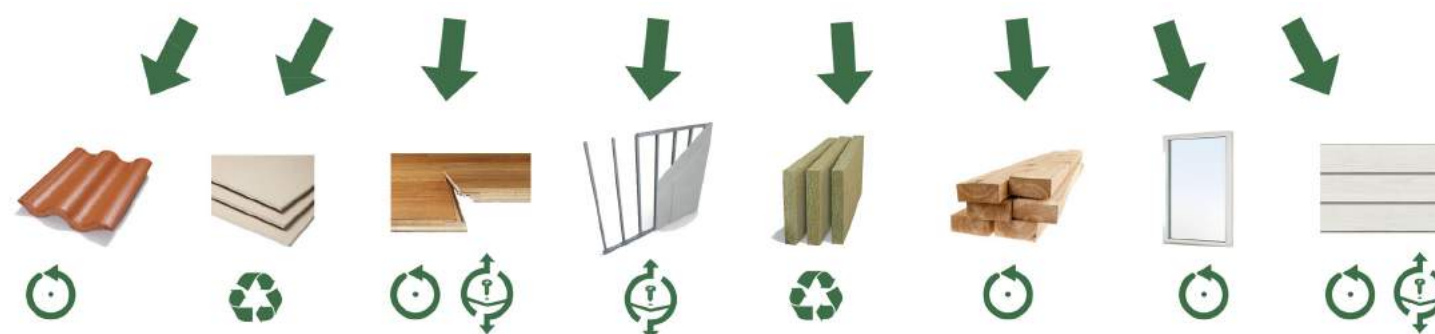




Projektgrupp

ETTELVA Arkitekter: Emma Östlund, Henrietta Borseman, Cecilia Hörngren.

Riksbyggen: Karolina Brick, Andreas Ander, Emilia Stridsberg.

Bengt Dahlgren Göteborg AB: Maria Perzon, Anna Högberg.

Lokalförvaltningen Göteborgs stad: Hanna Ljungstedt.

Referensgrupp

IVL/Basta: Carina Loh Lindholm.

Sundahus: Lisa Elfström & Jan Boström.

Rise Victoria: Marcus Linder.

Cradlenet/WWF: Elin Bergman.

Illustrationer, när inget annat anges: Ingird Grubb, Henrietta Borseman & Sara Nermansdotter, ETTTELVA.

Medel från: Boverkets stöd för innovativt och hållbart bostadsbyggande. Samt medfinansiering egen tid ETTTELVA Arkitekter, Riksbyggen, Lokalförvaltningen i Göteborg.

© ETTTELVA Arkitekter 2020, www.ettelva.se



SLUTRAPPORT/Cirkularitetsindex/2020

INNEHÅLL

1.Introduktion.....	1
Cirkulär ekonomi.....	2
Syfte med projektet.....	3
Processbeskrivning - Hur?.....	5
Testbädd.....	6
Cirkulära metoder och arkitekturgrepp.....	7
Faktorer för utbyte av material.....	9
 2. Justerad testbädd.....	 17
Fasta förutsättningar för testbädden.....	18
Cirkulär BAS.....	19
Mer cirkulära materialval.....	20
Resultat justerad testbädd.....	28
Justerat hus - "Färdigt cirkulärt".....	29
Justerat hus - "Cirkulärt med hantverk".....	30
Justerat hus - "Design för återbruk".....	31
Jämförelse cirkulära alternativ.....	32
 3. Maxad testbädd.....	 33
Cirkulär bas och arkitektur.....	34
Mer cirkulär rumsbildning & planer.....	37
Klimatpåverkan och redovisning CIX.....	48
 4. CIX.....	 49
Att mäta cirkularitet.....	50
CIX - ett verktyg för att mäta cirkularitet på byggnadsnivå.....	57

5. Reflektioner & förslag till fortsatt arbete.....	57
 6. Kunskapssammanställning.....	 61
FoU- projekt cirkularitet.....	62
Cirkulär arkitektur - Inspirationstips.....	65
 7. Referenser.....	 68



1. INTRODUKTION

Cirkularitet i byggbranschen

Cirkularitet är något som diskuteras mycket i branschen idag. Det är önskvärt och efterfrågat. På EU-nivå finns flera initiativ för en övergång till en cirkulär ekonomi och i Sverige tillsattes 2018 en delegation för cirkulär ekonomi. Delegationen ska stärka omställningen till en resurseffektiv, cirkulär och biobaserad ekonomi. Enligt Circularity gap report 2019 har vi dock lång väg kvar och deras översyn visar att ekonomin idag till cirka 9 % är baserad på cirkulära modeller. Byggbranschen är till största del linjär idag och vi har stor potential att ändra vårt nyttjande av resurser till ett mer hållbart och cirkulärt brukande.

Byggsektorn gav enligt Boverkets senaste sammanställning (2016) upphov till omkring 10 miljoner ton avfall, vilket motsvarar ungefär en tredjedel av Sveriges avfallsmängder. Dagens linjära materialhantering ger stort avtryck på vårt klimat. I Sverige står byggsektorn för ungefär 20 % av den inhemska klimatpåverkan.

Cirka 60 % av all klimatpåverkan på global nivå bedöms härstamma från utvinning av material och tillverkning av produkter. Denna linjära modell har även ekonomiska konsekvenser. Återvinningsindustrierna visar i en rapport att stål, aluminium, plast, papper och cement till ett värde av 55 miljarder kronor årligen faller ur den svenska ekonomin, bland annat till följd av att byggnader rivs utan att materialet återcirkuleras. (Re:Source & Återvinningsindustrierna)

I en rapport från IVL om potential och lösningar för återbruk på svenska kontor visas potential och hinder för ökat återbruk såsom okunskap, vanebeteenden och linjära affärsmodeller. Möjliga lösningar som lyfts fram är utöver samverkan, certifieringssystem, produktportal, fler goda exempel, mm.

CIX-projektet

Med detta som bakgrund frågade vi oss vad vi kan göra redan idag för att få till ett mer cirkulärt bostadshus. Ett bostadshus med minimerat resursuttag, flexibla, generella och elastiska lösningar samt nyttjande av cirkulära material och metoder. Det har vi undersökt teoretiskt. Vi har även tagit fram ett verktyg för att mäta en byggnads cirkularitet på ett enkelt sätt.

Innovativt och hållbart bostadsbyggande

För att undersöka detta har vi i projektet teoretiskt undersökt hur ett hus från Riksbyggen kan göras mer cirkulärt samt tagit fram ett mått på en byggnads cirkularitet. Vi kallar måttet CIX.

Projektet finansieras av Boverkets stöd till innovativt och hållbart bostadsbyggande samt av ingående aktörers medfinansiering i form av egen nedlagd tid i projektet.

Projektgrupp

Projektet leds av ETELVA Arkitekter i nära samarbete med Riksbyggen, Bengt Dahlgren och Lokalförvaltningen i Göteborgs stad.

Referensgrupp

I arbetet har en referensgrupp med representanter från IVL, Rise, Cradlenet och Sundahus bidragit med värdefulla reflektioner. Referensgruppen består av personer med expertkompetens inom cirkularitet.



CIRKULÄR EKONOMI

Cirkulär ekonomi är en vision om en ekonomi som är värdebevarande och som möjliggör fortsatt mänskligt liv och välmående i många generationer inom vår planets gränser. Jordens resurser i form av råmaterial är begränsade och en omställning krävs för att hålla dem i samhällets kretslopp istället för att bli avfall. Liksom i naturen bibehålls och återskapas material samt värde och inget eller mycket lite går till spillo. (Circular Sweden, 2020)

I en cirkulär ekonomi är byggbranschen, liksom övriga branscher i samhället uppbyggd för värdebevarande. Där ersätter vi de linjära flödena av producera, använda, slänga med minimerat resursuttag samt långa livslängder och flera användningscykler.

I ett första steg utgår den cirkulära ekonomin från att minimera resursuttag och maximera livslängd och antal användningscykler för till exempel en byggnad, en bygghuset, en produkt eller ett ingående material.

Den cirkulära ekonomin brukar dessutom förklaras i ett biologisk och ett tekniskt kretslopp.

Naturen har i regel inget avfall då alla biologiska näringsämnen som blir från en produkt går in i nästa och till sist återgår till naturen i form av exempelvis naturliga näringsämnen. I det biologiska kretsloppet ingår de biobaserade material vi tar från naturen för mat, byggmaterial mm.

Det tekniska kretsloppet är i sin tur skapat av människan och drivs av tekniska näringsämnen ex. Hämtas från berggrunden, exempelvis fossila bränslen, grundämnen, mineraler och metaller.

De biologiska näringsämnena i naturen flödar som ett kretslopp, men de tekniska näringsämnena flödar främst linjärt från berggrunden till naturen. Istället för att återanvändas i en ny användningscykel hamnar de ämnen som vi hämtar från berggrunden i det naturliga kretsloppet. I en cirkulär ekonomi stannar de tekniska näringsämnena istället i ständig användning.

Det vi tar med oss från förklaringsmodellen av cirkulär ekonomi är:

- Minimera resursuttag.
- Maximera livslängd.
- Skapa förutsättningar för flera användningscykler.
- Skapa förutsättningar för kontinuerliga kretslopp i den biologiska såväl som den tekniska cykeln.
- Minimera blandning av de båda kretsloppen.





Syfte med projektet

Det övergripande syftet med CIX-projektet är att, genom implementering av kunskap från tidigare forskningsprojekt och utredningar, öka kunskapen om och användandet av cirkulära material och metoder i ett bostadsprojekt.

Med utvecklingsprojektet vill vi undersöka hur vi kan skapa förutsättningar för ett mer hållbart bostadsprojekt där bestående kvaliteter premieras liksom flexibilitet, design för återbruk och återvinning i nästa skede samt nyttjande av återvunna och återbrukade material.

Kunskapshöjande

Genom testbäddar och CIX-verktyget skapas en kunskapshöjning inom området hos respektive deltagande aktör i projektet. Genom spridning av projektets resultat, men även erfarenheter i form av framgångar och hinder bidrar projektet kunskapshöjande inom cirkulära material och metoder i ett bostadsprojekt.

Ökad användning av cirkulära material och metoder

Genom att ta fram en teoretiskt justerad variant av originalhuset visar projektet på relativt enkla medel för att teoretiskt öka cirkulariteten i en byggnad. Den maxade varianten av originalhuset bidrar vidare med inspiration och idéer för ökad cirkularitet i tidiga skeden. Beskrivning av koncept för testbäddarna i denna projektrapport bidrar med kunskap för att underlätta användandet av cirkulära material och metoder.

Cirkulära material och metoder för minskad klimat- och miljöpåverkan

Val av cirkulära lösningar ska även bidra till minskad miljö- och klimatpåverkan i enlighet med ansökan till Boverket. Vi har därför gjort översiktliga klimatberäkningar för de föreslagna mer cirkulära lösningar som tagits fram i projektet.

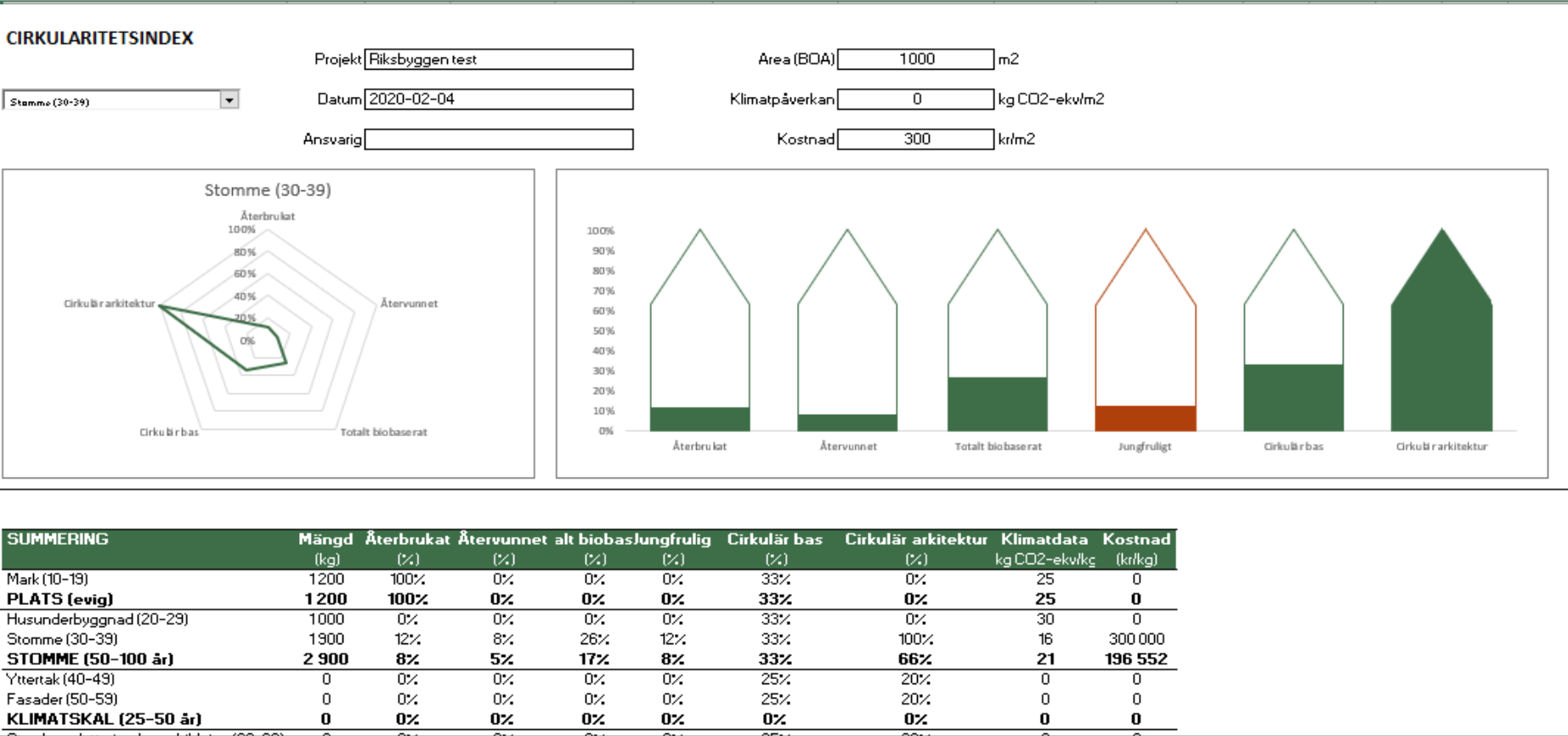
Enkelt/Förståeligt

I projektet testas teoretiskt hur ökad cirkularitet kan uppnås för ett bostadshus tillhandahållet av Riksbyggen. Varianter av huset, så kallade "testbäddar" tas fram för att teoretiskt testa cirkulära arkitektoniska metoder samt cirkulära material.

I arbetet tas även ett verktyg fram för att mäta en byggnads cirkularitet.

Såväl CIX-verktyget testbädd och projektbeskrivning ska vara enkla att förstå och ta till sig information från.





Delsyfte testbäddar

För att teoretiskt testa hur cirkulariteten kan ökas i ett bostadsprojekt används en testbädd/ett hus från Riksbyggen. Huset modifieras teoretiskt i två varianter en justerad testbädd och en maxad testbädd.

Framtagandet av det justerade huset har som syfte att lyfta fram de enklaste lösningarna för att öka användningen av återbrukade material, högre andel återvunnet material samt reversibel byggnadsdesign i ett vanligt bostadsprojekt.

Framtagandet av det maxade huset har som syfte att maxa cirkulariteten utan att begränsas av befintliga fasta förutsättningar för originalhuset.

Val av cirkulära föreslagna lösningar ska även bidra till minskad miljö- och/eller klimatpåverkan i enlighet med ansökan till Boverket.

