO2-venlige alternativer for alle bygningsdele, der ofte udføres i beton.

Dog er der for nogle bygningsdele af forskellige årsager truffet beslutning om at anvende beton - disse ses i tabellen herover.

For at reducere CO2-påvirkningen for de valgte betonkonstruktioner, bruges FutureCem (CO2-reduceret cement) i størst muligt omfang. FutureCem reducerer CO2-udledningen med op til 30% i den færdige beton ift. konventionel cement ved anvendelse af kalkfiller og kalcineret ler, der muliggør højere klinkererstatning i cement. Ved projekterings opstart var der en prisforskel ift. almindelig portlandcement, men i løbet af 2021 blev

priserne for FutureCem og almindelig beton dog udlignet.

Ift. brugen af andre betontyper har det været nødvendigt at fokusere på de forskellige betonkonstruktioners eksponeringsklasse (tidligere miljøklasse), da der ikke kan anvendes FutureCem i alle eksponeringsklasser. I forbindelse med projektering af betonkonstruktioner er der i konstruktionsprojektet angivet krav til betonstyrke og eksponeringsklasse. Eksponeringsklasser for beton er et resultat af, hvilken ydre påvirkning den pågældende bygningsdel bliver udsat for. Der findes i betonnormerne retningslinjer for, hvilke eksponeringsklasser, der skal foreskrives med udgangspunkt i det omgivende miljø.

For at maksimere anvendelsen af FutureCem er bygningsdele i de eksponeringsklasser, der som udgangspunkt ikke tillader FutureCem,



Foto: CLT-Danmark

blevet gennemgået med henblik på at undersøge muligheden for alligevel at anvende det for at være sikre på, at man ikke baserer vores valg på forkerte antagelser.

Således arbejdes der for bundpladerne i T1 og T3 med forskellige eksponeringsklasser for bundpladerne og elevatorgruberne. Elevatorgruberne har underkant i niveau omkring grundvandsspejlet, hvorfor det fordrer en

eksponeringsklasse XC2, som ikke tillader FutureCem. Resten af bundpladen ligger i niveau over grundvandsspejlet, hvorfor eksponeringsklassen er nedjusteret til XC1, som tillader anvendelse af FutureCem. Eftersom der alligevel indlægges støbeskel mellem elevatorgruber og øvrig bundplade, er det således valgt at differentiere i eksponeringsklasser for at øge mængden af CO2-reduceret beton.

Brand

Brand har været en væsentlig faktor i design- og materialevalget i TRÆ, og det er en vigtig læring i projektet, at der i træbyggeri – især i denne skala – skal ske en tidlig og løbende inddragelse og brandingeniøren, ligesom det var tilfældet med TRÆ. Det har også været særdeles vigtigt for de øvrige rådgivere at tilegne sig et forholdsvist dybt vidensniveau om brand for at kunne indgå i en kvalificeret dialog med brandrådgiverne, især i de tilfælde, hvor man har arbejdet med hidtil uafprøvede løsninger eller produkter.

Inden for brandsikring af bygninger arbejder man med præaccepterede løsninger for forskellige bygningstyper, både hvad angår bygningens form, materialer og program. Når man følger de præaccepterede løsninger, vil de brandsikringsmæssige forhold være i orden.



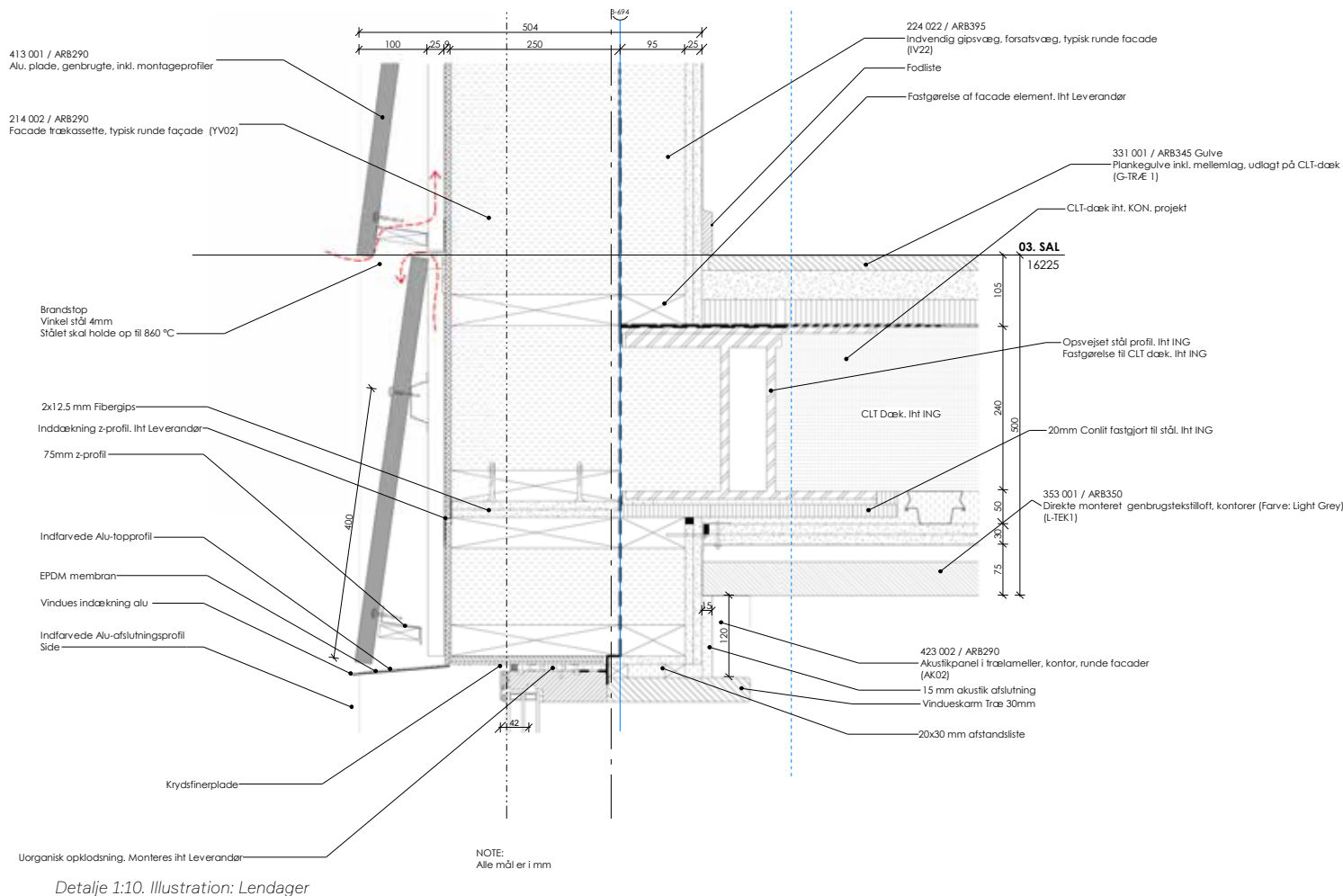
Fotos: Lendager

For TRÆs vedkommende er der dog en række forhold gældende, som ikke følger de præaccepterede løsninger. Da bygning T1 er over 12 meter og har CLT-dæk som brandbar etageadskillelse, medfører det afvigelse fra de præaccepterede løsninger. Artelias brandrådgiver har derfor været nødsaget til at anvende andre dokumentationsmetoder for at dokumentere bygningernes brandsikkerhed. Dette er nærmere beskrevet i bygningens brandstrategi, som indeholder retningslinjer for, hvordan de brandsikkerhedsmæssige tiltag er blevet udført.

I tilfældet med TRÆ blev brandingeniøren involveret tidligere end vanligt, og projektet er med til at kaste lys på, at samarbejdet med brandingeniøren og tredjepartskontrollen



Bygningsdel	Krav	Løsning
Dæk	– Røgspredning (20% indvendige overflader i lofter og søjler) – 120 min krav til dæk (EI 60 A2-s1, d0) og konstruktionskravet R120, hvilket betyder, at etageadskillelsen skal modvirke brand- og røgspredning inden for de første 60 minutters brandforløb samt at etageadskillelsen ikke må kollapse inden for de første 120 minutters brandforløb. – Betegnelsen betyder også, at der skal anvendes ubrændbare materialer i adskillelsen, hvilket ikke er overholdt for CLT-dæk. CLT-dæk kan ej heller i sig selv holde i et 120 minutters brandforløb.	– Den valgte dækløsning (som ses på figur under kapitlet 'Etage-dæk') virker i brandmæssig henseende som et 60+60 minutters system. Det betyder, at CLT-dækket beskyttes de første 60 minutter af brandforløbet af K260-loft (to lag brandgips i en systemloftløsning). Løsningen har krævet en særskilt konstruktionsmæssig redegørelse – Dækkene er udført med calciumsulfat og trykfast isolering på oversiden, hvor et trægulv er den synlige overflade. Således bliver træ stadig synligt på gulvene. Man ser dog ikke CLT-dækkene under dækket pga. et beskyttelseslag, der påbygges under dækket.
Søjler	– R120 (120 minutters brandmodstandsevne) – Røgspredning (20% indvendige overflader i lofter og søjler)	– På baggrund af kravet R120 er søjlekonstruktionen "overdimensioneret" med et 100 mm offerlag. Den ekstra tykkelse er en fordel i forhold til konstruktionens robusthed, og der kommer mere træ i bygningen, da søjlerne alene udgør cirka 20% af de indvendige overflader i træ. Dog optager de også brugbare kvadratmeter i lejemålene. – Søjlerne er beregningsteknisk dimensioneret for en 120 minutters standardbrand, hvilket betyder, at deres tværsnit vil blive reduceret under en brand, men at det resterende tværsnit (efter 120 minutters brand) er dokumenteret til at have en tilstrækkelig restbæreevne. – Søjlerne er ikke brandbehandlede, da de indgår i de 20% brandbare overflader
Vægge, lofter	– Der må max være 20% ikke-behandlede træoverflader (vægge og loft) – Alle vægoverflader (der overskrider de 20% af loft- og vægoverflader) skal have en beklædningsklasse B-s1,d0, som skal forstås som et materiale, der er "begrænset antændeligt, flammespredende, varmeafgivende og røgudviklende og som ikke afgiver brændende dråber/partikler". – For at opfylde brandkravene på overfladen skal træ brandimprægneres med dokumenteret system – For glatte overflader skal brandimprægneringsproduktet have dokumenteret brandmodstandsevne – For akustiske felter i træ, som fx trælameller eller perforerede massivtræplader, skal hele systemet have dokumenteret brandmodstandsevne. Dvs. at trædelen samt den akustiske isolering, og evt. akustikdugen, skal testes samlet.	– Leverandør høster genbrugstræ og får det brandimprægneret og testet, så der kan leveres en dokumenteret systemløsning, der overholder kravene.
Kerne-vægge	– Hvis kernen var udført i træ, skulle der udføres en forsatsvæg i fx gips, hvilket ville føre til en meget tyk kerne, der ville optage brugbare kvadratmeter i lejemålene (se mere under kapitlet 'Vægge').	– Kernen er udført i beton, der udover at have gode brand- og akustikegenskaber også forbedrer stabiliteten og mindsker behovet for skråafstivninger, som kan have en negativ effekt på lejemålene.
Facade, træ	– Brandimprægnering til udvendige træoverflader skal opfylde krav i forhold til afvaskning. Der manglede garanti fra leverandørerne	– Træbeklædningen udgik af projektet – Trædetaljer i metal facaden bestod brandtesten og er udført i hele projektet – Lysninger omkring vinduerne udgik af projektet
Facade, vindmølevinger	– Regnskærmen må ikke være brandbar for bygninger over 22 m – Der må ikke være brandsmitte mellem etagerne – Vindmølevingerne skal brandtestes	– Vindmølevingerne, der bestod brandtesten, må bruges som solafskærmning