Delsyfte CIX-verktyget

CIX-verktyget ska på ett enkelt och förståeligt sätt göra det möjligt att mäta cirkulariteten i ett bostadsprojekt, (i ansökan till Boverket fokuserade cirkulariteten på arkitektdelarna, men har under projektets gång kommit att utökas till fler bygghandlingar) för att uppmuntra val av cirkulära material och metoder. Verktöget ska inkludera återvunnet material, återanvändning av material samt flexibla lösningar, reversibel byggnadsdesign, bestående kvaliteter, samt ev andra rubriker.

Delsyfte Slutrapport

Erfarenheter från de två testbäddarna (det justerade och maxade huset) sammanställs i en lättillgänglig slutrapport (detta dokument) för att uppmuntra och underlätta för fler att använda cirkulära material och metoder redan idag. En beskrivning av hur CIX (mättet) fungerar och kan användas presenteras i slutrapporten i syfte att uppmuntra till att använda mer cirkulära material och metoder samt mäta en byggnads cirkularitet.



HUR?



Insamling av data

En omvärldsbevakning har gett oss viktiga grundaspekter för cirkularitet kopplat till byggnader och vi har i omvärldsbevakningen även identifierat befintliga cirkulära mått.

Workshops

Ett flertal workshops har hållits för att utreda och vidareutveckla cirkulära planlösningar och bostadsutformningar kopplat till boendes behov, boendekvalitet och de cirkulära greppen flexibilitet, elasticitet och generalitet.

Testbädd

För att få ut information om mängd per ingående material från originalhuset byggdes metadata upp, så kallade schedules i BIM, för de olika byggdelarna och materialistor togs ut. Dessa korrekturlästes mot anbudskalkylen för att få en så rättvisande bild av ingående materialmängder som möjligt.

Materialet sorterades enligt Byggsektorns miljöberäkningsverktygs (BM:s) byggdelsindelning i ett första steg. En erfarenhet är dock att en förfinad indelning i BM kan underlätta exempelvis om en viss innervägg vill bytas ut och effekten på cirkularitet och klimatpåverkan av detta ska uppskattas. En viktig erfarenhet är även att denna beräkning av klimatpåverkan och mängder i olika varianter tog längre tid att genomföra än beräknat.

Öka cirkulära material och metoder

Material har teoretiskt bytts ut med hänsyn till dess livslängd, klimatpåverkan, utbud av återbrukat material, material med hög andel återvunnet innehåll, biobaserade alternativ samt material som designats för återbruk i en ny användningscykel.

Rimligheten i nyttjande av de nya materialen har bedömts översiktligt med avseende på risk för innehåll av miljö- och hälsoskadliga ämnen samt med avseende på dess kostnader i relation till material i originalhuset.

CIX-verktyget

Utifrån omvärldsbevakning och flertalet workshops inom cirkulär arkitektur, behovsanalys av användare och prototypande av verktyget CIX har särskilt viktiga indikatorer för cirkularitet definierats.

Indikatorerna utgörs av ett antal cirkulära krav såsom loggbok, förvaltningsinstruktioner samt materialinventering på plats. Dessa indikatorer har samlats under rubriken **"Cirkulär bas"**. Även cirkulära designgrepp i byggnaden såsom generalitet, flexibilitet, elasticitet och design för återbruk är viktiga och ingår inom rubriken **"Cirkulär arkitektur"**. Ingående mängd cirkulära material uppdelat på **återbrukat material**, **återvunnet material** samt **biobaserat material** redovisas även i CIX-verktyget som redovisas i avsnitt 4 i denna rapport.

Osäkerheter

Klimatberäkningar är utförda i BM, i vissa fall med generiska data och i andra fall med produktspecifik klimatdata. Mängdning av material i såväl originalhuset som de teoretiskt justerade testbäddarna är uppskattad utifrån volymer i BIM-modellerna och vikt per material men innehåller sannolikt en del osäkerheter då de olika testbäddarna inte är projekterade och granskade i detalj, utan utgör just testberäkningar. Beräkningarna bedöms trots detta ge en indikation kring hur ökad cirkularitet även leder till lägre klimatpåverkan i många fall. Då koncepten för de justerade och maxade husen än så länge är teoretiska och ej detaljprojekterade har vi inte bedömt ljudklass, brandkrav etc. ännu. Viss justering av föreslagna lösningar kan därför ske när byggnadsidéerna utvecklas vidare.





Originalhuset, arkitekt: Efem Arkitektkontor

Testbädd

För att teoretiskt testa hur cirkulariteten kan ökas i ett bostadsprojekt används en testbädd/ett hus från Riksbyggen. Huset är ett populärt tvåvåningshus med fyra lägenheter. Huset erbjuder lägenheter mellan två och fyra rum och kök, mellan cirka 60 - 90 kvadratmeter i storlek. KORSEBERG STRAND, som projektet heter, har fungerat som en testbädd för att ta fram verktyget CIX.

Husen, som Riksbyggen bygger återkommande på flera platser i landet utvecklas ofta i grupper om cirka tio stycken. Och med stort fokus på placering i landskapet.

Lägenheterna är utformade med hänsyn till rymd, ljusaxlar och fönstersättning för att maximera ljusinsläpp och samspel med omgivningen.

Lägenheterna har fönster i tre väderstreck och erbjuder en öppen planlösning för ljus och rymd. Planlösningarna är genomgående öppna och smart planerade.

Husen byggs i betongstomme samt med platta på mark. Fasaden består av liggande träpanel och taket av takpannor i betong.

De boende kan själva vara med och spara kostnader och miljö genom individuell mätning av el, varm- och kallvatten.

Flera sociala värdeskapande aspekter erbjuds såsom gemensamhetshus med övernattningsmöjlighet och odlingslådor till respektive hus.

Husen erbjuder många välfungerande och goda kvaliteter och några cirkulära grundfunktioner: Rymliga rum med väl tilltagna ytor, vilket gör det enkelt att bo kvar över tid och få plats i flera konstellationer.

- Välfungerande planer för målgrupperna: familjen (4pers) resp. paret (2 pers).
- Samma kök- och badrumstyper för samtliga lägenhetstyper, resten av rummen blir tillägg.
- Viss flexibilitet med till- och frånvalsväggar i vardagsrum för att kunna dela av eller öppna upp i 4 rok.



1.1 Cirkulära metoder och arkitekturgrepp

På nästföljande sidor beskrivs två rapporter som enligt projektets omvärldsbevakning beskriver viktiga grundläggande begrepp och principer för att uppnå den cirkulära ekonomins grunder om minimerat resursuttag och lång livslängd.

Arkitektur, materialflöden och klimatpåverkan i bostäder

Det E2B2-finansierade projektet Arkitektur, materialflöden och energianvändning i bostäder (Femenías, Holmström, Jonsdotter & Thuvander, Rapport 2016:02) har undersökt hur genomtänkta val med långsiktiga och anpassningsbara lösningar kan bidra till att minska resursslöseri och klimatpåverkan under en byggnads livscykel. Rapporten lyfter ett antal slutsatser kring hur bostadsarkitekturen kan bidra till minskad materialåtgång och energieffektivitet.

Studien undersöker materialflöden i flerbostadshus som genereras av inre ombyggnad under boendetiden. Materialflöden från ombyggnaderna studeras även kopplat till bostadens arkitektoniska grundutformning. Miljöpåverkan som dessa materialflöden ger upphov till undersöktes också. Studien grundas i enkäter till fem bostadsrättsföreningar uppförda år 2001-2008 och frågor har ställts till cirka 500 hushåll.

Studien visar att bostadsrättsinnehavare bygger om sina lägenheter i större omfattning än väntat. Många bygger om för att åtgärda vad de upplever som bristande kvalitet på material och utrustning men också för att åtgärda planlösningen.

Dåliga förvaringslösningar, bättre ljudisolering, bättre möblerbarhet, bristande utformning av kök men även med mål om förbättrad funktion och önskad större öppenhet ligger bakom ombyggnaderna.

Många bygger också om för att skapa fler rum, ofta hushåll som har hemmaboende barn. Vidare framstår en del ombyggnationer som direkt drivna av rådande lagkrav. Klimatpåverkan från de ägardrivna inre renoveringarna över 50 år kan representera så mycket som 20 % av den klimatpåverkan som lägenheten hade när den var nybyggd. Bostadsägarnas konsumtion driver även den behov av yta och utrymme.

Delar med störst renovering är enligt studien: **Ytskikt:** Genom ommålning och nya materialval för ytskikt. På grund av slitage, funktion och önskemål om personifiering.

Utbyte och tillägg av utrustning och fast inredning: Utbyte av snickerier, dörrar, kök och badrumsinredning. För personifiering, slitage och funktion.

Ombyggnad/Ändring av planlösning: Tillägg eller nedtagning av innerväggar, igensättning eller upptag av passager på grund av funktion samt förändring av köksuppställning till följd av bristande kvalitet samt önskad annan funktion. Vissa skapar fler rum medan andra tar ned väggar för att skapa större och färre rum.

Även påföljdsrenoveringar är vanligt, exempelvis att man efter flytt av inredning även behöver lägga om golv som ej lagts flytande genom hela lägenheten.

Projektet har drivits av Chalmers tekniska högskola i samverkan med HSB Produktion, Tengbomgruppen och Bengt Dahlgren i Göteborg.

Flexibilitet, elasticitet och generalitet

Den demografiska förändring som sker i Sverige ger varierande och nya behov för boendelösningar och lägehetsutformning. Detta beskriver Anna Braide i sin avhandling Dwelling in time, Studies on life course spatial adaptability (2019). Där hon särskilt lyfter behovet av långsiktigt hållbar och anpassningsbar utformning. Avhandlingen utforskar sambandet mellan social hållbarhet och bostadens utformning, samt hur anpassningsbarhet i bostaden kan ses påverka fyra undersökta dimensioner av social hållbarhet: social sammanhållning, delaktighet, rättvisa och medvetenhet om hållbar utveckling. Anpassningsbarheten kan användas för att skapa ökad variation i bostadsbeståndet men även för att skapa högre valbarhet och delaktighet hos de boende som själva kan vara med och utveckla sin bostad över tid.

Dwelling in time

Studien är delvis utförd kopplat till Riksbyggens Brf. Viva och det tvärdisciplinära projektet Positive footprint housing. Där har fullskalemodeller av de anpassningsbara lägenheterna som studerats möjliggjorts. Studierna visar att de anpassningsbara lägenheterna stödjer de boendes förändrade livsförutsättningar och önskemål över tid och därigenom skapar såväl sociala, ekonomiska och miljömässiga värden. Idag finns dock en avsaknad av rumslig anpassningsbarhet i bostadsbyggandet. Braide visar kopplingen mellan boendes förändrande behov och rumslig anpassningsbarhet i rumslig kapacitet i en tids-rumslig modell som vi tagit fasta på i den maxade testbäddens varierande planlösningsmöjligheter.

Generalitet

Generella rum som passar till många användningsområden skapar anpassningsbarhet och kan även bidra till mer inkluderande bostadsutformning i den mån de ej är baserade på normer. Svensk standard bidrar med kvalitetskrav men tillsammans med marknadens minimerande av lägenhetsstorlekar finns i många projekt de facto få variationsmöjligheter för olika planlösningar. Med standardens starka fokus på en specifik rumsfunktion adresseras sällan andra kvaliteter och normbaserade rum riskerar att premieras. Den specifika rumsutformningen vi har idag baseras även till stor del på en norm om flyttmönster istället för anpassning av den befintliga bostaden.

Flexibilitet

En flexibel planlösning ger möjlighet att anpassa lägenheten genom att exempelvis flytta väggar och inredning. Oftast utgår flexibiliteten från en öppen grundplan där de boende ges möjlighet till nya planlösningar genom flyttbara väggar. Flexibiliteten ger möjlighet till nya planlösningar trots att byggnadens volym är intakt. Ofta är kök och badrum fasta medan övriga rum är anpassningsbara.

Elasticitet

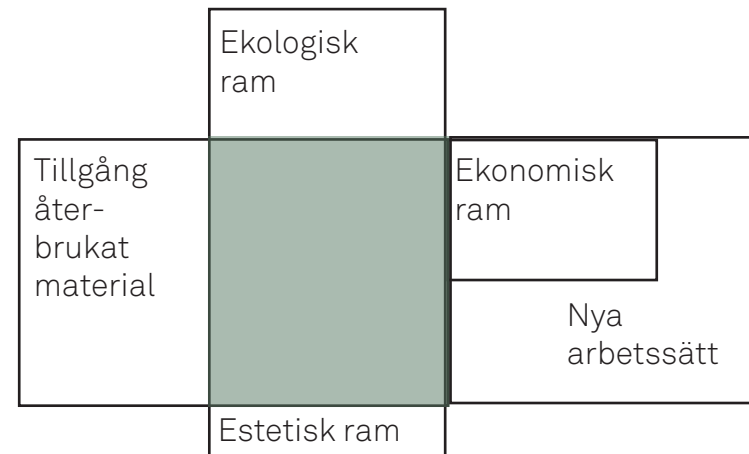
I en elastisk planlösning kan lägenheten utökas och minskas vid behov. Oftast sker detta genom utbyte av ytor mellan två bostäder, men det kan även utformas genom att en enhet kan nyttjas som bostad i sig självt alternativt tilldelas flera andra lägenheter utifrån behov.



1.2 Faktorer för utbyte av material

På följande sidor beskrivs hur utbytet av material i testbädden prioriterats utifrån faktorer som livslängd, klimatpåverkan och tillgång till återbrukat material samt material med hög andel återvunnet innehåll.





Modifierad variant av originalbilden, som visar CIX- projektets erfarenhet utifrån testbädd och omvärldsbevakning. Stor tröskeeffekt bedöms finnas inom förändrade arbetssätt som kräver test och erfarenhet, medan estetik och uttryck snarare kan stärkas av cirkulära material och metoder. De ekonomiska ramarna kan sannolikt hållas relativt konstanta för projekt med ökad cirkularitet men kostnaderna fördelas om beroende på val av material. Miljövärdering av återbrukat material krävs men bedöms kunna lösas med nya arbetssätt. Bild inspirerad av Återbruk av byggmaterial - en fallstudie av kvarteret gränden (LTH, 2013).

Faktorer för utbyte av material

För att uppnå projektets syfte att öka kunskapen om cirkulära material, öka användandet av cirkulära material samt nyttja mer cirkulära material för att minska klimat- och miljöpåverkan har ett antal faktorer identifierats som särskilt viktiga vid utbyte av material i de två testbäddarna.

Livslängd: Kvalitet samt estetisk och teknisk livslängd hos de olika bygghederna och ingående materialen är viktigt för att skapa en lång livslängd och möjlighet till användning i flera användningscykler.

Livslängden står i vissa fall i konflikt med nyttjande av återbrukade material, som i vissa fall har en lägre livslängd än en ny produkt. Här behöver avvägningar göras. Ökad arbetsinsats för rekonditionering kan användas som medel för att minska denna "konflikt".

Tillgång: En hel del bygghederna finns att tillgå i återbrukade varianter eller produkter bestående av stor andel återvunnet material. Arbetsinsatsen ökar till följd av många återförsäljare och nya arbetsmetoder men såväl gestaltningsmässiga, identitetsskapande, klimatomässiga och ekonomiska synergier finns i att välja återbrukat.