Detalje 1:10. Illustration: Lendager

kan være kompliceret, og at der så tidligt som muligt skal planlægges en særskilt procedure for at komme i mål med særlige tiltag, der ikke er præaccepterede, da de kan hindre den øvrige projektering, såfremt afklaringer ikke indhentes rettidigt. Brandingeniøren skal derfor faciliteres løbende – ikke mindst under hensyn til, at de få brandingeniører, man har i landet, generelt har meget travlt, men samtidig har et meget stort ansvar, de skal forvalte.

Der har undervejs været udført flere brandtests, både i mindre skala og i fuld skala for store udsnit af facaden. Dette har bl.a. været for at kunne lykkes med at montere de genbrugte vindmøllevinger som fastmonteret

solafskærmning. Da disse som udgangspunkt er brændbare, har det været nødvendigt at finde en placering på facaden, der både passede ind i bygningens æstetik, behov for solafskærmning, og at brandsmitte ikke ville opstå imellem dem eller andre brændbare elementer på eller i facaden. Dette lykkedes ikke i første fuldskala brandtest, men med nogle justeringer, der bestod i, at vinduerne blev forskudt på etagerne, så der ingen brandsmitte var, lykkedes det i anden fuldskala test.

Brandkravene gjorde bl.a. at projektets CLT-dæk ikke kunne fremstå synlige. Derudover er der brandkrav til de forskellige bygningsdele, som ses af tabellen på forrige side.

Akustik

De akustiske forhold er et vigtigt aspekt af projektets sundhed, og akustikeren er også involveret tidligere end i en vanlig byggeproces. Det drejer sig bl.a. om at sikre et lavt støjniveau fra tilstødende kontorer, fra virksomheder på etager foroven og forneden, fra installationer og teknikrum mv. Samtidig er det vigtigt at etablere kontormiljøer med god rumakustik.

En særlig udfordring omkring akustikken i TRÆ er, at det en fordel at have en etageadskillelse med markant masse, da vægten i sig selv er med til at isolere støj. Det har TRÆ ikke, da CLT-dækkene er en let opbygning.

I nogle andre projekter ses det, at CLT-dæk suppleres med beton, men dette har man ønsket at undgå i projektet. Derfor skulle der etableres andre tiltag, primært via flere, lyd-mæssigt adskilte lag i etageadskillelsen, for at sikre tilstrækkelig reduktion af lydtransmission (trin- og luftlyd) imellem etagerne:

- Under dækket er placeret et lydbøjleloft, der består af to lag brandgips. Dette system virker også som et brandbeskyttelses-system. Lydbøjlesystemet er fastgjort til CLT-dækket og har den funktion, at det frakobler svingninger i dækkonstruktionen fra loftkonstruktion, hvilket har stor betydning for etageadskillelsens lydisolationsevne.
- Oven på CLT-dækket er der placeret et 50 mm trykfast mineraluld, der har samme funktion som lydbøjlerne og frakobler gulvkonstruktionen lydmæssigt.

Hvad angår rumakustikken, er der etableret specialdesignede akustikpaneler i fraseret træ fra møbelindustrien, der, modsat akustikreguleringen omkring etagedækkene, skaber mere synligt træ i rummene. Der var krav om en fulddækkende akustisk reguleret loft, og her blev benyttet akustikbatts af upcyclet PET (termoplast).



Fotos: Anders Nymann Wejse

Fugt

For at minimere risikoen for fugtrelaterede skader i byggeriet, blev der udviklet en omfattende fugtstrategi. Fugtstrategien indeholder en detaljeret handleplan, som beskriver tiltag og aktioner for beskyttelse af de fugtfølsomme trækonstruktioner gennem hele byggeprocessen. Strategien fokuserer på forebyggelse af fugtindtrængning, hurtig montage og løbende overvågning af fugtniveauer.

Allerede ved leveringen af træelementerne blev fugtbeskyttelse sikret gennem korrekt emballering og behandling af materialerne. CLT-dæk blev leveret med en vandtæt, men diffusionsåben membran, der beskytter mod regn, samtidig med at materialet kan tørre naturligt. Limtræssøjler var på alle overflader beskyttet af fugtafvisende vanish. Derudover blev alle endeflader behandlet med voks for at forhindre fugtopsugning. På byggepladsen blev træelementerne opbevaret tørt og

overdækket, og hvis montage ikke skete umiddelbart efter levering, blev elementerne dækket til igen for at forhindre opfugtning.

Montagen af råhuset blev tilrettelagt, så trækonstruktionerne blev udsat for fugt i kortest mulig tid. Betonkerne i bygningerne blev udført først for på denne måde efterfølgende at kunne montere trækonstruktioner med så få stop i byggetakt som muligt. Bygningen blev opført sektion for sektion, hvilket muliggjorde en hurtig lukning af facaderne. Samlinger mellem dæk, søjler og facadekassetter blev tætnet systematisk med en specialmembran for at forhindre vandindtrængning. For at sikre, at regnvand ikke samlede sig på etagerne, udførtes fulde membraner på etagedækkene. Membraner i samlinger blev tætnet og ført ud over facaden, således at overskydende vand kunne fjernes manuelt med svaber. Alternativt blev der anvendt en vandstøvsuger.

Da bygningen blev lukket, påbegyndtes en systematisk udtørring. Udtørring udførtes via "naturlig" udtørring, dvs. at den sker ved at råhuset holdes tørt og velventileret, således at træet/overfladerne ikke tager skade af en aggressiv udtørring (mekanisk affugtning og opvarmning).

Naturlig ventilation blev kombineret med kaloriferer med fjernvarme, der tilfører varm luft med høj blæserhastighed for at fremme fugtfordampning uden at skabe for stor temperaturforskel, som kan skade materialerne. Udtørringen blev tilpasset sæsonen, og på varme sommerdage anvendtes ventilation uden opvarmning.

En central del af fugthåndteringen var den løbende fugtlog, som sikrede dokumentation af fugtniveauet i konstruktionerne. Der blev foretaget målinger af fugtindholdet i CLT-dæk, limtræssøjler og trækassetter både ved

modtagelse, under opbevaring, efter montage og i udtørningsfasen. Målingerne udførtes med indstiksmåler og supplerende hammerelektrodemålinger, hvis der blev registreret gentagne høje fugtværdier. Træelementer blev først lukket inde i konstruktionen, når fugtindholdet var under 18 %, hvilket reducerede risikoen for skimmelvækst og langvarige fugtskader.

Hvis der under byggeprocessen blev registreret fugtskader, blev de straks håndteret. Vådt isoleringsmateriale i facadekassetter blev udskiftet og skjolder på synlige trækonstruktioner blev afrenset og efterbehandlet. Alle fugtregistreringer blev dokumenteret i fugtloggen, så der var fuld sporbarhed på fugtforholdene for de enkelte bygningselementer.

Denne systematiske tilgang til fugthåndtering sikrede, at byggeriet blev gennemført uden kritiske fugtskader og at trækonstruktionerne forblev tørre og intakte både under og efter opførelsen.



Fotos: Anders Nymann Wejse

FOKUSPUNKTER

1. Interims beskyttelse af træ før byggeplads. Oversider på CLT afdækket med diffusionsåben membran. Limtræssøjler er på alle overflader beskyttet af en fugtafvisende vanish.

2. Interims beskyttelse af træ på byggeplads. Samlinger er lukket med membran efter montage. Dækanter ved facade og ved tilstødende bygningsdele er afdækket. Lukning af råhus med trækassetter og vinduesbånd er sket løbende, gerne 1-2 etager under montagen af søjler og dæk.

3. Monitorering af træ. Fugtprocenter er fulgt løbende med log ved læsning af fabrik, levering, indbygning, ugentligt frem til lukket råhus samt endeligt ved indelukning i konstruktion i feks. yder-vægge og etagedæk.

4. "Udtørring" af træ. Ingen tvangsudtørring.

5. Handlingsplan når der er fugt i træ. En plan for, hvad man gør, når der er fugt. Ved byggeriet af TRÆ viste det sig, at aktion er det vigtigste, fx at fjerne isolering eller anden lukning af træ og få sat luftcirkulation på.