Stora materialmängder och klimatompåverkan från material i originalhuset: Då originalhuset består av betongstomme och platta på mark kommer stor del av klimatompåverkan från betong och armering. Ett utbyte av fasaden vilket kan ge en fin estetik och ge huset en cirkulär gestaltning får till exempel litet utslag på klimatombesparing

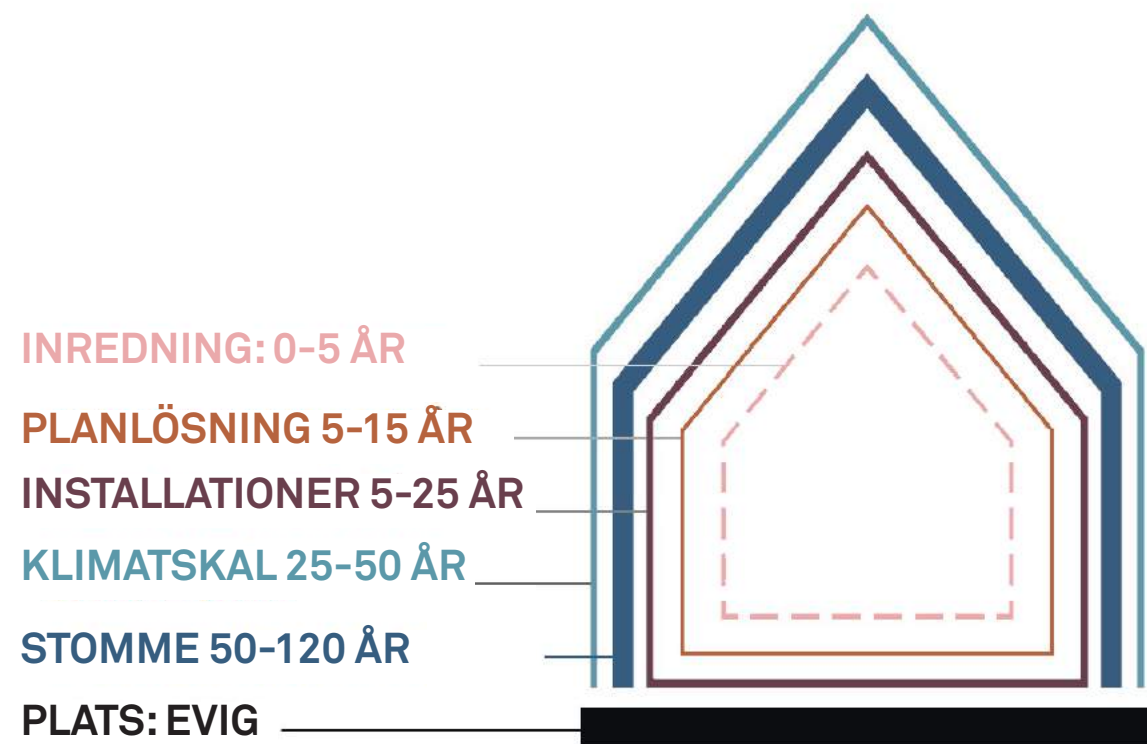
och cirkularitet då grund och stomme bibehålls. Viss ändrad fördelning skulle kunna fås om volym och vikt bedömts. Såväl cirkularitet som klimatompåverkan bedöms per bygghedel för att uppmärksamma cirkulära val i bygghederna utöver stomme och grund.

Miljö- och hälsorisker: Då detta projekt utgår från nybyggnation och ej ombyggnation kan återbruk av bygghederna med låg miljö- och hälsorisk väljas, såsom tegel, ståltrappor, trä samt dörrar. För isolering, gips, spånskivor mm. väljs istället produkter med hög andel återvunnet innehåll där den nya produktens innehåll har miljövärderats.

Kostnad samt arbetsinsats: Styckesvaror såsom dörrar och trappor spar både pengar och klimat vid återbruk. Där flyttas viss del av kostnaden till arbete istället för material vid rekonditionering, samordning och inköp. Däremot finns en pengar att spara i inköp av material - kopplat till återbruk. När det gäller alternativa grundläggningsmetoder är kostnaden högre för ex. Koljerna-platta med hög andel återvunnet, där finns en vinst att göra i arbetstid istället då torktider och arbete för gjutning av platta minskar. Dock kräver ökat återbruk och alternativa metoder en omställning i arbetssätt.

Vår erfarenhet från detta projekt är att potentialen för cirkulära material och metoder utvecklats sedan modellen till vänster ovan. Och att utrymmet för återbrukat, återvunnet, demonterbart och biobaserat idag är stor!





INREDNING: 0-5 ÅR

INGÅR EJ I CIX

Lös inredning såsom möbler och dekoration etc. har kort livslängd och byts ofta ut med trender, säsonger osv. Det är viktigt att öka cirkulariteten kopplat till inredning, men det ingår inte i detta projekt.

PLANLÖSNING: 5-15 ÅR

Planlösningar, ytskikt och rumskompletteringar vilka ofta genomgår mest förändring under en byggnads livscykel.

BM - BYGGDELAR 60-70:

61 INSIDA YTTERVÄGG

62 GOLV

63 INNERVÄGG

64 INNERTAK

65 INVÄNDIGA DÖRRAR

72 YTSKIKT GOLV

73 YTSKIKT VÄGG

74 YTSKIKT TAK/ UNDERTAK

76 VITVAROR

77 SKÅP OCH SNICKERIER

INSTALLATIONER: 5-25 ÅR

BM BYGGDELAR 80-89 INSTALLATIONER, UTRUSTNING

86 ELEKTRONIK

84 VVS

KLIMATSKAL: 25-50 ÅR

BM BYGGDELAR 40-59

40-49 YTSKIKT TAK

50-59 YTTERVÄGGAR/FASAD

55 FÖNSTER

48, 58 UTVÄNDIG HUSKOMPLETTERING (TRAPPOR, AVVATTNING)

55 YTTERDÖRRAR

STOMME: 50-120 ÅR

10 MARK

24 GRUND

34 BJÄLKLÄG

31 YTTERVÄGGAR

31 BÄRANDE LÄGENHETSAVSKILJANDE VÄGGAR

41 TAKSTOMME

PLATS: EVIG

10 Mark

Livslängd

Prioritering av cirkulära material utifrån byggdels livslängd och separeringsgrad/möjlighet till underhåll, utbyte och återbruk. Med utgångspunkt i "How buildings learn - What happens after they're built" Stewart Brand, 1994.

Brand (1994) satte med sin bok How buildings learn fokus på hur byggnader ändras och byggs om under sin livstid. I boken visas två huvudsakliga strategier för anpassningsbarhet: flexibilitet och generalitet. I boken beskrivs hur anpassningsbar genom flexibilitet eller generalitet kan överleva förändrade villkor från de boende över tid.

Brands illustration av byggdels livslängder är väl använd i cirkulära byggnadssammanhang. Detta då den på ett pedagogiskt sätt visar olika byggdels livslängder men även understyrker

vikten av möjlig separering och underhåll av olika byggdels oberoende av varandra. För att undvika onödigt resursbortfall bör till exempel byggdels med kortare livslängd hållas separerade eller demonterbara från byggdels med längre livslängd för att undvika onödigt underhåll av en byggdels som egentligen klarar sig längre.

Illustrationen ovan är hämtad från boken och den visar hur olika byggdels byts ut, underhålls eller kvarstår under byggnadens livslängd.

Då vi i CIX-projektet använder oss av Byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM) i våra klimatberäkningar har vi valt att sortera in BM:s byggdels i enlighet med Brands diagram. Detta för att skapa struktur och möjlighet att visa cirkulariteten för olika byggdelsnivåer.

Årtalen i modellen indikerar en form av medelvärde för hur ofta en byggdels behöver underhållas, renoveras eller bytas ut samt hur länge den i snitt nyttjas i en användningscykel. Årtalen är hämtade från det danska forskningsprojektet Circle house project där de anpassat Brands årtal till nuvarande förhållanden och kunskap.

Vi har dock utökat stommens användningscykel till 120 år vilket kommer från den danska LCA-modellen. Kopplas detta ihop med nu gällande instruktioner i Boverkets förslag till klimatdeklarationer där en byggnads livscykel som standard sätt till 50 år för att efter det bedömas gå in i en ny användningscykel bedöms årtalen i modellen vara en helt okej uppskattning anpassade till en önskan om ökad cirkularitet.

För att uppmuntra längre livslängder som håller i flera användningscykler ges i CIX-verktyget poäng när en produkt eller byggdels utformas för en längre teknisk eller estetisk livslängd än årtalen ovan.





GENBYG DK



blocket



Malmö Återbyggdepå



HUS TILL HUS



Resin Wood

OMREDA®

Google

BYGGVARUBEDÖMNINGEN™



Tillgång

För att testbäddens justerade och maxade varianter ska kunna genomföras är tillgången till cirkulära material viktig. Återförsäljare av återbrukade byggmaterial har därför kartlagts och utbud av olika typer av material har gjorts. Urvalet har begränsats till ett antal återförsäljare och vanligen förekommande standardutbud. Tillgång på material avseende såväl återbruk, återvunnet material samt demonterbarhet/värde i nästa fas har identifierats avseende tillgång.

Utbud återbrukade material

Avseende återbrukat material har tillgången bedömts som god om mängden ingående material i någon av testbäddarna kan fyllas vid en leverans av återbrukat material. Några material som där mängder motsvarande en byggnads behov finns tillgänglig hos en och samma återförsäljare är tex:

- Taktegel
- Tegel
- Fast inredning
- Innerdörrar

- Ytterdörrar
- Trappor
- Fönster
- Panel/spillträ/burnt wood

Utbud material med hög andel återvunnet

- Armering
- Gipsskivor
- Isolering (cellglas, cellulosa)
- Spånskivor
- Skivmaterial
- Kakel/klinker
- Plåt/Aluminiumtak

C2C-certifierade produkter

Produkter designade för återbruk

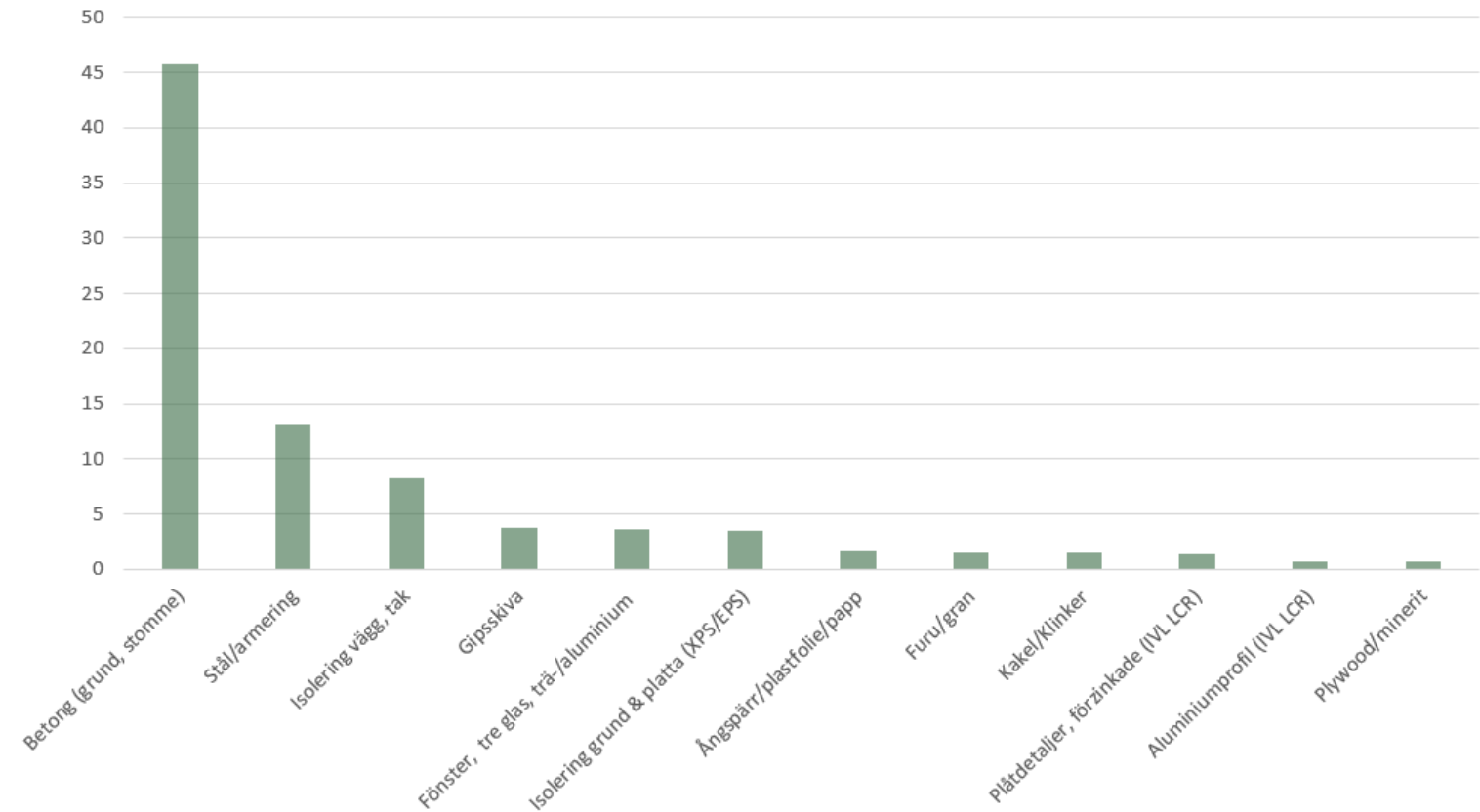
- Aluminiumprofiler och fönster
- Byggsystem i trä
- Biobaserade material som ersätter oljebaserade ex. byggfolie
- Biobaserad isolering ex. lin, hampa
- Lerskivor
- Hampakalk

Design för återbruk

- Byggsystem i trä
- Prefab betong
- Koljernmoduler
- Fönsterkassetter
- Demonterbara väggar ex. Gyproc och Timbro
- Skiffer
- Panel



ton CO₂ i originalhuset



Tabell. LCA-resultat för fem olika byggplattformar under 50 år – grundfall (kg CO₂-ekv./m² A_{temp}).
Källa: IVL Rapport C350, 2018.

Byggplattform	A1-3 Produktskede	A4 Transport	A5 Bygg- och installationsprocessen	B1 Karbonatisering	B2,4 Underhåll och utbyte 50 år	B6 Driftenergi 50 år	C1-4 Slutskede	Summa livscykeln A-C	A1-5 Byggskede
1) Platsgjuten betongstomme och yttervägg med kvarsittande form	279	11	42	-4	17	188	18	550	331
2) Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar i trä och stål	234	11	45	-3	17	188	14	506	290
3) Prefabricerad betongstomme med bärande ytterväggar och håldäcksbjälklag	214	24	34	-3	18	188	6	482	272
4) Volymelement i trä	176	18	29	-1	24	188	10	445	223
5) Massiv stomme i KL-trä	167	19	37	-1	22	188	8	441	223

Stora materialmängder och klimatpåverkan i originalhuset

Vid utbyte av material vill projektet, utöver ökad cirkularitet även uppnå minskad klimatpåverkan. Därför identifierades tidigt de största påverkansposterna i byggnaden. Klimatberäkningar är utförda i byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM) för originalhuset baserat på anbuds kalkylen och mängd material i BIM-modellen av huset. För de justerade och den maxade testbäddarna har översiktliga klimatberäkningar gjorts i BM.

Då byggnaden består av betongstomme på gjuten platta på mark utgör betong en stor del av ingående material och inbyggd klimatpåverkan. Även armering och stål står för en större del av klimatpåverkan. Därefter syns isolering, gips och fönster. Klimatpåverkan ligger på 204 kg CO₂/m² A-temp. för produktionsskedet (A1-A3) exklusive klimatpåverkan från transporter till byggarbetsplatsen (A4) samt själva byggprocessen (A5). Installationer ingår heller inte i klimatberäkningen som fokuseras på konstruktions- och arkitekt-delarna. Installationer står förenklat för cirka 50 kg/CO₂/m² A-temp.

Med schablonsiffror (från BM) för transporter och byggarbetsplatsens påverkan om cirka 58 kg CO₂-ekv. /m² Atemp samt cirka 50 kg CO₂-ekv. /m² A-temp för installationer fås en uppskattning om cirka 310 kg CO₂/m² Atemp för vår originalbyggnad. Denna siffra ligger nära de som tagits fram för byggnader med platsgjuten betongstomme i rapporten "Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus, LCA av fem byggsystem - IVL Rapport C350.", IVL, Sveriges byggindustrier & KTH (2018).