Cirkulære materialer



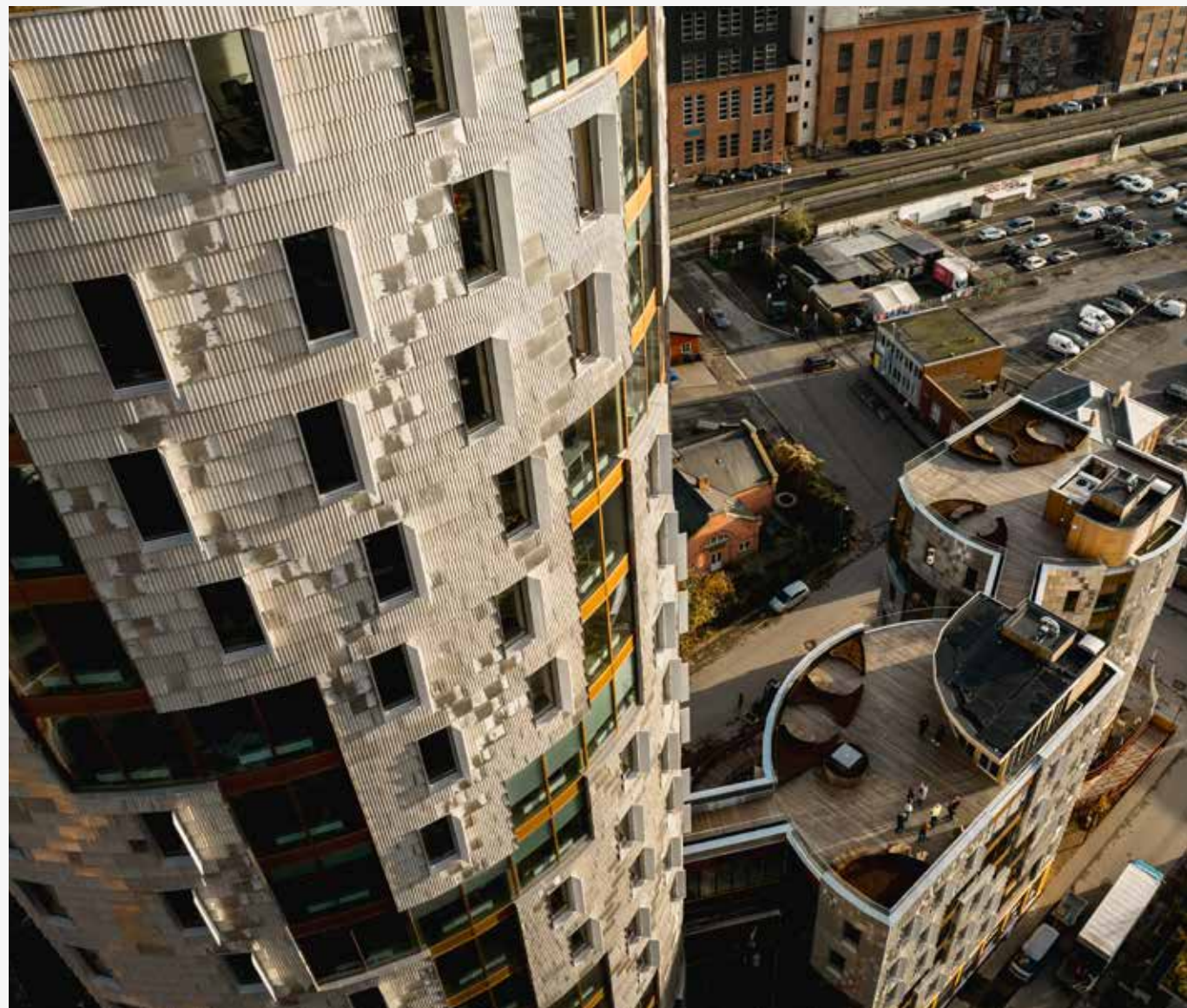


Foto: Anders Nymann Wejse

Hvorfor genbruge materialer?

De følgende afsnit går igennem projektets genbrugte materialer, fortæller om processen, udfordringer, til- og fravalg undervejs.

Genbrug betyder, at materialets levetid forlænges ved at give det kasserede materiale en ny funktion uden at materialet forarbejdes synligt. Derfor også sommetider kaldt "direkte genbrug".

Genanvendelse foregår ved, at produkterne først nedbrydes eller findeles, hvorefter der indvindes stoffer eller materialer fra de nedbrudte produkter. De indvundne materialer kan derefter enten bruges ved fremstilling af samme type produkter som de oprindelige, eller til helt andre produkter.

Ved at benytte genbrugte materialer skal der bruges færre ressourcer på at producere og indkøbe det nye produkt, man ellers almindeligvis ville have specificeret og indbygget. I TRÆ ses denne tilgang bl.a. ved at udnytte aflagte vindmøllevinger som solafskærmning (som dog gennemgår en vis oparbejdning), ved at bruge kasseret træ som gulvbrædder eller fejlproducerede postkasser til facademateriale.

Det har fra starten været intentionen ikke kun at genbruge materiale, der ellers ville have været kasseret, for genbrugets skyld, men så vidt som muligt også for at skabe løsninger, der er bedre end hvis man havde valgt at bruge nye materialer.

Genbrugte metalplader

Der er lagt store kræfter i at udforme TRÆs facade, da den er et vigtigt blikfang for hele sydhavns kvarteret og kan ses fra mange steder i byen. Det har samtidig været et ønske at skabe en facade, der leger med det forfinede og smukt detaljerede, samtidig med at materialerne måske har skønhedsfejl og tydeligt fremstår som brugte, når man kommer tæt på. Facaden er derfor beklædt med genbrugte aluminiumsplader, en tilgængelig ressource med industriel æstetik, der patinerer smukt. Som facademateriale er det let og ubrændbart, hvilket er fornuftigt i sammenhæng med trækonstruktioner og i øvrigt lever op til bygningernes brandstrategi.

Stål og andre metaller udgør en betydelig del af de tilgængelige materialefraktioner fra nedrivning af bygninger. Materialerne har allerede veletablerede værdikæder for genanvendelse (altså omsmelting), men indgår derved i en særdeles energikrævende produktionsproces. Det giver derfor mere klimagevinst at genbruge materialet direkte, som det er gjort på facaden af TRÆ. Det har været intentionen at

vide, at hvis det kan lade sig gøre på et højhus af træ, kan det sandsynligvis lade sig gøre i langt de fleste tilfælde at beklæde en bygning med genbrugte metalplader.

Da valget faldt på at bruge metalplader på facaden, var det oprindelige ønske at bruge forskellige metalplader (både stål og aluminium) med forskellige profiler (sinus, trapez, pandeplade osv.). Det viste sig dog, at der var udfordringer med at høste de forskellige typer plader, samt med restlevetiden i de fundne materialekilder, herunder godstykkelse.

Løsningen var at arbejde med 2-3 forskellige typer aluminiumsplader fra en leverandør, der måtte kassere pladerne, da de var blevet vandskadede, samt to forskellige renoveringsprojekter. Pladerne blev bearbejdet på forskellig vis (så nogle fx blev tromlet). Valget faldt på aluminiumsplader, da det var et materiale, der fandtes i store mængder, samt at aluminium egner sig godt til havnære arealer (saltholdig luft), havde en god restlevetid og dets æstetiske udtryk.



Foto: Anders Nymann Wejse

Fotos: Lendager

Genbrugte vindmøllevinger

Et af projektets allerførste konceptuelle idéer var at bruge vindmøllevinger som en ressource i byggeriet, ganske enkelt fordi man har så mange af dem i Danmark, og at de første generationer af vindmøller i landet for tiden og de kommende år står til nedrivning. Når vindmøller nedtages, deponeres størstedelen af dem direkte i jorden eller sendes til Tyskland til afbrænding, og på trods af, at der hvert år tages et stort antal vindmøller ned i Danmark, er der ikke nogen fast metode til at sikre deres genanvendelse eller genbrug af materialet. Der arbejdes på kemisk genanvendelse, hvilket har interessante perspektiver, men det er også væsentligt at se på vingerne fra et perspektiv af direkte genbrug.

I TRÆ bliver dele af vindmøllevinger konkret brugt som solafskærmninger ved vinduerne visse steder på bygningerne. Den overordnede udfordringen var (og til stadighed er), at vindmøllevinger ikke før er anvendt som byggemateriale. For at komme fra en nedtagen

vindmøllevinge og frem til et endeligt produkt til indbygning, skal der derfor brandtestes, overfladebehandles og udvikles beslag til montage. Det er et omkostningstungt udviklingsprojekt, der indbefatter køb af brandrådgivning, byggeri af mock-ups og testopstillinger samt udvikling og test af beslag.

For bare at kunne komme i gang, har det også været nødvendigt at indgå i nye samarbejder med aktører, der aldrig før har arbejdet med byggebranchen, at kortlægge og aktivere en helt ny værdikæde end man almindeligvis arbejder med, f.eks. ejere af vindmøller, eksperter i forarbejdning af glasfiber osv. Desuden har man skullet dykke meget langt ned i forskellige lovgivningsmæssige barrierer for implementeringen af dem i projektet for at identificere, hvor der var en vej frem. F.eks. ved at kigge på bygningsreglementets funktionelle krav for brand, hvilket f.eks. kan betyde, at en bygningsdel gerne må brænde, bare branden ikke spreder sig, og at den hverken drypper



Solafskærmning på facaden. Foto: Anders Nymann Wejse



Afskårne vindmøllevinger og mockups. Fotos: Lendager

eller drysser med brændende materiale.

Det oprindelige ønske var at bruge vindmøllevinger som den primære beklædning til alle bygningens runde facader. Her opstod der dog udfordringer med brandsmitte imellem etagerne samt, at det skabte en brandbar regnskærm (se 'Brand'). Som løsning herpå blev vindmøllerne, der bestod brandtesten brugt som solafskærmning. At finde den rette brandmaling til denne specifikke situation var i sig selv en kompleks opgave, der krævede grundig overvejelse af faktorer som farlig kemi, pris samt de fremtidige behov for drift og vedligeholdelse, herunder afrensning og genbehandling. Vingerne blev godkendt uden brandmaling af hensyn til økonomi, drift og miljø,

En anden udfordring med genbrug af vindmøllevinger har været, at vingestykkernes statiske egenskaber ikke er kendt. Det har således

ikke været muligt at redegøre for vingestykkernes statik. Det har ikke været muligt at få producentens data for materialet, hvorfor det også har vist sig nødvendigt at udføre statiske forsøg for at fastlægge vingestykkernes bæreevne.

Man har kunnet fastslå bl.a. gennem tests, at materialets restlevetid i sin konfiguration på facaden sandsynligvis langt overstiger 100 år. Dette skyldes bl.a. at man tidligere har produceret vindmøllevinger med en væsentligt længere restlevetid, end der egentlig er blevet behov for, idet langt de fleste møller udskiftes efter cirka 20-25 år, når det er mere rentabelt at placere en ny mølle. Nye vindmøllevinger har pga. teknologiske fremskridt ikke en så lang overskudsrestlevetid som vinge – men har stadig mange år i sig, hvis den benyttes til andre komponenter.

Genbrugstræ til gulve

Det oprindelige ønske var at bruge genbrugstræ af høj kvalitet til byggeriets gulve, men det viste det sig, at det var udfordrende at finde en stor nok mængde træ i høj kvalitet. Derfor blev løsningen en større blanding af forskelligt træ. For at sikre leverancen af træ, krævede det et samarbejde med en stor trægulvleverandør, der kunne levere frasortering og afskær fra deres produktion. De mindre stumper, der udsprang af produktionen, blev brugt som en design feature, hvor man kunne skabe mønstre med forskellige træsorter. Derudover accepterede man at modtage træ fra en lavere sorteringsklasse end almindeligvis. I en enkelt etage i Living Lab har man benyttet sig af gulve, der er direkte genbrugt fra en anden bygning.



Foto: Anders Nymann Wejse

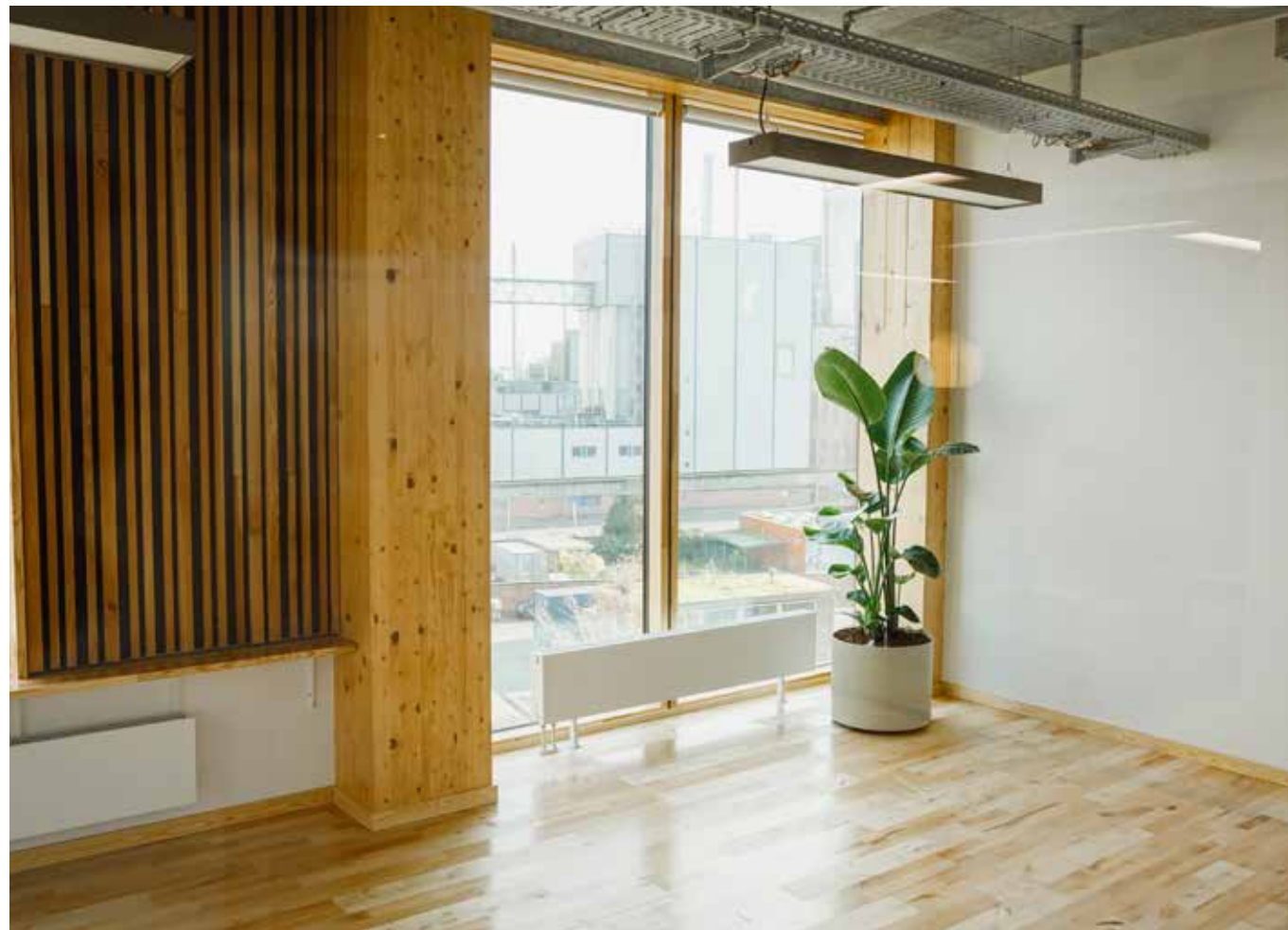


Foto: Anders Nymann Wejse



Foto: Anders Nymann Wejse

Genbrugstræ til vægoverflader

Da der ikke er massive trævægge i projektet (se 'Vægge'), blev det besluttet, at der skulle være visuelle træoverflader i projektet. Her kunne bruges frasorteret træ fra møbelindustrien, men det skulle dog brandimprægneres og vise, at det lever op til brandkravene (se kapitlet 'Brand'). Det blev materialeleverandøren A:GAINs opgave at høste genbrugstræet og få det brandimprægneret og testet. Det blev oprindeligt afprøvet at bruge fyr med akustisk regulerende materialer lavet af tekstilaffald fra udtjent affaldstøj, hvilket dog ikke

kunne lade sig gøre pga. brandkrav. Det var ligeledes heller ikke muligt at bruge PET pga. brandkrav. Fyrretræet blev ændret til douglasgran, da der opstod for meget røg under brandtesten. UV-lakken gav hvide skjoler, hvorfor den ikke blev valgt. Den endelige løsning var derfor douglasgran med brandimprægnering.

Genbrugstræ til konstruktioner (synlige søjler)

Dette blev ikke realiseret. Som afledt konsekvens af limtræsøjlernes branddimensionering blev det undersøgt, om 'offerlaget' kunne bestå af genbrugstræ. Udfordringen var, at 'offerlaget' ville falde af under brand og

dermed ikke længere beskytte søjlen. Derfor blev løsningen ikke realiseret. Der er desuden gældende normkrav til konstruktionstræ (godkendelsesstempeler), der er en udfordring ift. at bruge genbrugstræ til dette.

Genbrugte vinduer til indvendige glasvægge

Omkring udvalgte møderum skabes glasvægge af frasorterede ruder og kasseret vinduestræ. Dermed bruges to produkter, der er sendt til genanvendelse, deponi eller forbrænding og skaber glasvægge med et lavt CO2-forbrug (op til 95% jf. SBI-rapport SBI 2019:08). Produktet var under udførslen stadig under udvikling, så de er kun delvist implementeret i projektet. Ift. krav til lydisolering er der en reduceret akustisk performance og en højere pris, der skulle medregnes ift. implementeringen i projektet.

Genbrugte vinduer i stueetagen

I løbet af projekteringen af byggeriet blev det på flere måder undersøgt, om det var muligt at bruge genbrugsvinduer i et dobbeltkoblet system, som Lendager tidligere havde udarbejdet til brug i boliger. Oprindeligt var det tanken, at hele bygningen skulle have en facade af denne type, men der opstod flere vanskeligheder undervejs, der resulterede i, at løsningen kun blev implementeret i stueplan i facaderne mod nord.

Bl.a. er der stadig industrielle anlæg i Sydhavnen, der udgør en eksplosionsfare, hvorfor der var særligt skærpede krav til vinduer på visse sider af bygningen, der i så fald skulle lamineres eller have en særlig folie. Det viste sig at ikke at være en gangbar løsning bl.a. pga. den forøgede pris for hvert vinduer.

Et andet punkt, der var væsentligt ift. denne særlige dobbeltfacade var rengøring af hulrummet mellem glassene, der naturligvis skulle kunne lade sig gøre indefra, i hvert eneste vinduselement. Dette stillede helt særlige krav til

antallet, størrelsen og placeringen af vinduselementernes bestanddele af mindre brugte ruder og var et udfordrende rumligt puslespil at løse, der blev undersøgt vha. rengøringsdiagrammer med længde på arme, rengøringsmedier mv.

Ift. genbrugte glas har der også været en sammenhæng med hele facadens beregning af bl.a. krav til lystransmissioner og solenergitransmission, der skulle matche de specifikationer, der blev udarbejdet af ingeniørerne. Dette viste sig igen at være udfordrende at forene, idet bygningens geometri og øvrige valg ift. design og teknik indsnævrede muligheden for at bruge andre glastyper.

Det er dog lykket i stueetagen, hvor der er benyttet frasorterede ruder grundet kosmetiske fejl, hvilket giver nogle levende facader i øjenhøjde for områdets forbipasserende, og de smukke træindfattede vinduer giver noget varme og stoflighed, som er udfordrende at opnå med aluminiumsprofiler.



Tystø Glass Wall Partitioning fra A:GAIN. Foto: A:GAIN



Viddø Glass Window System fra A:GAIN. Foto: A:GAIN

PET-akustikbatts

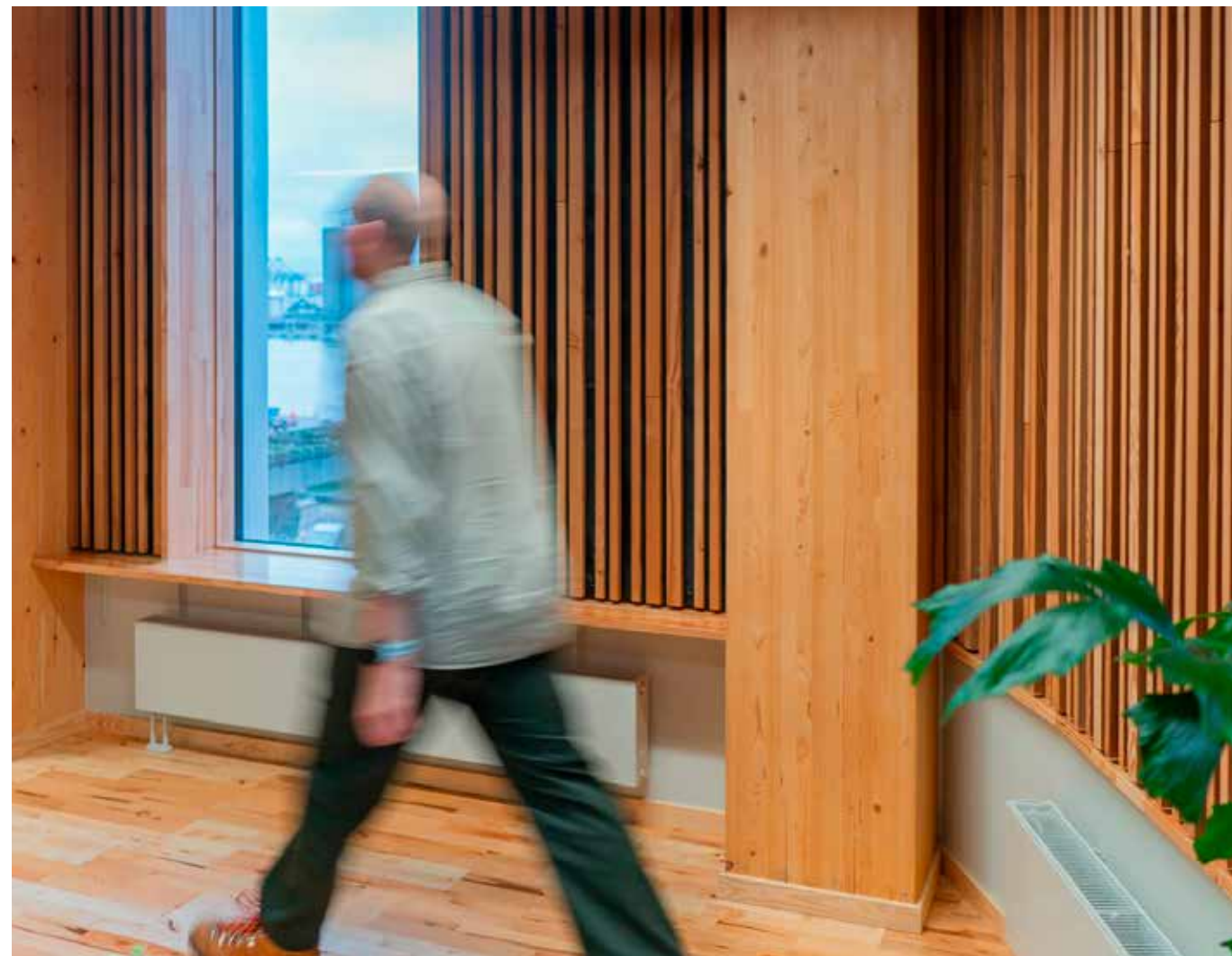
I lofterne er sat akustikbatts fremstillet af 75% genanvendt PET fra husholdningsplastflasker. PET-filtren fremstilles af brugte plastflasker indsamlet i Europa og produktionen er helt uden spild, da alle afskæringer genanvendes i produktionen. I processen smeltes flasker til pellets og nye fibre trækkes fra disse. Fibrene spindes op og blandes sammen med et PET-bindemiddel. Varme og presning skaber derefter det endelige akustikbatt, der ikke kræver yderligere behandling og er klar til installation.