Kostnadsaspekter och arbetsinsats

Viss bedömning avseende produkternas kostnader har inkluderats. Dock har det varit svårt att hitta kostnader för samtligt föreslagna alternativa material. Vi har heller inte identifierat kostnader för rekonditionering, lagerhållning och ökad arbetsinsats utan nämner det endast som aspekter för de återbrukade produkter som föreslås.

Byggkostnaden innefattar bl.a. material, löner, övriga entreprenadkostnader som transporter och maskiner men även moms och tomtkostnader. De återbrukade produkter som undersökts i projektet såsom takpannor, dörrar, trappor och fönster kostar mindre än originalprodukterna och bör kunna rekonditioneras och hanteras till ett pris motsvarande originalprodukternas.

De produkter bestående av stor andel återvunnet material varierar stort i pris jämfört med originalprodukter såsom ersättning för platta på mark, klimatförbättrad betong och isolering där

de återvunna och klimatförbättrade alternativen är idag något dyrare än i originalhuset. Dock kan pengar sparas i produktion till följd av uteblivna torktider, arbetsmoment i vissa fall samt minskning av ingående materialmängder. Kostnaderna kan komma att utjämnas på projektnivå, men det behöver studeras mer ingående.





Byggsektorns miljöberäkningsverktyg

Byggsektorns miljöberäkningsverktyg, BM, är ett branschgemensamt miljöberäkningsverktyg för byggnader. Verktöget baseras på livscykelanalysmetodik och gör det möjligt för esåväl experter som icke-expert att ta fram en klimatdeklaration för en byggnad.

Med verktöget kan man räkna fram hur stor klimatpåverkan olika byggnader har och hur utsläppen kan minska genom förändrade materialval och produktionssätt.

Verktöget baseras på det underlag som tas fram under en byggnads projektering. Verktöget innehåller en färdig databas med klimatdata för de byggresurser som används på den svenska marknaden. Det gör att man direkt kan få ett medelvärdesresultat som beskriver en byggnads klimatpåverkan i Sverige.

Resultatet kan därefter användas för att göra förbättringar av den aktuella byggnaden. (IVL.se:2020)

Då BM är ett öppet verktyg uppbyggt så att vem som helst kan använda det oavsett tillgång till programvaror har vi använt det till klimatberäkningar i CIX. Vi har även utgått från BM:s indelning i byggdelar när vi kartlagt material i CIX-husen.

Liksom BM baseras våra CIX-beräkningar avseende andel återbrukat, återvunnet och biobaserat material på kilo ingående material för att ska-

pa synergier och undvika dubbeljobb mellan olika enheter. BM har en funktion där kalkyler kan nyttjas för att överföra information om byggnaden och dess mängd ingående material. Ingående parter i projektet har dock inga egna kalkylprogram kompatibla med BM vilket gör att ganska stor handpåläggning krävs för att få fram mängd material i kilo. Viss omvandlingsfunktion finns dock i BM.

Med tillgång till kalkylprogram såsom Vico, Sektionsdata, Bidcon med flera kan detta dubbelarbete undvikas. Dock befinner sig projektet i så tidigt idéstadium att vi inte har kalkyler för de oli-

ka testbäddarna. I tidiga skeden är manuella omräkningar oundvikliga vid användande av BM som verktöget är uppbyggt idag.





Allokering av klimatpåverkan återbrukat material

Något vi märkte snabbt i CIX-arbetet var att det varit oklart hur återbrukets klimatnytta ska beräknas. Under projektets gång har det blivit enklare då IVL Svenska Miljöinstitutet har tagit fram en handledning för återbrukets klimateffekter vid byggnation, Rapport C562. En handledning som ETTTELVA Arkitekter och Bengt Dahlgren testat på CIX justerade och maxade testbäddar!

Handledningen är en del i projektet Digitaliserade klimat- och miljökrav i hela upphandlingskedjan, som finansieras av det strategiska innovationsprogrammet Smart Built Environment. Syftet med det projektet är arbeta fram mer digitala underlag för materialval inom byggbranschen och samordna dem för att minska det i dag fragmenterade och analoga arbetssättet.

I handledningen får du instruktioner hur du kan räkna klimatnytta i användande av återbrukat material samt om du ger material till någon annan för återbruk. Handledningen som förtydligar

hur klimatnyttan från återbruk kan beräknas i anslutning till standarden EN 15978 och hur klimatberäkningen för återbrukat material kan implementeras i Byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM).

Mycket förenklat kan standarden tolkas så att den första användaren av en produkt tar produktens klimatpåverkan. Nyttjar du en återbrukat produkt i ditt projekt kan du alltså nolla klimatpåverkan från produkten, men lägga på klimatpåverkan från transport, lagerhållning och rekonditionering.

Handledningen beskriver på ett enkelt sätt hur du räknar enligt standardens modul A (byggskede), B (förvaltningsskede), C <(slutskede, dvs. rivning/demontering)och D (återbruk på annan plats)

Enligt standarden för klimatberäkning utgör alltså återbrukat material en mycket stor klimatnytta i ditt projekt, så även i CIX. Vårt föreslagna återbruk av till exempel fönster gör tillsammans med de stora öppningarna i fasad en stor klimatbesparing i det maxade huset jämfört med originalhuset då fasadytan krymper och fylls med återbrukat material.

Målet med standarden är att sprida kunskap till fastighetsägare och byggföretag om hur man beräknar återbrukets klimatnytta. Därmed ska handledningen bidra till att öka drivkraften att välja återbruk i byggbranschen (IVL).

Med lagkrav om klimatdeklarationer vore det fint att även inkludera återbrukade produkter och dess klimatnytta så att det cirkulära byggandet kan öka (IVL).





BYGGHVARUBEDÖMNINGEN™



Stresstest av val utifrån miljö & hälsa

Vid planering, byggande och förvaltning av cirkulära byggnader är uppdaterad loggbok en viktig del. Både för att tillse en hälsosam miljö för boende och brukare men även för att möjliggöra framtida materialåterbruk i nästa användningscykel. Loggboken kan skapas i någon av de tjänster som finns för bedömning av byggmaterial. Vid användande av återbrukat material behöver loggboken kompletteras med information om de återbrukade materialens riskbedömning enligt kontrollplan/miljöinventering. Detta då materialen inte finns listade i miljödatabaserna. Många byggnader och anläggningar, särskilt från 1950-, 1960- och 1970-talen, döljer miljöstörande ämnen som exempelvis asbest och PCB. Vid rivning, demontering och ombyggnader ska dock en materialinventering genomföras som underlag till den kontrollplan som ska upprättas.

Kontrollplanen ska bland annat innehålla uppgifter om vilket farligt avfall som demontering- och rivningsåtgärder kan ge upphov till. För att få fram dessa uppgifter behöver den som bygger göra en materialinventering av byggnaden. I kontrollplanen bör det anges vilket material som kan ge upphov till farligt avfall, bedömd mängd eller omfattning för varje avfallsslag samt var i byggnaden dessa material finns. Den som innehar ett avfall ska se till att det hanteras på ett hälso- och miljömässigt godtagbart sätt. Sortering av

byggmaterialet (rivningsavfallet) ska normalt ske på plats. Sortering vid källan minskar nedsmutsning och förorening av restprodukter vilket underlättar återanvändning och återvinning.

Bly användes i byggnader dels som blyplåt, men även inblandat i färger. I byggmaterial kan det finnas i exempelvis fönster och takmaterial med plåtdetaljer. Kadmium förbjöds i Sverige 1982 och användes som stabilisator och pigment i plaster i nyanser av gult,

orange och rött exempelvis i plastmattor och plastprofiler, kakel, klinker och våtrumstapeter. Kvicksilver förbjöds 1993 men användes tidigare i elektroniska komponenter. Köldmedier i isolering fanns 1960-1995 och eventuellt vid tilläggsisolering efter det. Ex CFC kan finnas i isolering PUR, XPS och drevisolering från dessa år. PCB användes mest mellan 1950-60-talen och förbud infördes mellan 1973-1995 och fanns i isolerrutor och fogmassor till exempel. Asbest användes även det mest under 1950-60-talen i isolering, skivmaterial, mattlim och brandskydd.

Förbud infördes Även kemikalier oljerester och tryckimpregnerat trä behöver tas i beaktning. Liksom föroreningar som kan härledas till användning av byggnaden varifrån återbrukat material hämtas. I återbrukat virka kan istället virkesförstörande insekter finnas. (Boverket, Om kontrollplan, 2020 samt checklista för miljöinventering Håbo kommun, 2020)

För att säkerställa en hälsosam bostad för de som ska leva i CIX-huset har riskmaterial enligt ovan årtal och materialtyper undvikits.



2. Justerad testbädd

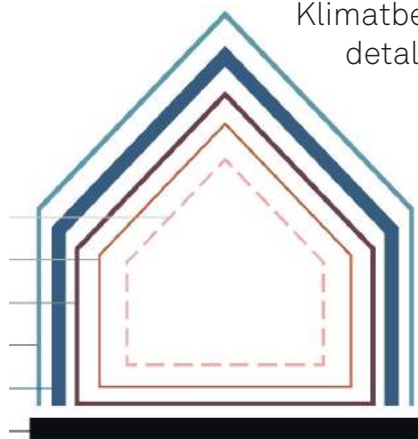




Originalhuset, arkitekt: Efem Arkitektkontor

Justerat hus Fasta förutsättningar

I den justerade testbädden har vi försökt hitta enkelt genomförbara, cirkulära och klimatsmarta alternativ för planlösning, designgrepp och byggdelar. Huset ska fortsatt vara ett marknära boende, två våningar utan hiss. Byggbarheten ska behållas genom gemensamt schakt för kök och badrum. Nedan följer studerade alternativ samt tre varianter av det justerade huset utifrån olika cirkulära metoder och material. Klimatberäkningarna är översiktligt gjorda för byggskedet, för modul A1-A3. Tekniska krav har ej bedömts i detalj för de mer cirkulära alternativen, avseende exempelvis U-värden, isolerförmåga eller akustik.



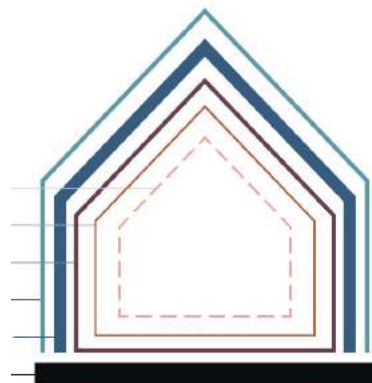
Stomme/grund



Klimatskal



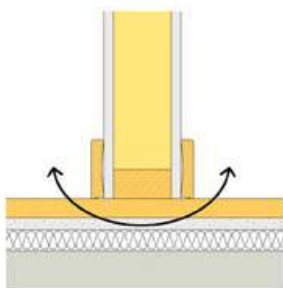
Rumsbildning



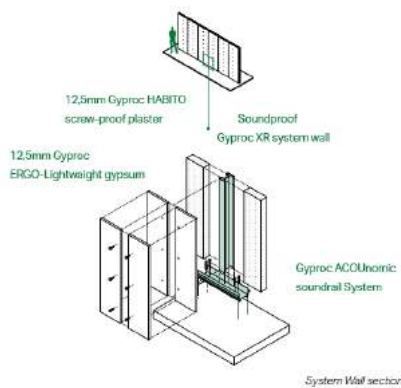
Cirkulär bas (enkla åtgärder för ökad cirkularitet)



Resurseffektiv konstruktion (i det justerade husets fall innebär detta översyn av ingående mängd betong, rätt cementinblandning för önskad bärighet, mindre mängd betong. I det maxade husets fall har det inneburit byte av stommaterial, konstruktion som klarar hög anpassningsbarhet av planlösning och användning samt en takutformning för minimerat resursuttag)



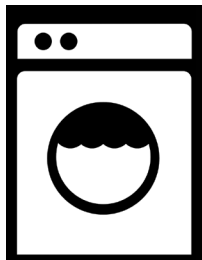
Flytande golv i hela lägenheten, även under köksinredning.



Innerväggar möjliga att flytta och demontera, ex. genom särskild infästning likt Gyproc. Illustration: Circle house.dk



För kök väljs gedigen stomme med minimimått enl. svensk standard. Stommen håller över tid. Luckor går enkelt att anpassa genom att bytas ut eller omlackeras. Om fler arbetsytor önskas kompletteras köket med köksö.



Badrum utrustas med kombimaskin istället för tvätt och tork, för att spara resurser och plats.



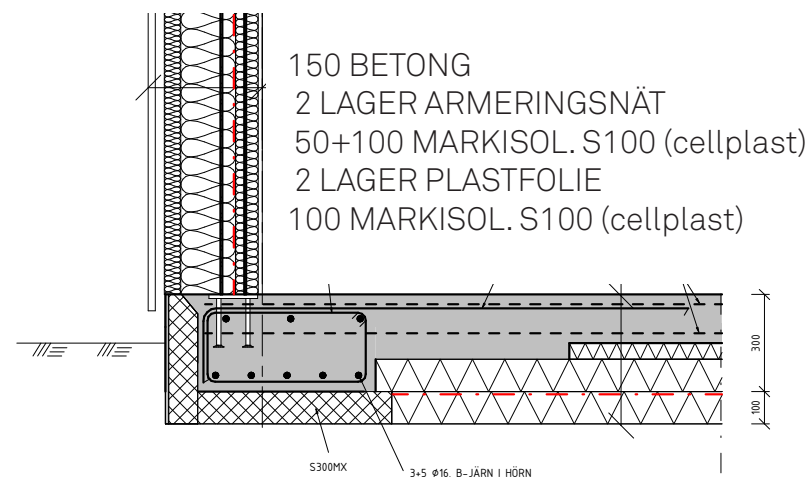
Bortsett från kök och wc är all inredning lös; såsom garderober och städskåp.