Dybø akustikbatt og Flarø FR akustiske vægpaneler. Foto: A:GAIN



Fotos: Anders Nymann Wejse

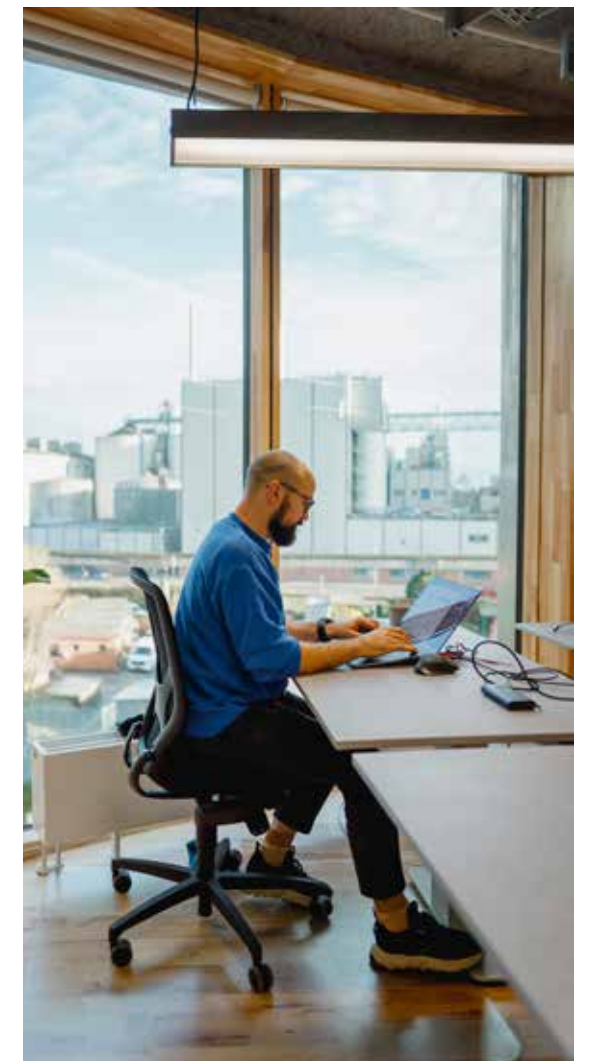


Dybø akustikbatt og Flarø FR akustiske vægpaneler. Foto: A:GAIN

Genbrugte belysningsarmaturer

Belysningen i højhuset består af over 1000 gamle Netto-armaturer produceret af Fischer Lighting. Siden 2019 har Netto valgt at lade Fischer Lighting overtage flere tusinde udtjente lamper, der er opgraderet med nyt design og den nyeste LED-teknologi, så de får et nyt liv. De udgør den primære belysning i bygningens mange kontorer.

De er produceret på virksomhedens sociale værksted i Odense, så lamperne både indebærer miljømæssig og social bæredygtighed. For hver 100 af de omdannede Netto-lamper, som opsættes i højhuset, spares cirka 3,3 tons CO2 og 66.000 liter vand i forhold til, hvis de skulle være produceret på ny.



Fotos: Anders Nymann Wejse

Sundhed



Sociale bæredygtighedstiltag

TRÆ er i høj grad designet til at være en bygning for mennesker, og ambitionen har været at skabe rammerne for nogle af Danmarks sundeste arbejdspladser. Her er indtænkt faktorer som luftkvalitet, akustik, visuelt indeklima, temperatur, mental sundhed, fællesskab, motion og kost.

Der er planlagt, projekteret og implementeret 48 særlige tiltag ift. sundhedsfremme, og det har løbende været undersøgt og diskuteret, hvordan man kunne skabe et byggeri, der kan skabe rammerne for bedre sundhed hos brugerne. Man bruger jo gerne mere end 90% af sin tid indendørs, og meget af denne tid på arbejdspladsen, så det er essentielt at

vores kontorer ikke gør os syge. Gerne det omvendte.

Sundhedstiltagene spænder over det meget enkle og ligetil såsom at sørge for at have hjertestartere og førstehjælpskasser til det mere abstrakte som at sørge for, at bygningens arkitektur i sig selv fremmer brugen af trappen. F.eks. ved at den ene bygnings vedkommende ligger ude i facaden, så den ikke er et mørkt rum, men faktisk har vinduer.

Desuden er der lagt vægt på sundhed i materialer og overfladebehandlinger og der kræves indeklimatekniske produkter. Genbrugsmaterialer og genanvendte materialer, der bruges i



Foto: Anders Nymann Wejse



Foto: Anders Nymann Wejse

bygningen, har også den fordel, at de allerede har afgasset i deres første liv og derfor ofte er væsentligt sundere end nyt. Såfremt det altså ikke har været nødvendigt at genbehandle.

Der er også arbejdet med f.eks. lyskvalitet ift. kontrastforhold og overfladerreflektans, differenteret lysstyrke i armaturer, vinduesglas og lyskilder med høj Ra-værdi. Tekniske anlæg har også haft høje krav ift. filteralarmering, højeffektive filtre mv.

Slutteligt har der også været fokus på at skabe et trygt, legende og inkluderende uderum omkring bygningerne, der lægger op til bevægelse, sociale interaktioner og sikker ophold pba. af bl.a. belysningsvalg.

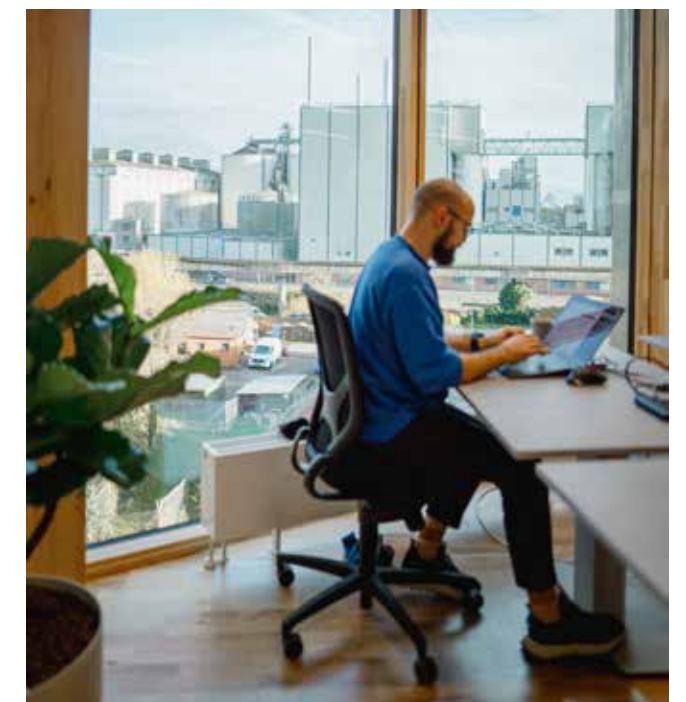


Foto: Anders Nymann Wejse

Living Lab

TRÆ har tre etager dedikeret til et 'Living Lab', der fungerer som et eksperimentarium for nye materialer. Hver etage har sit eget tema: biobaserede materialer, genbrugsmaterialer og upcycled materialer.

Formålet med Living Lab er at skabe ny viden og nedbryde barrierer for fremtidens bæredygtige byggeri. Gennem hele processen, fra design til drift, er der fokus på at teste alternative materialer, evaluere deres anvendelighed og dokumentere deres performance i driftsfasen.

Materialevalg og indeklimamålinger

I Living Lab er der foretaget miljøscreeninger af materialerne forud for deres implementering i bygningen. Efter ibrugtagning er der lavet afgasningsmålinger på rumniveau for at vurdere afgasning fra materialerne. Derudover måles akustiske egenskaber samt monitoreres indeklimaparametre som relativ luftfugtighed og temperatur over tid.

Innovation i materialeanvendelse

TRÆ er generelt projekteret og opført med fokus på materialer som ikke konventionelt anvendes i nybyggeri. Living Lab giver dog mulighed for at gå et skridt videre med arbejdet i at identificere barrierer og potentialer for specifikke biobaserede, genbrugte og genanvendte materialer i større skala.

Derudover fungerer Living Lab som en platform for vidensdeling. Erfaringerne bidrager til en bedre forståelse af, hvordan disse materialer adskiller sig fra konventionelle materialer, hvilke opmærksomhedspunkter der er i udvælgelse og anvendelse, samt hvilke praktiske hensyn der bør tages i byggeprocessen.

Brugernes oplevelse

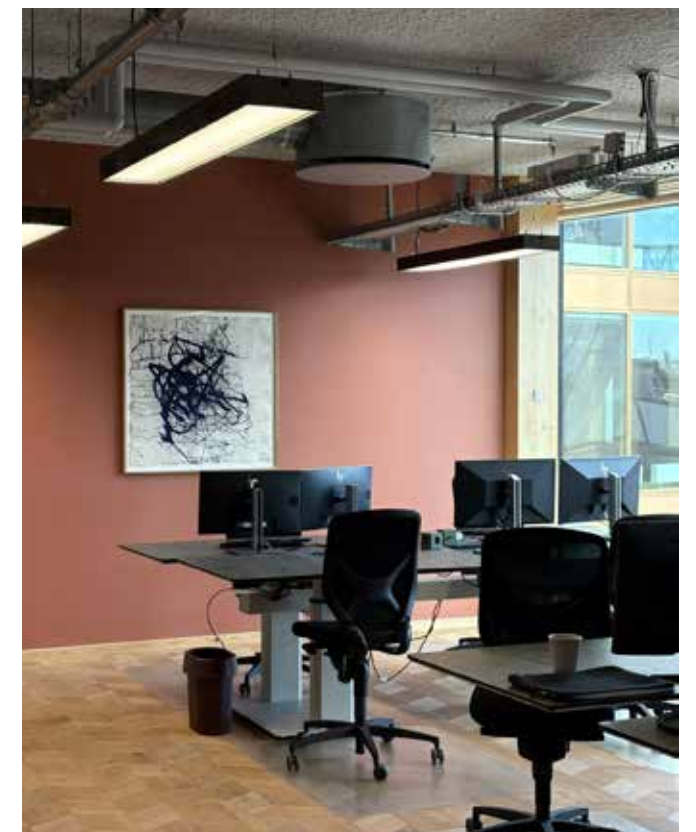
Der udføres antropologiske undersøgelser af medarbejdernes oplevelse af at opholde sig og arbejde i bygningen, for at undersøge om – og hvordan – de forskellige temaetager påvirker de, som opholder sig i dem.

Resultaterne fra disse studier, kombineret med kvantitative målinger af indeklima, giver vigtig indsigt i sammenhængen mellem bygningens udformning og materialevalg og brugernes oplevelse af arbejdsmiljøet.

Vidensdeling og demonstration

Living Lab er åbent for besøgende og fungerer som showroom for innovative materialevalg. Dette gør det muligt for branchen at erfare, hvordan nye materialer kan integreres i kontormiljøer, samt hvilke udfordringer og muligheder der er forbundet med deres anvendelse. Erfaringerne fra Living Lab danner grundlag for en bredere vidensdeling i byggeriet og bidrager til at bane vejen for en mere bæredygtig materialeanvendelse i fremtidens bygninger.

Der følges op på Living Lab i en selvstændig afrapportering, når undersøgelserne er udført.



Fotos: Lendager

Bæredygtighed uden certificering



Bæredygtighed uden certificering

Det er på et tidligt tidspunkt i projektudviklingen besluttet, at man ikke ønskede at arbejde med en egentlig bæredygtighedscertificering af projektet, da der var enighed i projektgruppen om, at et certificeret projekt ikke nødvendigvis er særligt bæredygtigt. Man arbejdede derfor videre med udgangspunkt i en værdi- eller visionsbaseret tilgang til bæredygtighed, hvor forskellige overordnede emner blev foldet ud og specificeret over tid. Hvordan man skulle håndtere denne proces, når man nu ikke havde DGNB-systemet eller andre at læne os opad, var en udfordring, der blev løst ved at lave en bæredygtighedsspecifikation, der definerede følgende:

- Overordnede temaer fra bæredygtighedsvisionen
- Specifikke tiltag under hvert tema og en beskrivelse heraf
- Et “hvorfor” for hvert tiltag
- En beskrivelse af, hvordan det skulle måles/eftervises, om det var implementeret som beskrevet
- En ansvarsfordeling mellem projektets parter
- Hvilken fase en endelig beslutning om implementeringen skulle tages

- Om tiltaget var godkendt/indarbejdet – og hvis ikke, en forklaring på, hvorfor den var udgået

Denne opstilling refererede på mange måder, især hvad angår hvordan tiltagene skulle dokumenteres, til allerede kendte systemer såsom DGNB og Svanemærkning. Der var dog også en hel række tiltag, der ikke er en del af nogen certificeringssystemer nu, og som projektgruppen mente alligevel var vigtige for projektet, og som muligvis aldrig bliver det i, i takt med at DGNB-systemet er ved at blive slanket væsentligt ind ift. tidligere.

Regnearket med bæredygtighedsspecifikationen blev i sidste ende et ret omfangsrigt dokument, og det tog lang tid at gennemgå med projektets parter, når det blev gjort undervejs i projektforløbet. Med et projekt med så store bæredygtighedsambitioner er dette omfang måske primært et resultat af, at mængden af tiltag var så stort, og ikke så meget af at formatet var uegnet. Ved aflevering af hovedprojekt var der 99 tilbageværende særlige bæredygtighedstiltag.

Sideløbende med dette arbejde, er der blevet



Foto: Anders Nymann Wejse



Foto: Anders Nymann Wejse

udført en række variantsammenligninger på udvalgte bygningsdele, hvor CO₂-udledning er blevet samstillet med økonomi i samarbejde mellem projektets rådgivere og entreprenøren. I visse tilfælde har der været op mod 10 løsninger i spil for at finde den rette, f.eks. ift. etagedæk. Der ud over har der været foretaget en række LCA'er på hele projektet med sammenligning ift. benchmarkprojekter, for at verificere, at vi var og er på rette vej.

Den væsentligste forskel fra en egentlig certificering og denne form for hjemmebryg er, at der ikke er nogen ekstern part, der skal godkende, at det er gået ordentligt for sig gennem overholdelse af et “conformity check”, og at hele metodikken er stringent og meningsfuld.

Da projektets rådgivere allerede er vant til at

arbejde med bæredygtighedscertificeringer er selve metodikken ikke fremmed, og hvis der var et kriterium fra f.eks. DGNB eller Svanemærkning, der mindede om vores ambitioner, skelede man ofte til de valgte grænseværdier og lign. for ikke unødvendigt at opfinde noget nyt.

Processen blev, på baggrund af vores fælles erfaringer, udført efter bogen, men der er ikke på samme måde som almindeligvis et incitament eller krav til at opnå et bestemt antal point, og der bliver ingen plakette at hænge op på huset til sidst. Man kan derfor overveje, om denne selvcertificerende proces er meningsfuld, eller hvordan den skaber værdi kontra en sædvanlig proces. Og hvorfor man certificerer sine projekter som bygherre.



Byliv og bynatur

Byliv og bynatur

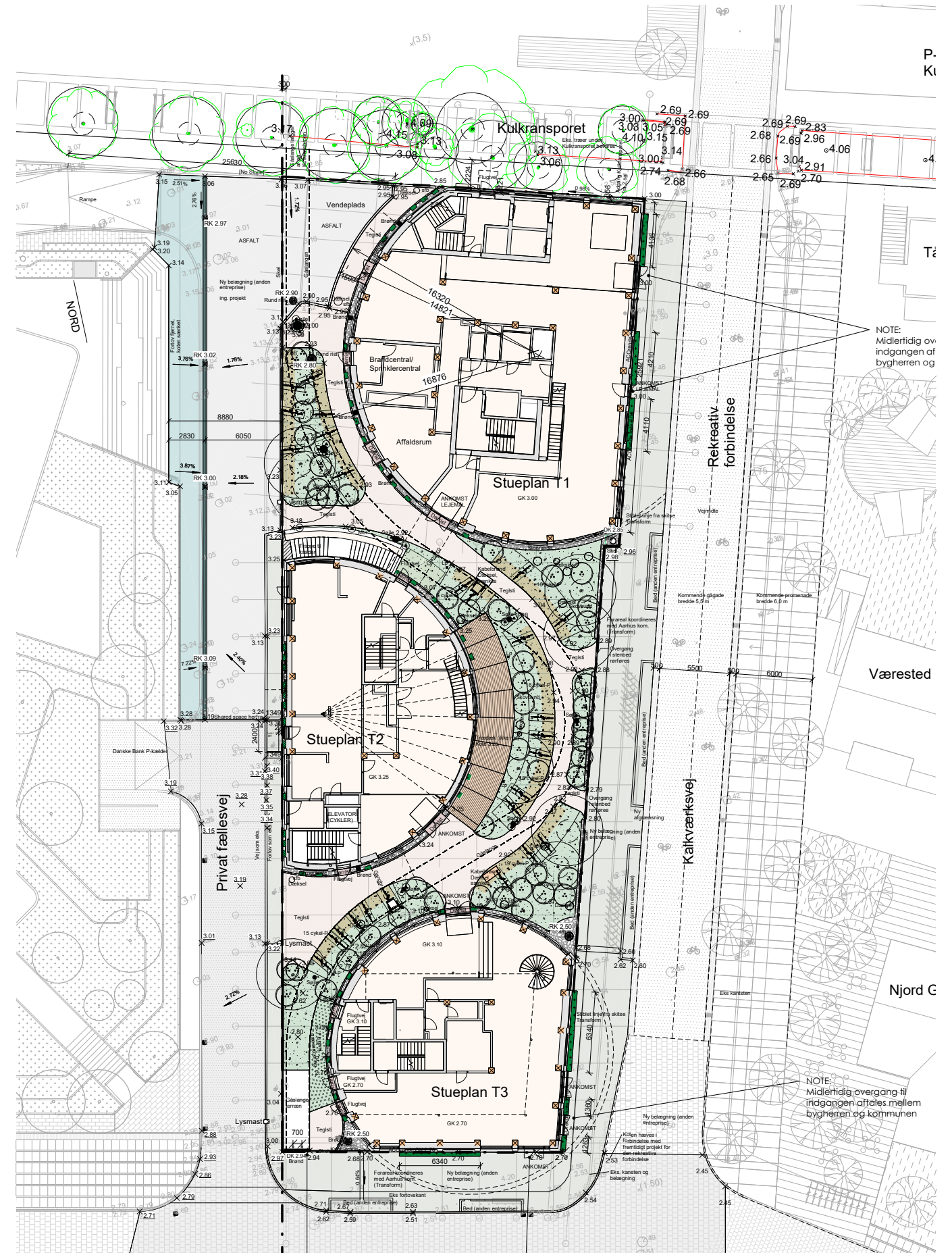
TRÆ er placeret i byudviklingsområdet Sydhavnen i Aarhus og kobler sig på Kulkransporet via en "gåslange", der starter fra jordplan og bugter sig op mellem bygningerne.

Byrummene omkring bygningen inviterer offentligheden indenfor på grunden, hvor de kan bevæge sig rundt mellem udadvendte lejemaal i bygningens stueetage. Bygningernes runde former gør, at man bliver "trukket ind" mellem bygningerne, og tilsammen vil træerne, stolperne, gåslangen og den åbne stueetage være med til at skabe menneskelige byrum omkring det høje byggeri. Der er lagt stor vægt på at alle overflader i byrumsskala er taktile, og intentionen er at skabe en oase midt i det urbane.

Den oprindelige ambition om at tilplante hele området med et meget stort antal træer viste sig dog at været udfordrende at udføre i praksis pga. de mange forskellige bindinger, der er i anlægget ift. adkomst, redningsarealer osv. Da der bygges ud til matriklens kant flere steder på grunden, er mængden af grønne tiltag også påvirket af denne rumlige afgrænsning. Til trods for dette forventes det, at området, især når beplantning har fået tid til at gro, vil fremstå som en særdeles grøn bund, som bygningerne vokser op af.