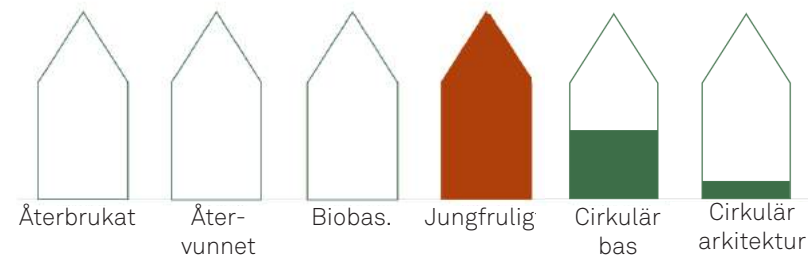


Stomme/Grund

Originalhus
Platta på mark betong



Cirkularitet



Klimatpåverkan

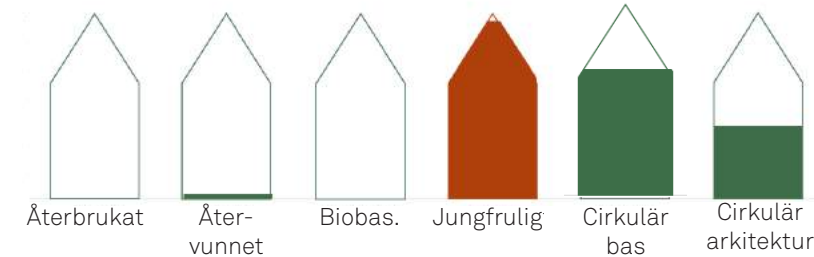
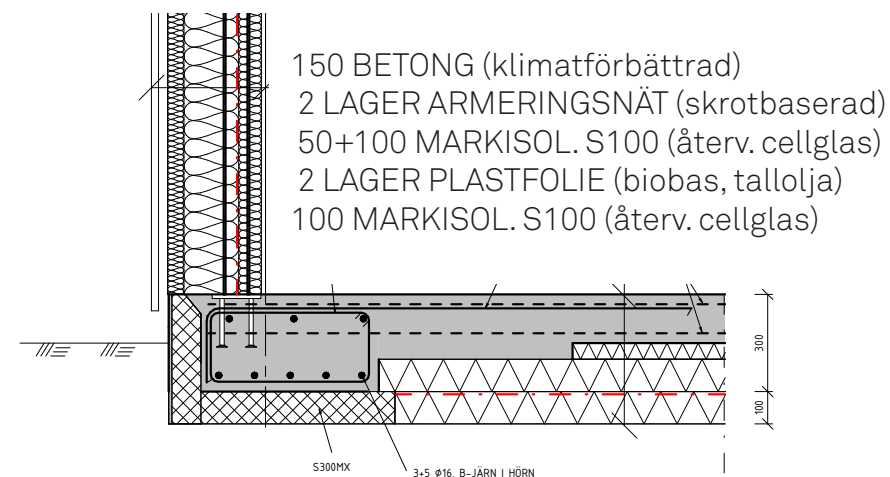
Ca 90 kg CO₂/m²
bottenplatta
Totalt: 18 400 kg CO₂

Kostnad

Ca 440 kr/m²
bottenplatta (inkl.
L-kant)



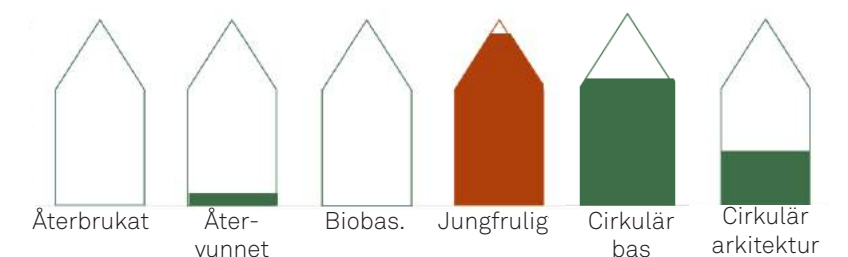
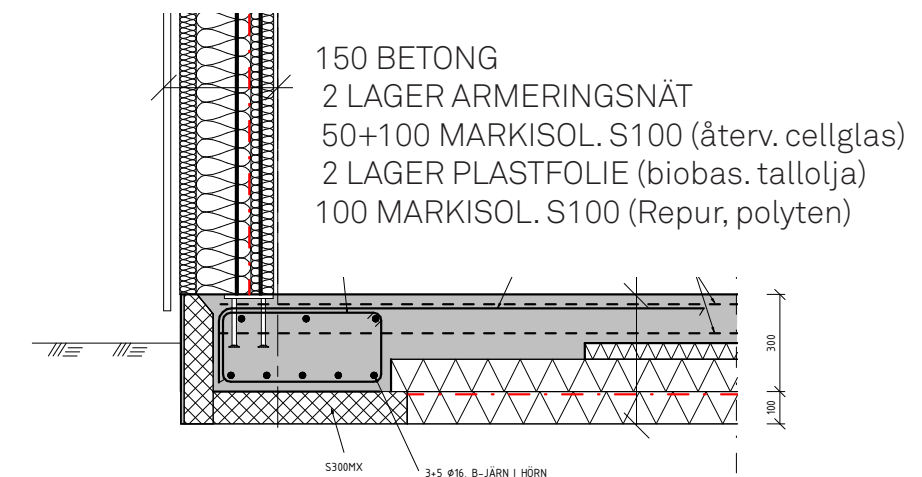
Alt. 1 - "Grönare alternativ" (obs,
antagna mängder samma som i
originalhus)



Ca 60 kg CO₂/m² bottenplatta
(klimatbesparing ca 6800 kg
CO₂/hus jmf. original)

Ca 3470 kr/m²
bottenplatta (pris klimatförb. betong
hämtat från arbetet med Hoppet.
Prisuppskattningen är osäker).

Alt. 2 - Platta på mark med Repur
Recoboard (obs, antagen ersätta EPS i
samma mängd)



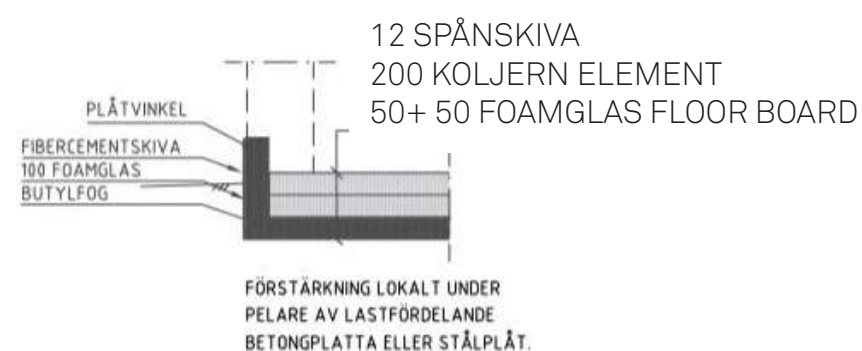
Ca 55 kg CO₂/m² bottenplatta
(klimatbesparing ca 7 600 kg
CO₂/hus jmf. original)

Ca 2 270 kr/m²
bottenplatta (pris klimatförb. betong
hämtat från arbetet med Hoppet, Repur
pris från återförsäljare. Dock utan ev.
mängd- och inköpsrabatter. Prisupp-
skattningen är osäker).

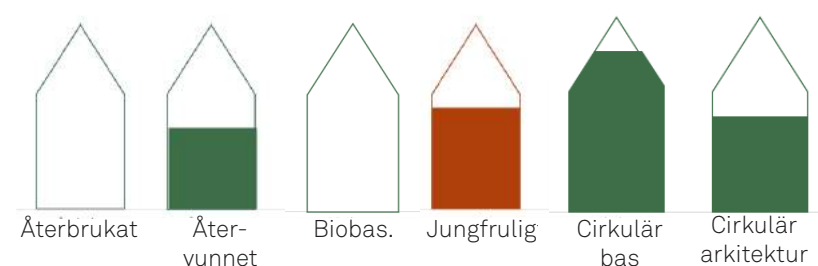


Stomme/Grund

Alt. 3 - Koljern - platta på mark (obs. uppbyggnad och klimatberäkning tagen från Hoppet, förskola)



Cirkularitet



Klimatpåverkan

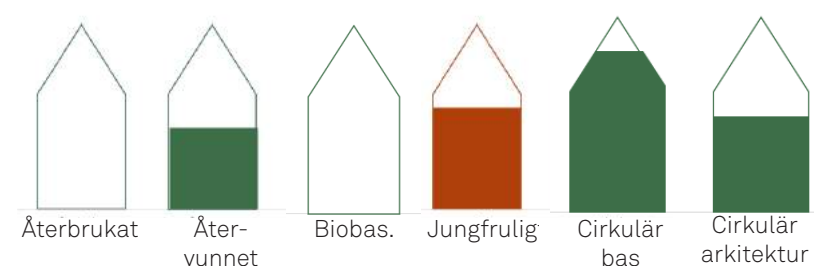
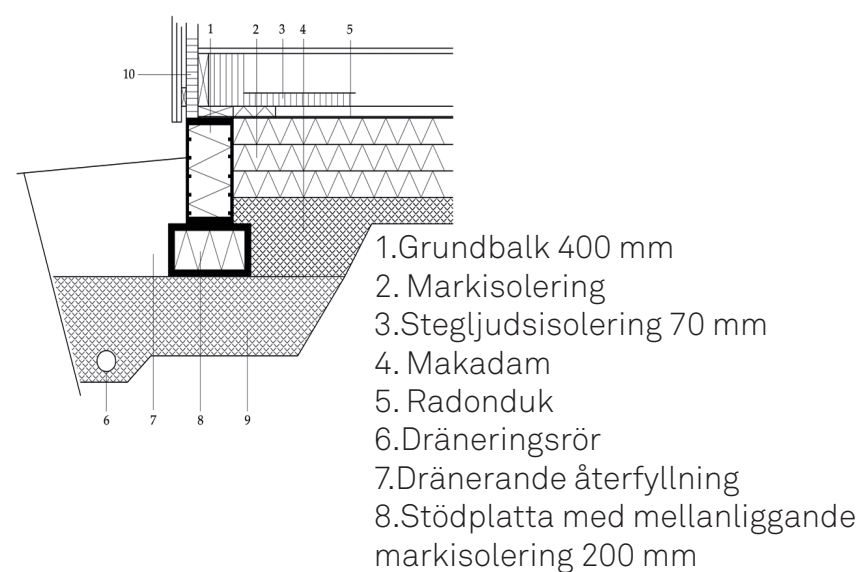
Ca 50 kg CO₂/m² bottenplatta (klimatbesparing ca 8200 kg CO₂/hus jmf. original)

Kostnad

Ca 4590 kr/m²
Prisuppgift från fsk. Hoppet.



Alt. 4 - Hyrbridgrund (konstruktion hämtad från www.tjallden.se)

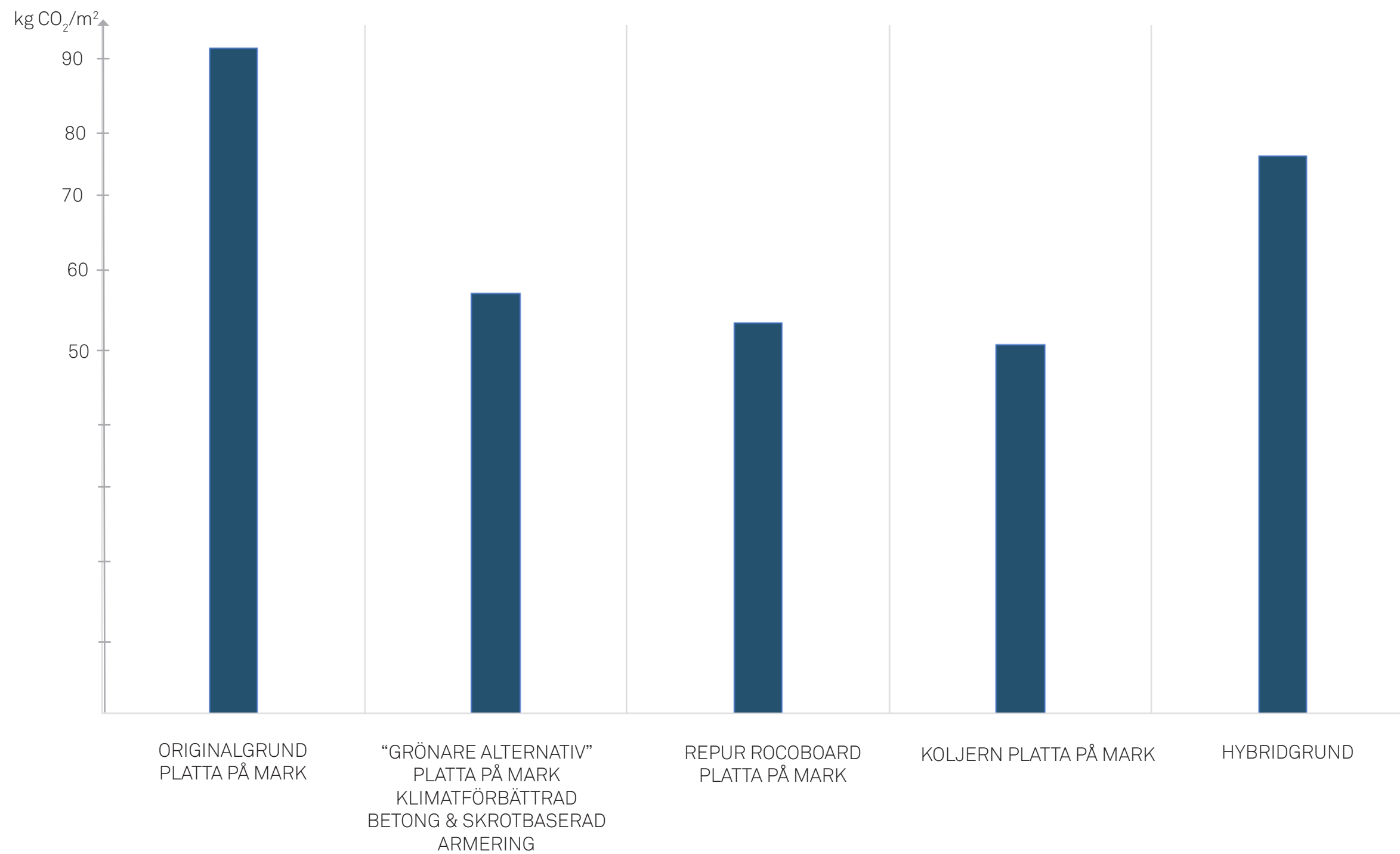


Ca 75 kg Co₂/m² bottenplatta (klimatbesparing ca 3000 kg CO₂/hus jmf. original)

Ingen prisuppgift har hittats.



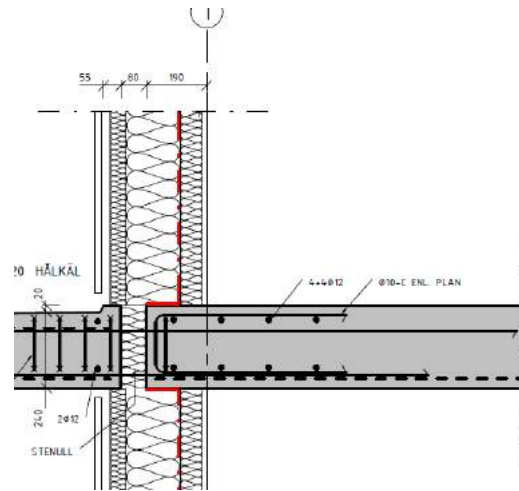
Stomme/Grund



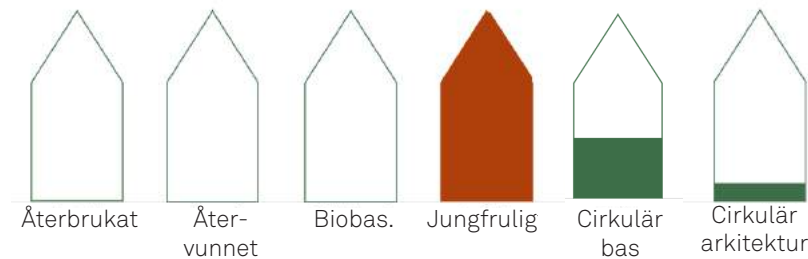


Stomme/Bjälklag

Originalhus Mellanbjälklag
platsgjuten betong



Cirkularitet



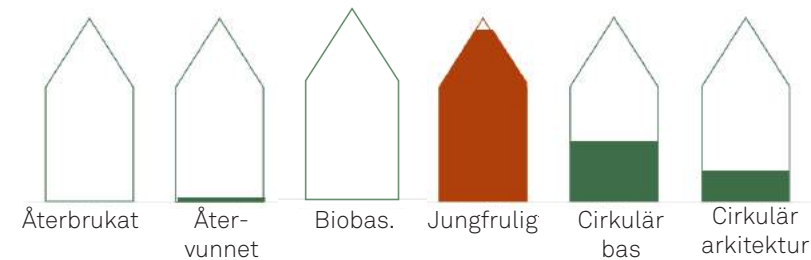
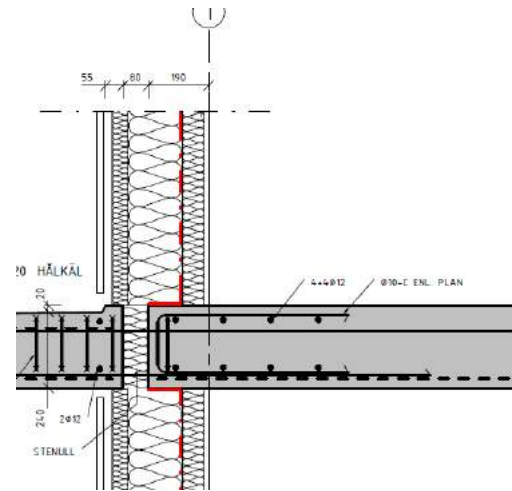
Klimatpåverkan

Ca 90 kg CO₂/m² mellanbjälklag
Totalt: 17 320 kg CO₂ för bjälklaget.