Foto: Anders Nymann Wejse



Situationsplan 1:400. Illustration: Lendager

Adoptivtræer

TRÆ arbejder med visionen "Høst Aarhus", der handler om at genbruge og upcycle allerede eksisterende ressourcer i og omkring Aarhus og give dem nye liv i Sydhavnsområdet. Dette gælder også beplantningen på grunden, hvorfor konceptet "adoptivtræer" er udviklet til projektet.

Adoptivtræer betyder, at sunde træer, som skal fældes, i stedet graves op, transporteres og genplanter i et andet område. I projektet adopteres træer, som skal fældes i og omkring Aarhus og genplanter dem på TRÆs grund i stedet for at købe nye træer fra planteskoler.

Der er fordele ved tilgangen, f.eks. i form af:

– Æstetik:

Det tager lang tid for et træ at vokse sig til fuld størrelse. Ved at adoptere et allerede fuldvoksnet træ får man umiddelbart gavn af træets fulde æstetiske og rumlige kvaliteter.

– Økonomi:

Det kan økonomisk svare sig at adoptere træer. Et stort træ kan koste mellem 20.000-46.000 kr., hvorimod man kan flytte 8-15 træer på en dag for ca. 20.000 kr.

– Biodiversitet:

Træer, især gamle træer, har stor betydning for biodiversiteten, da det fungerer som levested for mange arter. Det er derfor en fordel at lade træer leve så længe som muligt, så levesteder opretholdes.

– CO2:

Træer optager og lagrer CO2 fra atmosfæren. Når et træ nedbrydes, fx ved at det brændes eller rådner, frigives den samme mængde CO2. Det er derfor en fordel at lade træer leve så længe som muligt, så det fulde CO2-lagrings-potentiale udnyttes.

Der er en lille risiko ved at plante levende træer, fx at sikre det rigtige klima og vækstforhold, korrekt pasning mm. Dog er der ikke yderligere risici forbundet med træer, som flyttes, i forhold til at plante et træ fra en planteskole. Dog kræver adoptivtræer mere styring/koordinering ift. udførslen, og det er for eksempel vigtigt, at "gåslangen" ikke spærrer for tilgængeligheden, eller at træerne plantes, før byrumselementerne etableres, så de spærrer for tilkørslen.

På TRÆS grund er der blot plads til et begrænset antal træer, da det er et relativt lille landskabsprojekt, omkring 9-10 stk. Der er potentiale for at konceptet kan brede sig ud over TRÆs grund, f.eks. på Den Rekreative Forbindelse, Kulpladsen og arealet under Kulkransporet.



Foto: Mette Sonne

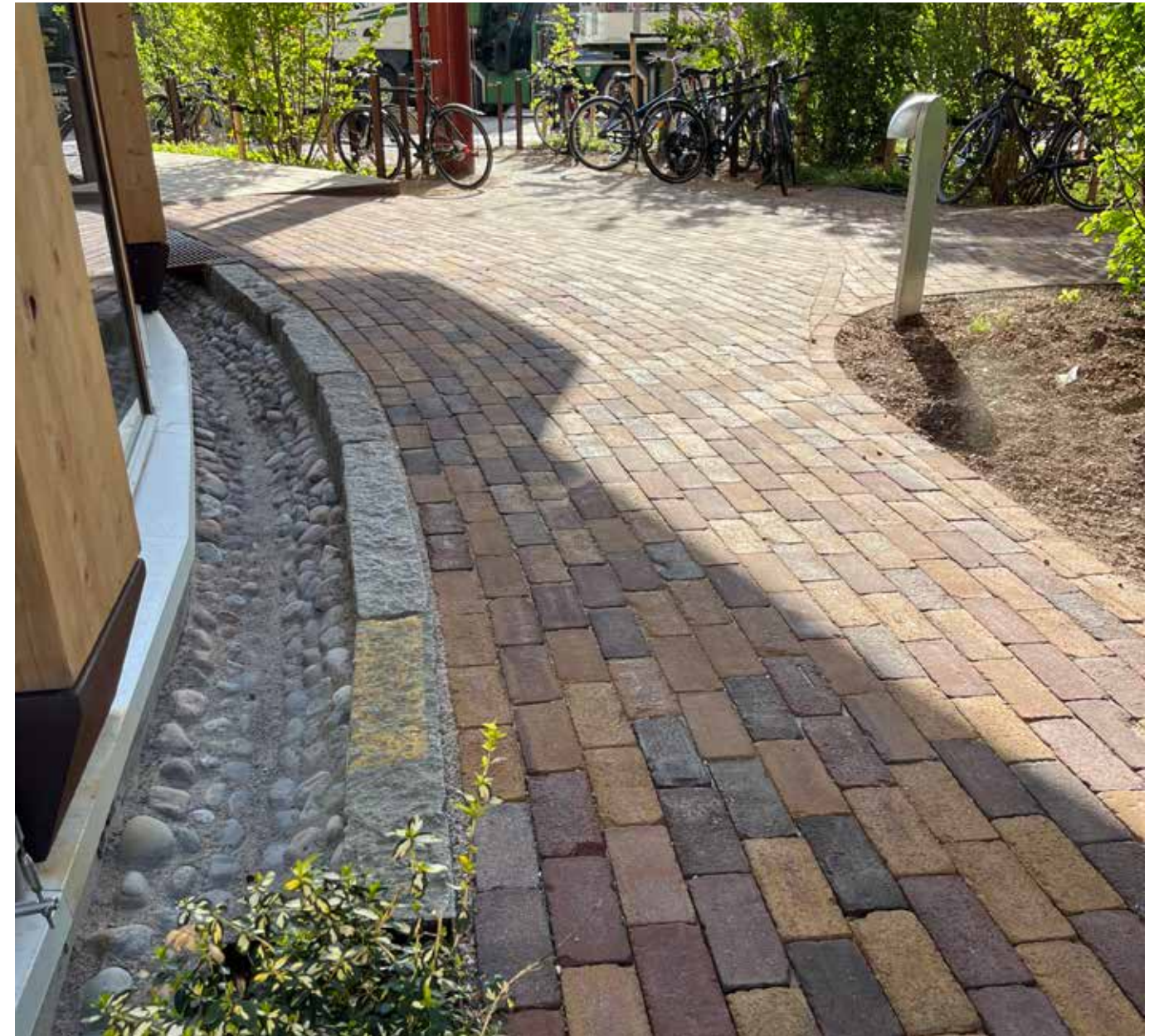


Foto: Mette Sonne

Genbrugte mursten

På baren på tagterassen bruges mursten, der er direkte genbrugt fra en tidligere transformerstation i Sydhavnen - og i resten af landskabsprojektet er anvendt genbrugte mursten, der er fundet i Holland. Murstenene er rensat af Sydhavnspejlerne, en socialøkonomisk virksomhed under GadeliV/Værestedet i Jægergårdsgade i Aarhus. I arbejdet roterede de stenene, der skulle genbruges og rensede dem med en rist eller murhammer. Ligesom adoptivtræerne, der høstes fra forskellige

steder i byen, hører murstenene således med til fortællingen om, at materialerne høstes lokalt fra Aarhus. Direkte genbrug af materialer er også ofte forbundet med en reduceret omkostning til selve materialerne, men en forøget udgift til oprensning eller forarbejdning, der dog også giver mulighed for at skabe lokale arbejdspladser ifm. klargøringen til materialets næste levetid.

Bæredygtig
byggeplads



Bæredygtig byggeplads

I projektets bæredygtighedsspecifikation er defineret 30 tiltag, der angår bæredygtig byggeplads. 1 tiltag blev fravalgt. I løber af projekteringsforløbet blev disse indsatser koordineret med projektets entreprenør, KOM, for at sikre, at de ikke kun var ambitiøse, men også var udførlige i virkeligheden. Alle punkterne kan findes i specifikationen, men der kan bl.a. nævnes forbrugsopgørelser fra byggepladsen, byggepladsbesøg for branchen for at skabe videndeling, fugtstrategi og inklusion af socio-økonomiske arbejdspladser.



Foto: Lendager



Foto: Lendager

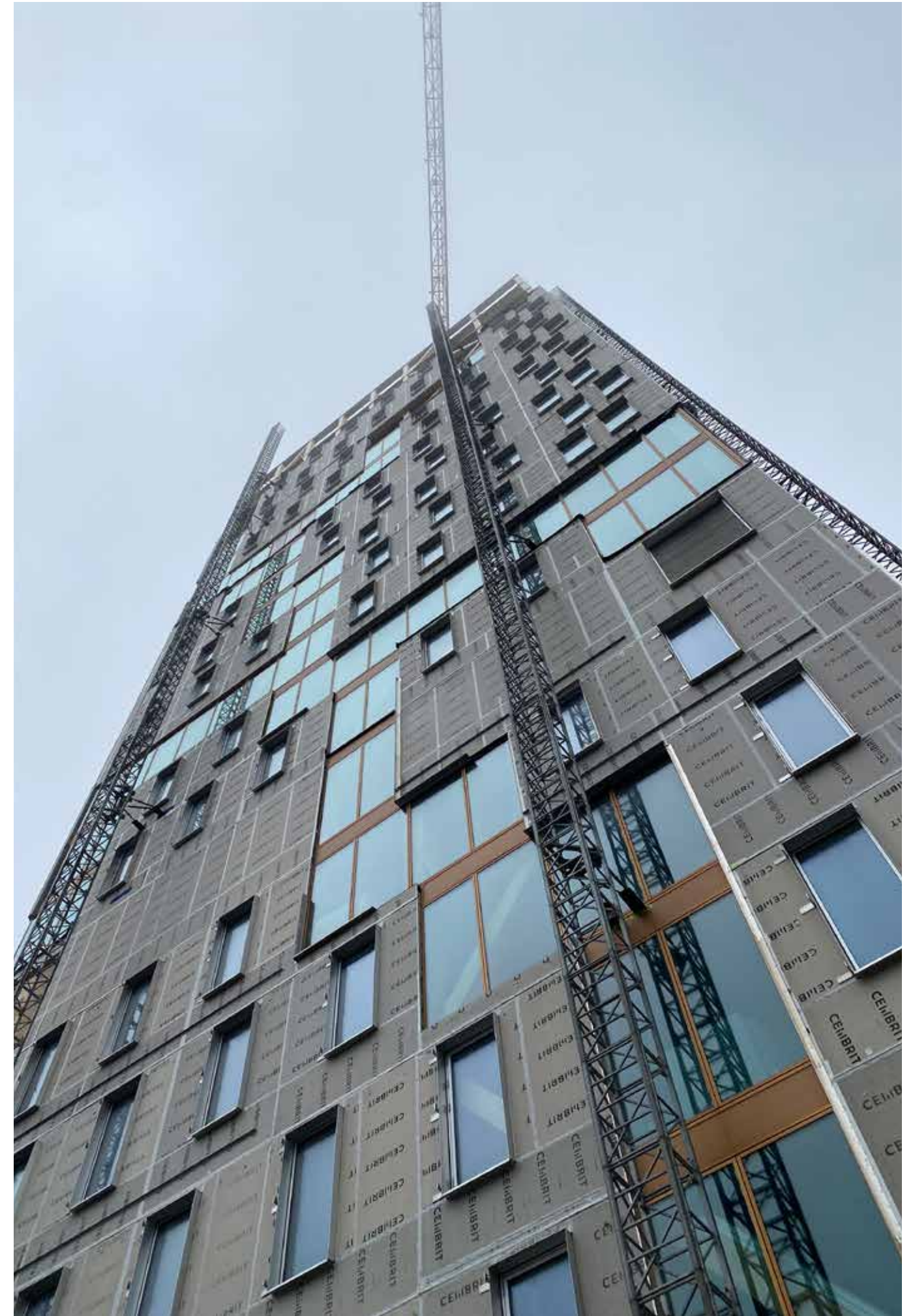


Foto: Lendager

LCA-beregninger



LCA-beregninger

Der er udarbejdet et selvstændigt notat med baggrund, beregninger og resultater af livscyklusanalyseberegningerne udført på projektet.

Resultatet af LCA'en viser et resultat på 8,5 kg CO₂-ækv./m²/år regnet med gældende emissionsfaktorer (2023 emissionsfaktorer). Heraf udgør materialerne 6,9 kg CO₂-ækv./m²/år og drift svarer til 1,6 CO₂-ækv./m²/år. Regnes med 2025 emissionsfaktorer, er det samlede resultat på 7,6 CO₂-ækv./m²/år, hvoraf driften udgør 0,6 CO₂-ækv./m²/år. Sammenlignet med en benchmarkbygning i beton opnåede TRÆ en reduktion på 26% CO₂, 5% af reduktionen kommer fra brugen af genbrugte materialer, og 21% kommer fra et bedre design, herunder primært at bygge i træ.

Herunder er gengivet de vigtigste læringspunkter, som LCA-analyserne har været med til at belyse:

Inddrag de relevante aktører tidligt i designfasen

Oprindelige opdrag fra bygherre samt lokation har haft væsentlig betydning for valg af

bygningsgeometri, hvilket udfordrer LCA på mange parametre. Konsekvensen af valg af geometri skal belyses tidligere i processen, Derfor er det afgørende at inddrage konstruktionsingeniører og producenter med relevant erfaring inden for bygningstypen allerede tidligt i designprocessen.

Desuden skal bygherre oplyses om konsekvenser ift. CO₂ udledning ved fastsættelse af designparametre, så beslutninger træffes på et oplyst grundlag.

Derudover er det essentielt at involvere brandrådgivere tidligt i designfasen, især når der arbejdes med alternative løsninger i forhold til konventionelt byggeri. Brandkrav kan ofte blive en afgørende parameter i designprocessen.

Minimér overfladearealet

Bygningsudformningen giver øget klimaskærmsareal pr. etageareal, hvilket medfører øget CO₂-udledning i driften. Når andelen af klimaskærmsareal er stort ift. bygningens etageareal, samt materialeforbruget pr.



kvadratmeter ydervæg er højt, øges den samlede CO₂-belastning for byggeriet.

Et forslag til optimering ift. nærværende projekt kunne være at sammenbygge de tre bygninger fremfor at holde dem adskilt. Derudover kunne en mere symmetrisk bygningsudformning reducere klimaskærmsarealet yderligere, særligt ved at undgå kombinationer af lige og buede vægge, som øger materialeforbruget og kompleksiteten i konstruktionen.

Bygningslayout bør følge optimalt konstruktionsprincip

Det statiske system udgør mere end halvdelen af den samlede indlejret CO₂. En optimering af det statiske system kunne have reduceret materialeforbruget, eksempelvis ved at samle de tunge betonkerner til én central kerne fremfor to separate. Selvom dette ville have krævet større dimensioner, ville det samlet set have reduceret betonforbruget markant. Dog ville denne løsning især påvirke indretningen af stueetagen, da brandkravene kræver, at brandtrapperne har direkte adgang til terræn.

En mere strategisk placering af betonkernerne kunne også have reduceret behovet for gitterkonstruktionen, hvilket ville mindske den samlede CO₂-udledning, da samlingerne i gitterstrukturen anvender store mængder stål.

De CO₂-tunge stålbjælker langs de buede facader kunne have været undværet, hvis der i stedet var bygget med lige facader. Langs de buede facader er der specialudformede

stålbjælker til at understøtte CLT-dækkene samt for at 'gribe' ydervæggen. I T1 er der dog også stålbjælker langs de lige facader, disse er indarbejdet som følge af øget robusthedskrav. Havde T1 været lavere end 15 etager, ville der ikke have været behov for stålbjælkerne langs de lige facader.

Hvis man ønskede at optimere udformningen efter en så lav CO₂-udledning som muligt, ville det have været optimalt at placere søjlerne i et mere systematisk grid for optimal udnyttelse af CLT-dækkene. CLT-dæk bærer – i modsætning til eksempelvis huldæk – i to retninger, hvilket betyder, at en optimal søjleplacering kunne have elimineret behovet for supplerende stålbjælker til bæring af dækkene.

En optimering af bygningsgrundform og søjlegrid ville således have mindsket behovet for mellemliggende stålbjælker i alle bygningerne. En mere kompakt og symmetrisk bygningsudformning havde givet en mere ligelig fordeling af laster, hvilket yderligere kunne have bidraget til en reduktion af materialeforbruget og dermed CO₂-aftrykket.

Vinduer og glasfacader står for en stor procentdel af den samlede udledning

Når der bygges med biobaserede materialer, er det ikke længere beton, der udgør den største CO₂-udleder. I stedet får vinduer og glasfacader en markant større andel af bygningens samlede udledning.

I gennemsnit udleder 1 m² vinduesareal ca.



40% mere CO₂ end en 1 m² ydervæg – og denne difference er endnu større, når vinduernes udledning sammenholdes med en træ-kassette frem for en betonydervæg. Derfor bør man have fokus på mængden af glasfacade samt vinduesareal/facadearealratioen så unødigt stort glasarealet undgås. Dette gavner ikke kun den indlejrede klimabelastningen, men også udledningen i driften, da mindre vinduesareal reducerer varmetabet. I designfasen bør der sikres en optimal balance mellem glasareal og dagslysforhold, så både energieffektivitet og indeklima prioriteres.

Måltrettet genbrug for at nedbringe CO₂ udledning

Analysen af genbrugsmaterialer viser, at måltrettet genbrug og genanvendelse har større effekt på LCA-resultaterne end blot at fokusere på volumen. Særligt substitution af jomfrueligt aluminium og glasvægge har en væsentlig positiv indvirkning på CO₂-aftrykket i beregningerne. Det skal understreges, at det i langt de fleste tilfælde vil være en fordel at anvende genbrug, hvor man kan, for at spare på Jordens ressourcer, selvom det ikke nødvendigvis giver en stor CO₂ besparelse.

Fundamentet udnyttes bedre, når der bygges højt

I de lavere bygninger (T2 og T3) udgør

fundamentet en større andel af den samlede CO₂-udledning for bygningerne sammenlignet med den høje bygning (T1). Selvom T1 kræver flere og længere pæle samt en tykkere bundplade, fordeles udledningen over et større samlet bygningsareal, hvilket reducerer den relative CO₂ udledning per m². Fundamentets størrelse øges ikke proportionalt med bygningens højde, hvilket gør fundamentet bedre udnyttet i højere bygninger.

Små kældre er ikke en fordel

Beregningerne viser, at kælderen øger udledningen betydeligt, på trods af at den giver flere kvadratmetre at dele den samlede CO₂-udledning ud på. Samtlige elementer i kælderen er af beton, som udleder markant mere CO₂ end biobaserede materialer. Det er kælderen alene, der gør at T2 performer dårligst af de tre bygninger. Små kældre har store mængder pr. kvadratmeter, hvorimod man i andre tilfælde ser at større kældre giver bedre performance.

Brug af specifikke EPD'er, giver lavere CO₂-udledning

Man når langt ift. at nedbringe CO₂-udledning ved at vælge biobaserede materialer, men selvom man bygger i træ, er det stadig vigtigt at vælge det bedste materiale inden for kategorien. Især for de materialegrupper, der

anvendes i store mængder, kan det have stor betydning hvilken specifik vare der vælges. Ser man isoleret på CLT leverandørerne, viser LCA-analyser en forskel på hele 0,7 kg/CO₂/m² for det samlede byggeri alt efter hvilken leverandør, og deraf specifik EPD, man vælger at anvende. Man arbejdede efter en bruttoliste for leverandører af træ, hvor der var kontakt med flere af leverandørerne på listen. Dialog med bydende leverandører gik hovedsageligt på pris, men også på kvalitetsklasser. Nogle leverandører meldte fra fx grundet manglende kapacitet. EPD'er kom først på banen efter kontraktindgåelse.

Reduceret transport og spild ved let byggeri ses ikke i LCA-beregninger jf. BR18

Byggeprocessen (A4-A5-faserne) forventes betydeligt mindre for et træbyggeri sammenlignet med et tilsvarende byggeri i beton, bl.a. i form af mindre tung transport, lettere løft og mindre spild. Dette er dog ikke behandlet i LCA-beregningen.

Da disse faser ikke indgår i beregningerne jf. BR18, belyses fordelene ved at vælge lokale produkter ligeledes ikke. Sammenligning mellem TRÆ og en tilsvarende benchmark bygning i beton ('TRÆ Benchmark' i LCA notatet) ses

en betydelig vægtforskel på hhv. let og tungt byggeri, hvor TRÆ er 34% lettere end TRÆ Benchmark. Det formodes dermed at udledninger iht. transporten af byggevarer vil være mindre.

Robusthedskrav udløser øget CO₂

Af de tre byggerier, viser LCA beregningerne at ved at bygge højt, udnyttes det betontunge fundament på bedst mulig vis, da mængden af fundament ikke stiger proportionelt med bygningshøjden. Ved maksimalt at bygge 15 etager, undgår man derimod øgede krav til det statiske system i form af skærpede robusthedskrav, som bl.a. introduceres ved kontorbyggerier, med mere end 15 etager over terræn.

Det skærpede robusthedskravet der introduceres i T1 har bidraget til øgede dimensioner af bærende elementer og flere stålbjælker. En alternativ løsning kunne have været at opføre alle tre bygninger med en højde lige under robusthedskravets grænse, hvilket kunne have bidraget med mere effektiv udnyttelse af fundamentet og samtidig reduceret materialeforbruget forårsaget af de skærpede krav.

LCA-notat er vedlagt som bilag.



III

T R Æ