Kostnad

Ca 620 kr/m²
(prisuppgift anbudskalkyl)

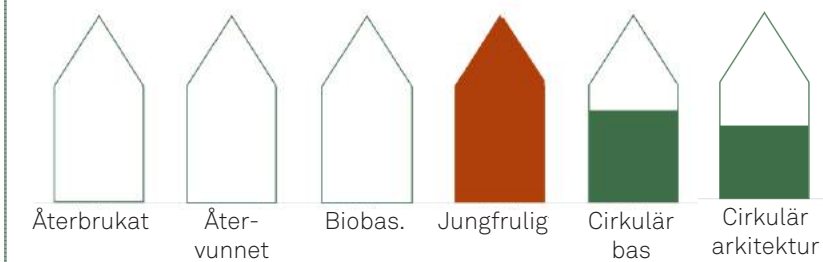
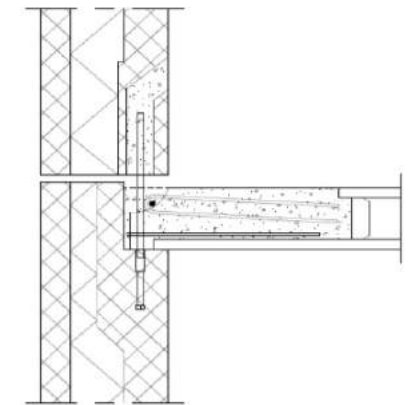
Alt. 1 - Klimatförbättrad betong
och skrotbaserad armering (samma
uppbyggnad som originalhuset antagen)



Ca 50 kg CO₂/m²
Totalt: 10 325 kg CO₂ för bjälklaget.
Klimatbesparing: 7 000 kg CO₂/hus.

Ca 1250 kr/m²
(prisuppgift anbudskalkyl samt pri-
suppgift fsk. Hoppet)

Alt. 2 -Håldäcksbjälklag 27
Betong
Armering
(exempelridning håldäck, Strängbetong)



Ca 50 kg CO₂/m²
Totalt: 9 380 kg CO₂ för bjälklaget.
Klimatbesparing: 7 940 kg CO₂/hus.

Ingen prisuppgift har hittats.





Klimatskal

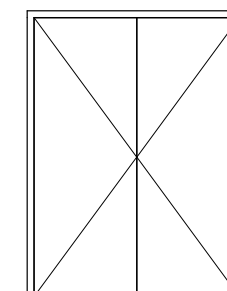
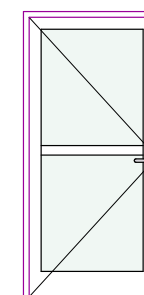
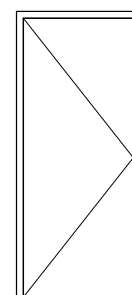
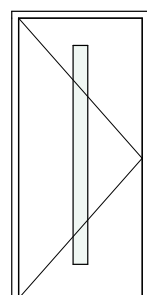
Tak Originalhus
Betongtakpannor

Ytterdörr
1010x2110

Förrådsdörr
910x 2100

Fönsterdörr
1010x 2110

Teknikdörr
1610x 2100



100 % Återbrukat



100 % Återbrukat



100 % Återbrukat



100 % Återbrukat



100 % Återbrukat

Cirkularitet

Klimatpåverkan

0 kg CO₂ per tak, exkl. transporter.
Klimatbesparing ca
1 000 kg CO₂/originalhus.

Ca 2 kg CO₂ per 4 dörrar, exkl.
transporter men med antagen
ommålning.
Klimatbesparing ca
345 kg CO₂/originalhus.

Ca 2 kg CO₂ per 4 dörrar exkl.
transporter men med antagen
ommålning.
Klimatbesparing ca
1010 kg CO₂/originalhus.

2 kg CO₂ per 4 dörrar exkl.
transporter men med antagen
ommålning.
Klimatbesparing ca
1200 kg CO₂/originalhus.

0,7 kg CO₂ per dörr exkl.
transporter men med antagen
ommålning.
Klimatbesparing ca
250 kg CO₂/originalhus.

Kostnad

50-200 kr/m²
jmf. 73 kr/kvm originalhus

1500-5000 kr/dörr jmf.
7700 kr/dörr originalhus

2500-7000 kr/dörr jmf.
4700 kr/dörr originalhus

2500-7000 kr/dörr jmf.
4700 kr/dörr originalhus

2500-7000 kr/dörr jmf.
11700 kr/dörr originalhus



* Prisuppgifter hämtade från anbudskalkyl samt snittpris hos återförsäljare av återbrukat material ex. CCBuid mfl.

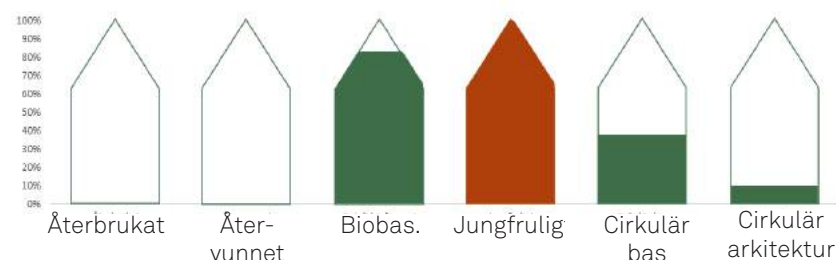


Klimatskal



Fasad mot nordost, originalhus, A-ritning Efem arkitekter.
Fasad: Målad träpanel.

Cirkularitet



Klimatpåverkan

Ca 25 kg CO₂ för transport baserat på generiska data för trä. (445 m²)
135 kg CO₂ för färg (ca 90 kg)

Kostnad

115 kr/m² originalhus (ingen prisuppskattning för återbrukad fasad)

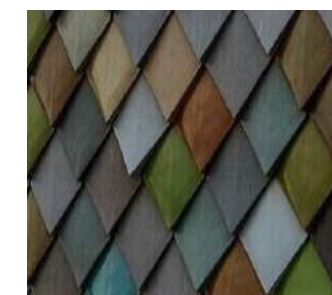


Alternativ återbrukad/återvunnen panel

Då inga EPD:er (redovisning av specifik klimatdata) finns för de återbrukade panelalternativen beskrivs de endast översiktligt här. Samtliga paneler antas få en klimatpåverkan 0 men den faktiska klimatpåverkan beror givetvis på rekonditioneringsprocessen. Klimatpåverkan från transport och ommålning har uppskattats utifrån generiska data i BM och redovisas tillväxter. Klimatbesparingen för återbrukad panel blir då cirka 160 kg CO₂ för hela huset. Dock kan cirkulariteten för klimatskalet bli ex. 100 % inom återbruk vid återbrukad fasad och fönster. Då träpanel har en låg klimatpåverkan, så nyttan i att ersätta ny panel med återbrukade alternativ ligger främst i minskat uttag av råvaruresruser samt i gestaltning och estetiska värden.



Burnt wood/reclaimed wood, burntwood DK



Pretty plastic tiles, pretty plastic NL.



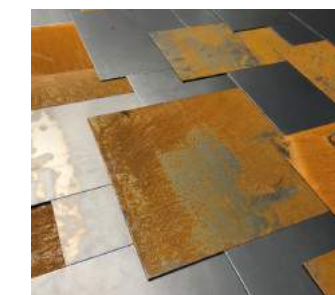
Spillträ, olika återförsäljare.



Återbrukat taktegel, olika återförsäljare.



Återbrukat tegel, olika återförsäljare.



Weather proof family, Eco-series



Prefa fasad, ca 90 % återvunnen aluminium.

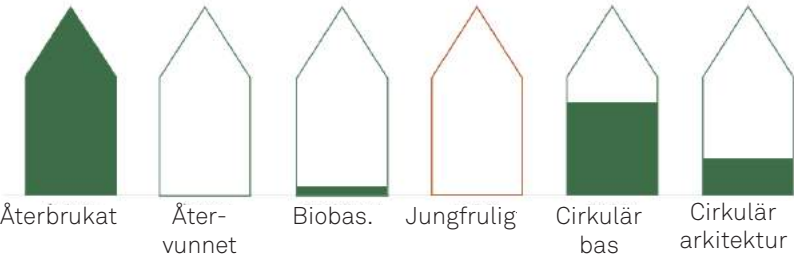


Klimatskal

Littera	FÖ01	FÖ01	FÖ02	FÖ03	FÖ03	FÖ04	FÖ05	FÖ05	FÖ06	FÖ07	FÖ07	FÖ08
Antal	4	2	14	2	2	4	2	2	2	2	2	2
Hängning	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Öppningstyp 1	Högerhängd	Vänsterhängd	Fast	Fast	Fast	Fast	Fast	Fast	Fast	Högerhängd	Vänsterhängd	Fast
Öppningstyp 2	Vänsterhängd	Högerhängd	Vänsterhängd	Högerhängd	Vänsterhängd	Vänsterhängd	Högerhängd	Vänsterhängd	Högerhängd	Vänsterhängd	Högerhängd	Vänsterhängd
Mått												
Bredd i mm (hålmått)	1 710	1 710	910	1 210	1 210	910	610	610	510	1 510	1 510	610
Höjd i mm (hålmått)	1 410	1 410	1 410	510	510	510	1 210	1 210	710	1 410	1 410	1 310
Karmdjup i mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Alt. 1 återbrukade fönster utan rekonditionering

Cirkularitet



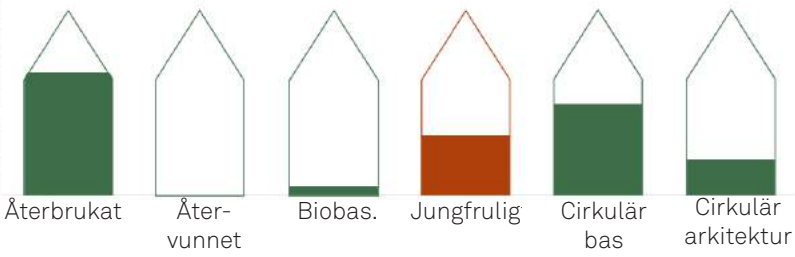
Klimatpåverkan

0 kg CO₂ klimatpåverkan vid återbruk utan rekonditionering. Ca 2640 kg CO₂/hus klimatbesparing. (andra U-värden kan dock påverka dock klimatpåverkan i driftsfasen)

Kostnad

Stor variation i pris och rekonditioneringsbehov (från 250 kr/m²-4500 kr/m², där äldre fönster med detaljer ofta är dyrare än standardfönster och “felköpta partier”).

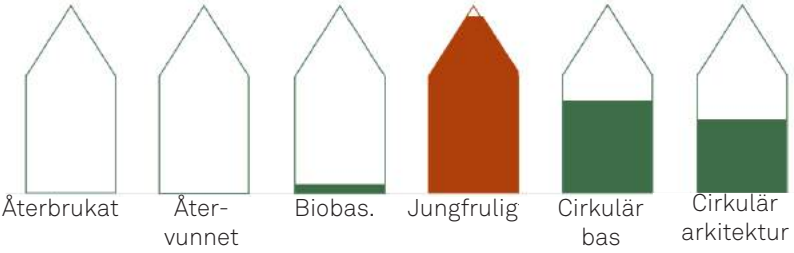
Alt. 2 återbrukade fönster med ny isolerruta och målning



Cirka 880 kg CO₂ klimatpåverkan vid återbruk med ny isoleringsruta och ommålning. Cirka 1760 kg CO₂/hus klimatbesparing.

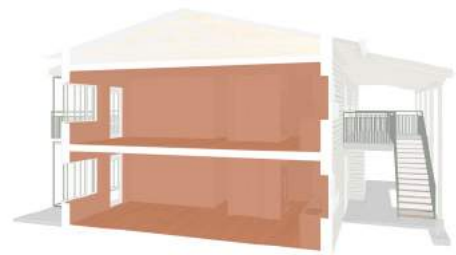
Stor variation i pris och rekonditioneringsbehov (från 250 kr/m²-4500 kr/m², där äldre fönster med detaljer ofta är dyrare än standardfönster och “felköpta partier”).

Alt. 3 Fönster för demontering ex. Velfac.



Ingen klimatbesparing i byggskedet men demonterbarhet och möjliggörande av ny användningscykel för fönstren.





Rumsbildning

Originalhus - Innerväggar

IV01

MELLANVÄGGAR



12,5 GIPSSKIVA
70 STÅLREGEL
12,5 GIPSSKIVA

Bredd: 95
Totalt: Ca 120 kvm
70x70 (450)

IV02

MELLANVÄGGAR

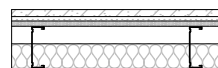


12,5 GIPSSKIVA
70 STÅLREGEL
70 ISOLERING
12,5 GIPSSKIVA

Totalt: Ca 113 kvm
70x70 (450)
Bredd: 95

IV03

MELLANVÄGGAR



20 KAKEL
12,5 GIPSSKIVA
15 PLYWOOD
120 STÅLREGEL
70 ISOLERING
12,5 GIPSSKIVA

Totalt: Ca 18 kvm
Bredd: 180

IV04

MELLANVÄGGAR



20 KAKEL
12,5 GIPSSKIVA
15 PLYWOOD
70 STÅLREGEL
70 ISOLERING
12,5 GIPSSKIVA

Totalt: Ca 41 kvm
Bredd: 115

IV05

MELLANVÄGGAR



70 STÅLREGEL
15 PLYWOOD
12,5 GIPSSKIVA

Totalt: Ca 10 kvm
Bredd: 97,5

IV06

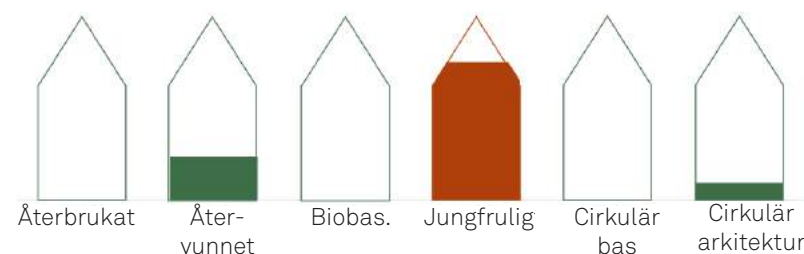
MELLANVÄGGAR



70 STÅLREGEL
12,5 GIPSSKIVA
12,5 GIPSSKIVA

Totalt: Ca 18 kvm
Bredd: 95
(Brandcellsgräns EI30)

Cirkularitet
Totalt innerväggar
originalhus



För att minska klimatpåverkan från innerväggar kan kakel bytas ut mot fabrikat med lägre klimatpåverkan, stålreglar kan bytas mot träreglar och isolering mot biobaserade alternativ.

Klimatpåverkan/m²

Ca 7 kg CO₂/m²
(totalt: 884 kg CO₂)

Ca 11 kg CO₂/m²
(totalt: 1164 kg CO₂)

Ca 19 kg CO₂/m²
(totalt: 585 kg CO₂)

Ca 17 kg CO₂/m²
(totalt: 706 kg CO₂)

Ca 6 kg CO₂/m²
(totalt: 65 kg CO₂)

Ca 7 kg CO₂/m²
(totalt: 131 kg CO₂)

Kostnad

Ca 135 kr/m²
(anbudskalkyl)

Ca 140 kr/m²
(anbudskalkyl)

Ca 140 kr/m²
(anbudskalkyl)

Ca 135 kr/m²
(anbudskalkyl)

Ca 140 kr/m²
(anbudskalkyl)

Ca 135 kr/m²
(anbudskalkyl)



2.1 Resultat justerad testbädd

På nästföljande sidor redovisas tre varianter på hur en justerad testbädd kan utformas. De tre alternativen baseras på utförd omvärldsbevakning och utförda klimatberäkningar och kostnadsuppskattningar för att ge ett smörgåsbord av val för att skapa ett mer cirkulärt hus.



Justerat hus “Färdigt cirkulärt”

Den första varianten av vår testbädd kallar vi ”Färdigt cirkulär” här behålls originalhusets planlösning och fönstersättning och vi höjer cirkulariteten genom färdiga produkter med högre andel återvunnet i sig.

Cirkulär BAS: Loggbok

Cirkulära arkitekturgrepp: Golv läggs flytande i hela lägenheten. Fast inredning minimeras.

Grund: Översyn slimmad konstruktion för minimerat resursuttag. Klimatförbättrad betong och skrotbaserad armering.

Stomme: Klimatförbättrad betong och skrotbaserad armering. Ev. håldäcksbjälklag.

Fasad: Reclaimed wood, Burnt wood.dk (100 % återbrukat).

Fönster: Aluminiumprofiler med hög andel återvunnet ex. Purso green line.

Tak: Solceller för lokal energiproduktion.

Golv: Klinker ex. Silestone eco (50 % återvunnet material) eller Atlas Concorde (hög andel återvunnen keramiskt material), återvunnet trägolv (ex. från Englundgruppen).

Kök av hög andel återvunnet material och utifrån cirkulära principer, ex:

- Ikea Kungsbacka (återvunnet trä och pet-flaskor) eller Bodarp (hög andel återvunnen plast).
- Puustelli Miinus: Utformat enligt cirkulära principer för låg klimatpåverkan och minimerat resursuttag (ex. utan täckskivor och rygg mellan och i skåpen) samt stommar i biokomposit med låg vikt.
- Reform kitchen, up - Lendager och Reform kitchen. Gjort av återbrukat trä från golvtillverkaren Disen. Cirkapris: 40 000 kr (<https://www.reformmcp.com/en/info/price-examples/#l-kitchen>)

Klimatpåverkan från huset minskar med cirka 15 000 kg CO2. Det motsvarar en minskning av cirka 35 kg CO2 per m2 Atemp, vilket motsvarar en minskning av klimatpåverkan om cirka 10 %.



Så tycker cirkulärenten: “Cirkulärt säger du? Det har jag inte tänkt på. Jag tycker det känns härligt att flytta in i ett nybyggt hem med direkt access till trädgården. Det är så klart positivt att ni tänkt till så att jag kan leva hållbarare utan ansträngning - men det tar jag egentligen för givet!”



Reclaimed wood, Burntwood.dk



Solpanel; Nyedal solenergi.



Kök Ikea Kungsbacka



Reform kitchen, Up by Lendager





Justerat hus “Cirkulärt med hantverk”

Den andra varianten av vår testbädd kallar vi ”Cirkulärt med hantverk” här behålls originalhusets planlösning men fönsterstorlekar tillåts variera i viss mån för att möjliggöra återbrukade fönster. Fasaden består här av återbrukat spillträ som rekonditioneras och taket utgörs av återbrukat taktegel.

Cirkulär BAS: Loggbok, cirkulära instruktioner till de boende, materialinventering i närområdet och i eget renoveringsbestånd.

Cirkulära arkitekturgrepp: Golv läggs flytande och under inredning. Fast inredning minimeras.

Grund: Koljern platta på mark.

Stomme: Minst klimatförbättrad betong och skrotbaserad armering. Ev. håldäcksbjälklag/hampakalk.

Fasad: Fasad av spillträ - som rekonditioneras och sätts i ramar alt repetitivt mönster.

Fönster: Återbrukade, ommålade fönster. Ökad tidsåtgång och lagring.

Tak: Återbrukade tegeltakpannor. Lägre pris än betongtakpannorna, men ökad arbetsinsats för inventering, transport och ev. mellanlagring.

Trappa: Återbrukad trappa, spiral eller rak. Rekonditionering krävs sannolikt i form av slipning, målning och ev. byte av räcke för gestaltning.

Golv: Egentillverkade slipbara massivträgolvs av återbrukat trä, läggs flytande. Klinker ex. Si-lestone eco (50 % återvunnet material) alternativt ersätts klinker av ”reclaimed” tegelgolv från Stiltje eller likvärdigt.

Innerväggar: Byts till biobaserade alternativ samt isolering med högre andel återvunnet vilket ger lägre klimatpåverkan.

Dörrar: Återbrukade dörrar väljs, med eller utan rekonditioneringsbehov i form av slipning och ommålning. Inköpspris för dörrar minskar medan arbetskostnad för rekonditionering, transport och lagerhållning ökar.

Kök: Stomme och luckor av massivträ. Luckor tåls att målas om och bytas ut. Stommen är gedigen, hållbar och kvalitativ. Bänkskivor av återbrukat trä, alt. rekonditionerat återbrukat trä ex. Reform kitchen by Lendager.

Klimatpåverkan från huset minskar med cirka 20 000 kg CO₂. Det motsvarar en minskning av cirka 48 kg CO₂ per m² Atemp, vilket motsvarar en minskning av klimatpåverkan om cirka 15 %.



Så tycker cirkulanten: *“Jag gillar husets patina och valet av naturmaterial. Det känns skönt att veta att mitt nya hem inte bidragit till onödigt mycket klimatpåverkan.”*



Parti återbruk tegel



Elit fönster, CCbuilt.se



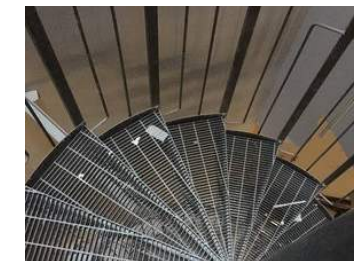
Fasad spillträ



Inspo, rekond trappa



Reclaimed fishbone, Stiltje



Trappa, Kompanjonen



Golv i massivträ, furu



Kök i massivträ, Picky living



Justerat hus “Design för återbruk”

Den tredje varianten av vår testbädd kallar vi ”Design för återbruk” här behålls originalhusets planlösning men innervägg typ 01 och 02 utförs demonterbara för möjlig personifiering. Då fönstersättningen dock bibehålls är den faktiska flexibiliteten endast något högre än i originalhuset avseende rumsbildning.

Cirkulär BAS: Loggbok, cirkulära instruktioner till de boende, materialinventering i närområdet och i eget renoveringsbestånd.

Cirkulära arkitekturgrepp: Golv läggs flytande och under inredning. Fast inredning minimeras. Material väljs för möjlig demontering efter dess användningscykel för att behålla värden i materialet till nästkommande användningscykel.

Grund: Koljern platta på mark.

Stomme: Prefabelement i klimatförbättrad betong med möjlig demontering. Håldäcksbjälklag för minskat resursuttag och möjlig demontering.

Fasad: Skiffer, ex. Komproment, demonterbara system. Lång livslängd, minimat underhåll och demonterbart med Komproment ”svarta låda - instruktion för demontering och återbruk”.

Fönster: Demonterbara fönster, ex. Velfac demonterbara fönsterkassetter.

Tak: Skiffer, ex. Komproment demonterbara system med möjlighet till integrerade solceller. Alt. Prefa tak i återvunnen aluminium, 100 % återvinningsbart.

Golv: Flytande, klickparkett utan lim, läggs även i hall. Badrum, material med hög andel återvunnet, ex. Silestone eco (50 % återvunnet material) eller Atlas Concorde med keramiskt återvunnet material.

Innerväggar: Innervägg typ 01 och 02 byts till demonterbara alternativ ex. Gyproc XR systemvägg, eller Timbro TM systemvägg.

Dörrar: Återbrukade dörrar väljs, med eller utan rekonditioneringsbehov i form av slipning och ommålning. Inköpspris för dörrar minskar medan arbetskostnad för rekonditionering, transport och lagerhållning ökar.

Kök: Kök utförs som lös inredning, ex. med Annex.de.

Klimatpåverkan från huset minskar med cirka 15 000 kg CO₂, likt det ”Färdigt cirkulärt”. Det motsvarar en minskning av cirka 35 kg CO₂ per m² Atemp, vilket motsvarar en minskning av klimatpåverkan om cirka 10 %.



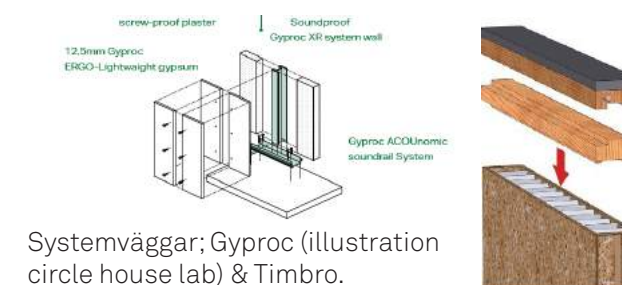
Så tycker cirkulanten: “Visste ni att jag kan byta ut en del av min fasad till solceller om jag skulle vilja? Coolt va? Jag tycker om att köket är fristående från väggarna - det är snyggt - och vem vet, om jag tröttnar kanske jag byter kök med grannen i helgen?”



Plåttak, Prefa.



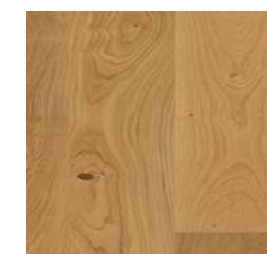
Referensbild; Fasad och tak i skiffer. cupadanmark.com



Systemväggar; Gyproc (illustration circle house lab) & Timbro.



Kök, lös inredning. Annex.de

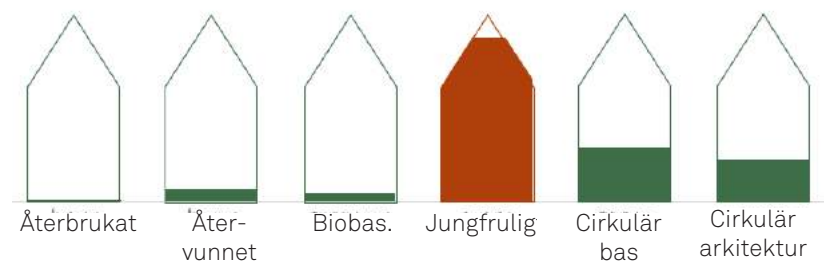


Klickparkett, Forbo flooring.



Klickparkett, Forbo flooring.

Justerat hus “Färdigt cirkulärt”



Byggnadens cirkularitet ökar jämfört med originalhuset, andelen biobaserade material är ungefär de samma medan återvunnet material och den cirkulära basen och arkitekturen ökar något. Vinsten i klimatbesparing visar sig tydligare än den ökade cirkulariteten.

Klimatpåverkan från huset minskar med cirka 15 000 kg CO₂ totalt, främst på grund av grönare alternativ i stommaterialet med klimatförbättrad betong och skrotbaserad armering. Minskningen per m² Atemp är ungefär 35 kg CO₂. Klimatberäkningarna är gjorda med generiska data i BM.



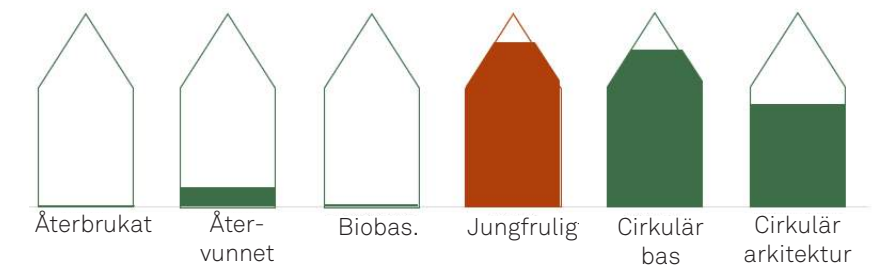
Justerat hus “Cirkulärt med hantverk”



Byggnadens cirkularitet ökar jämfört med originalhuset, och det ”Färdigt cirkulära huset”. Att fasad och tak är återbrukat visar sig i stapeln till vänster. Att den cirkulära basen och arkitekturen stiger beror i stort på materialval med hög kvalitet, för möjligt underhåll och rekonditionering.

Klimatpåverkan från huset minskar med cirka 20 000 kg CO₂. Det motsvarar en minskning av cirka 48 kg CO₂ per m² Atemp. Klimatberäkningarna är gjorda med generiska data i BM samt med antagande enligt ”simpler cut off” utan tillägg för klimatpåverkan från rekonditionering. Klimatpåverkan från transporter finns med i klimatberäkning för återbrukat material, men är antagna till samma utsläpp som för originalhuset.

Justerat hus “Design för återbruk”



Byggnadens cirkularitet höjs till följd av design för återbruk främst inom den cirkulära basen och den cirkulära arkitekturen.

Klimatpåverkan från huset minskar med cirka 15 000 kg CO₂, likt det ”Färdigt cirkulärt”. Det motsvarar en minskning av cirka 35 kg CO₂ per m² Atemp. Klimatberäkningarna är gjorda med generiska data i BM samt med antagande enligt ”simpler cut off” utan tillägg för klimatpåverkan från rekonditionering. Klimatpåverkan från transporter finns med i klimatberäkning för återbrukat material, men är antagna till samma utsläpp som för originalhuset. För taket har klimatpåverkan från solceller varit svårt att hitta data för, då energianvändningen ej är inräknad och klimatpåverkan inklusive driftperspektivet ej låter sig göras. Klimatpåverkan från taket har antagits till det samma som i originalhusets takpannor i betong.

3. Maxad testbädd





Maxad testbädd

I den maxade testbädden har vi utgått från grunderna i cirkulär ekonomi genom att eftersöka en balans mellan maximerad livslängd, minimerat resursuttag och noll avfall. Vi har hållit oss till ett marknära boende men i övrigt gjort stora avsteg från originalhuset.

Cirkulär BAS: Då det maxade huset ännu bara är ett koncept har ingen regelrätt loggbok skapats, dock har byggvarudeklarationer och EPD:er för föreslaget material dokumenterats. Då projektet är fiktivt och platsoberoende så har heller ingen materialinventering skett.

Flexibilitet: I det maxade huset har vi eftersökt en maximerad flexibilitet för att tillmötesgå varierande behov hos de boende. Byggnaden är därför anpassad till varierande användning och nya förutsättningar. Varianter av husets planlösningar hittar du på sidan 40-50.

Elasticitet: För att möjliggöra en elastisk användning av byggnaden finns bäring i yttervägg och bjälklag samt flera möjliga dörrlägen i fasad för att skapa elasticitet över tid. Där en yta kan tillfalla en bostadsenhet eller i sig självt utgöra en lokal eller bostad.

Generalitet: Fasaden utformas repetitiv och med generella mått för att minimera avfallsmängder och maximera valmöjligheten avseende fasadmateriäl. Huset har utformats för att möjliggöra för olika takutformningar och därigenom skapas även en valmöjlighet avseende takmaterial (se bilder på

nästa sida). Generalitet i sektion har skapats genom rumshöjder om 2715 mm, se sid. 43. Detta ger en generell utformning som ger möjlighet till flexibel användning över tid.

I det maxade huset har en mycket flexibel planlösning eftersökts. Generella, oprogrammerade rum kan även det bedömas vara en lika god cirkulär lösning. I vår plans grundutförande återfinns generella mått, men för de alternativa planerna skapas en maximerad flexibilitet.

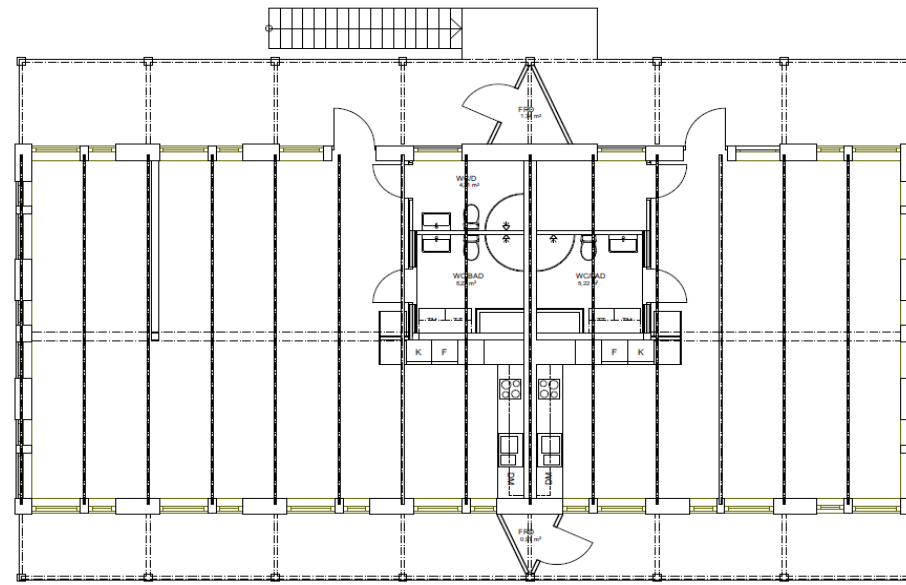
Grund: För grundläggning väljs Koljern platta på mark för låg klimatpåverkan men minimerad risk för fuktskador på trästommen. I inledande

skede diskuterades möjlighet till plintgrund men efter avstämning med träbyggnadskonstruktör valde vi bort det pga. fukt och radon, dock kan lösning med plint undersökas vid ev. framtida mer detaljerad studie.

Stomme: I det maxade huset används KL-trä och limträbalkar i stomme och bjälklag. Tak- och mellanbjälklag förstärks med en varsin stål-balk för att möjliggöra stor flexibilitet i planlösningar. Trä och balk monteras mekaniskt. Trät med vinkeljärn för att synliggöra de mekaniska skarvarna vid en framtida möjlig demontering av stommen.



Fasad: För maximal möjlighet till återbruk både i byggskede samt i ett eventuellt ombyggnads- eller demonteringsskede har en repetitiv måttkedja sökts i fasad. Undersökningen resulterade i ett 1 460 mm grid som möjliggör stor flexibilitet i planlösningen samt flexibilitet i fönsterbredder. Träpanel bibehålls som fasadmateriäl för ett lugnt grunduttryck som tillåter varierande fönsterstorlekar och utfyllnadsmateriäl i resterande öppningsdel. Träpanelen står för en mycket liten viktandel samt del av klimatpåverkan i originalhuset, så nyttjande av återbrukade fasadmateriäl ger liten effekt på klimatpåverkan och CIX.



Repetitiv måttkedja i fasad.

Tak: Takstolarna i det maxade huset är enhetliga, vilket är attraktivt vid ett framtida återbruk. Genom att balkongerna följer långsidorna kontinuerligt möjliggörs även en flexibilitet i val av takform. Huset kan gestaltas med platt tak, sadeltak eller pulpettak efter behov och önskemål. För minimerat materialuttag föreslås valmat tak i den maxade testbädden.

Nockhöjden är något högre än i originalhuset (270 mm). Det valmade takets lutning på 6 % är något flackt för återbrukade taktegelpannor. Då Riksbyggen har beslut om solceller på sina tak och då egenproducerad energi går helt i linje med den cirkulära ekonomins principer föreslås solpaneler på taket. Även Prefas tak i återvunnen aluminium kan vara ett alternativt takmaterial. Se några olika takutformningar nedan.

Balkonger: Föreslås längs hela fasaden på byggnadens långsidor och fungerar som solskydd vid maxade fönsterstorlekar. Balkongräcken utformas med återvunnet/återbrukat/biobaserat materiäl utifrån tillgång.



Nuvarande förslag i maxad testbädd, valmat tak med minimal taklutning. Pergola vid balkonger.



Pulpettak med 5 graders lutning, utan tak över balkonger.



Valmat tak med minimal lutning, med överhäng. Utan pergola men med skärmtak över entrén.



Platt tak med överhäng och takfot med överhäng, taket går över balkongerna.



Sadeltak, 30 graders lutning, med tak över balkonger.



Sadeltak, 40 graders lutning, utan tak över balkonger.



Trappa: Återbrukad trappa, spiral eller rak. Rekonditionering krävs sannolikt i form av slipning, målning och ev. byte av räcke för gestaltning.

Dörrar: Återbrukade dörrar väljs, med eller utan rekonditioneringsbehov i form av slipning och ommålning. Inköpspris för dörrar minskar medan arbetskostnad för rekonditionering, transport och lagerhållning ökar. Dörrar prestandatestas om de ej är CE-märkta.

Innerväggar: Samtliga väggar i den maxade testbädens grundutförande är fasta. Övriga väggar utförs flexibla (bild till höger). De flyttbara väggarna föreslås med träregel och skiva (ex. spånskiva Novopan 70 % återbrukat trä, alt. plywood eller gips) med cellulosaisolering emellan. Väggar i grundutförandet föreslås med hög andel återvunnet innehåll.

Golv: Flytande golv i återbrukat trä.

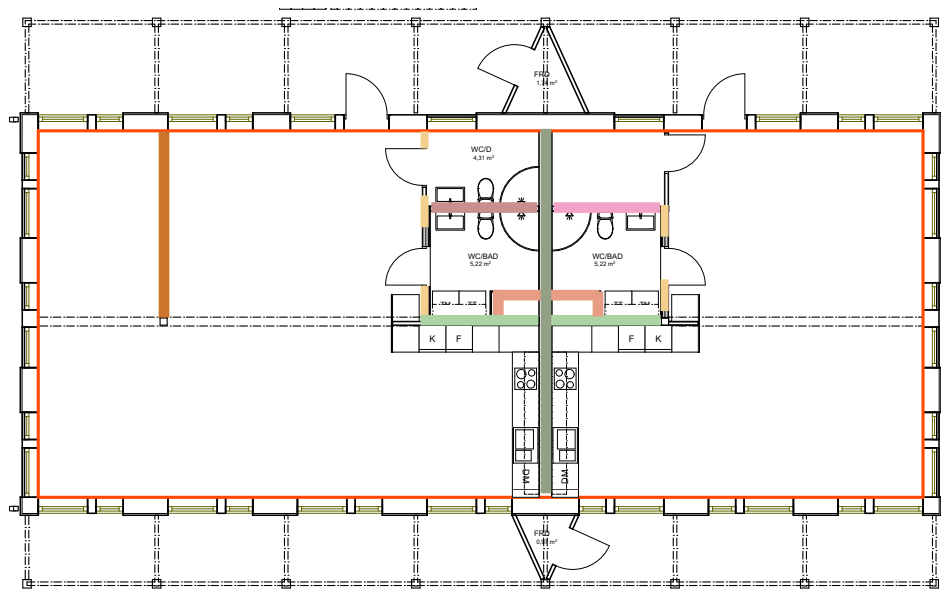
Kakel: Material med hög andel återvunnet, ex. Silestone eco eller Atlas Concorde är den första producenten (hög andel återvunnet material). Kakel utgör en relativt stor viktandel av innerväggar med kakel och får stor påverkan på cirkulariteten.

Kök: För kök väljs en gedigen stomme som håller över tid, med minimimått enligt Svensk standard. Luckor går enkelt att anpassa genom utbyte eller omlackering. Om fler arbetsytor i kök önskas kompletteras det med köksö. Kök kan även testas att utförs som lös inredning, ex. med Annex.de eller med Puustelli Miinus kök enligt cirkulära designprinciper.

Badrum: Utrustas med kombimaskin för att spara resurser och plats. Kakel med hög andel återvunnet material, ex silestone eco. Framgent kan även möjlighet till minskad andel kakel i badrum undersökas som lösning för minimerat resursuttag, men detta är något vi ej undersökt här.

Inredning: Bortsett från kök och badrum/WC undviks inredning. Här ges den boende istället möjlighet att själv välja sin inredning och inredning kan tas med av de boende vid flytt.

Installationer: Alla el-installationer dras i ytterväggar. Antal eluttag planeras efter maximerat antal rum.



Standardutförande och innerväggar

15 brandgips	13 gips
130 KL-trä	70 träregel vertikala
10 luftspalt	Isolering, cellulosa
70 Träregel med mineralull	15 plywood
15 Plywood	13 gips
15 Brandgips	20 kakel
13 gips	13 gips
130 KL-trä	12 plywood
13 gips	45 regel och isolering cellulosa
13 gips	12 plywood
15 plywood	13 gips
70 träregel	8 kakel
8 kakel	13 gips
13 gips	120 träregel isolering cellulosa
12 plywood	15 plywood
45 regel mineralull	13 gips
12 plywood	16 kakel
13 gips	
8 kakel	

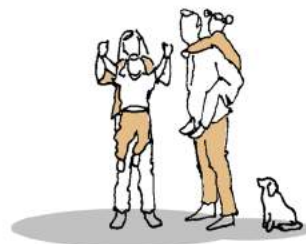
Förutsättningar för mer cirkulär rumsbildning

En av grundpelarna i cirkulär ekonomi är att förlänga livslängden på det som byggs.

I testbädden ville vi undersöka om det går att redan från början anpassa huset för hög anpassningsbarhet över tid. Kan samma lägenhet tillåta att man:

- Gör om hela planet till gruppboende eller kollektiv?
- Gör sovrummen lika stora och sätta in fler toaletter för att skapa mindre kompisboenden?
- Delar av lägenheten för att hyra ut vissa delar?
- Delar av stora rum för att skapa fler små?
- Ombildar lägenheten till lokal?
- Öppnar upp och gör planlösningen luftigare?
- Disponerar om lägenheten till generationsboende?

Den här 4:an
passar för
oss!



Den här 2:an
passar för
oss!

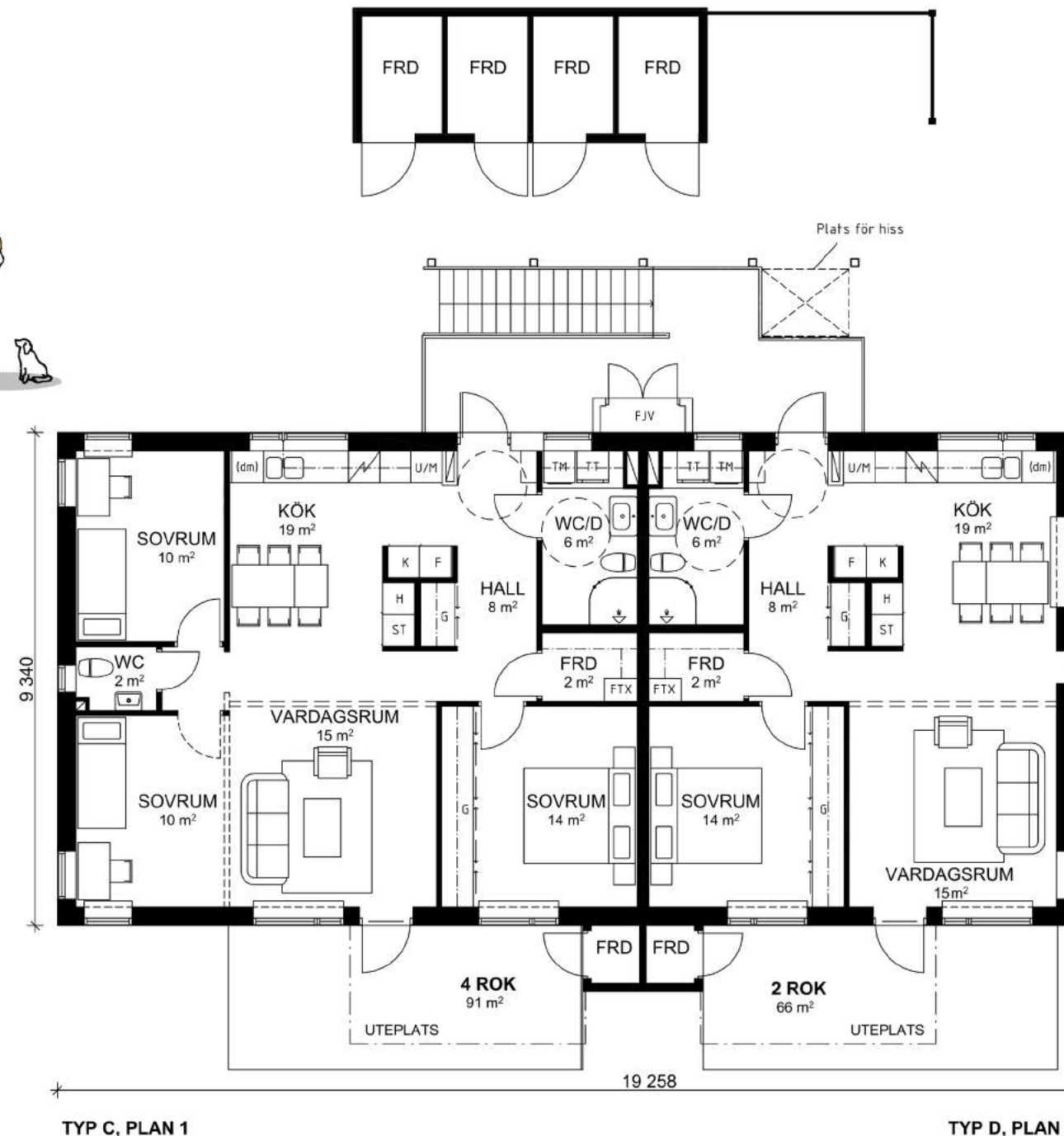


Hur fungerar planlösningarna idag och för vilka människor är de planerade?

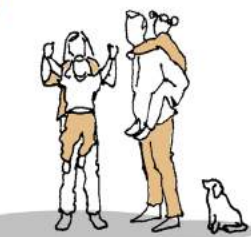
Originalhuset innehåller 4 lägenhetstyper som har analyserats och anpassats efter CIX principer, men för det maxade huset har vi avgränsat studien till två lägenhetsstorlekar: 4 rok om 92 kvm samt 2 rok om 66 kvm. Planer från typhus C och D har teoretiskt slagits ihop för att redovisa hur en grundplan skulle kunna se ut. En 3:a och en 3,5 med samma principlösningar för kök och badrum förekommer egentligen ihop med dessa lägenhetstyper, där wc och sovrum intill köket i 4:an plockats bort.

Planlösningen har många välfungerande och goda kvaliteter som såsom:

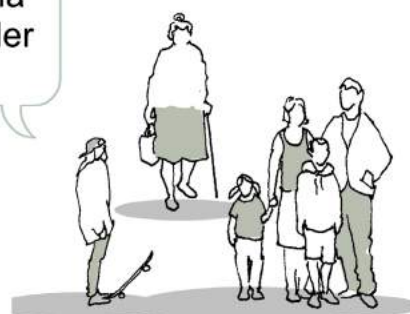
- Rymliga rum med väl tilltagna ytor, vilket gör det enkelt att bo kvar över tid och få plats i flera konstellationer.
- Välfungerande planer för tänkta målgrupperna familjen (4pers) resp. paret (2 pers).
- Samma kök- och badrumstyper för samtliga lägenhetstyper, resten av rummen blir tillägg. Det maximerar planernas flexibilitet och möjlighet att minska eller expandera i lägenhetens storlek och antal rum utan att behöva byta ut fasta delar.
- Viss flexibilitet med till- och frånvalsväggar i vardagsrum för att kunna dela av eller öppna upp i 4 rok.
- Utvändiga förråd mot fasad som delar av uteplatser.



Den här 4:an
passar för
oss!



Vi vill kunna dela
av rum och få fler
sovrum!



Vi vill bo
tillsammans i
ett kollektiv

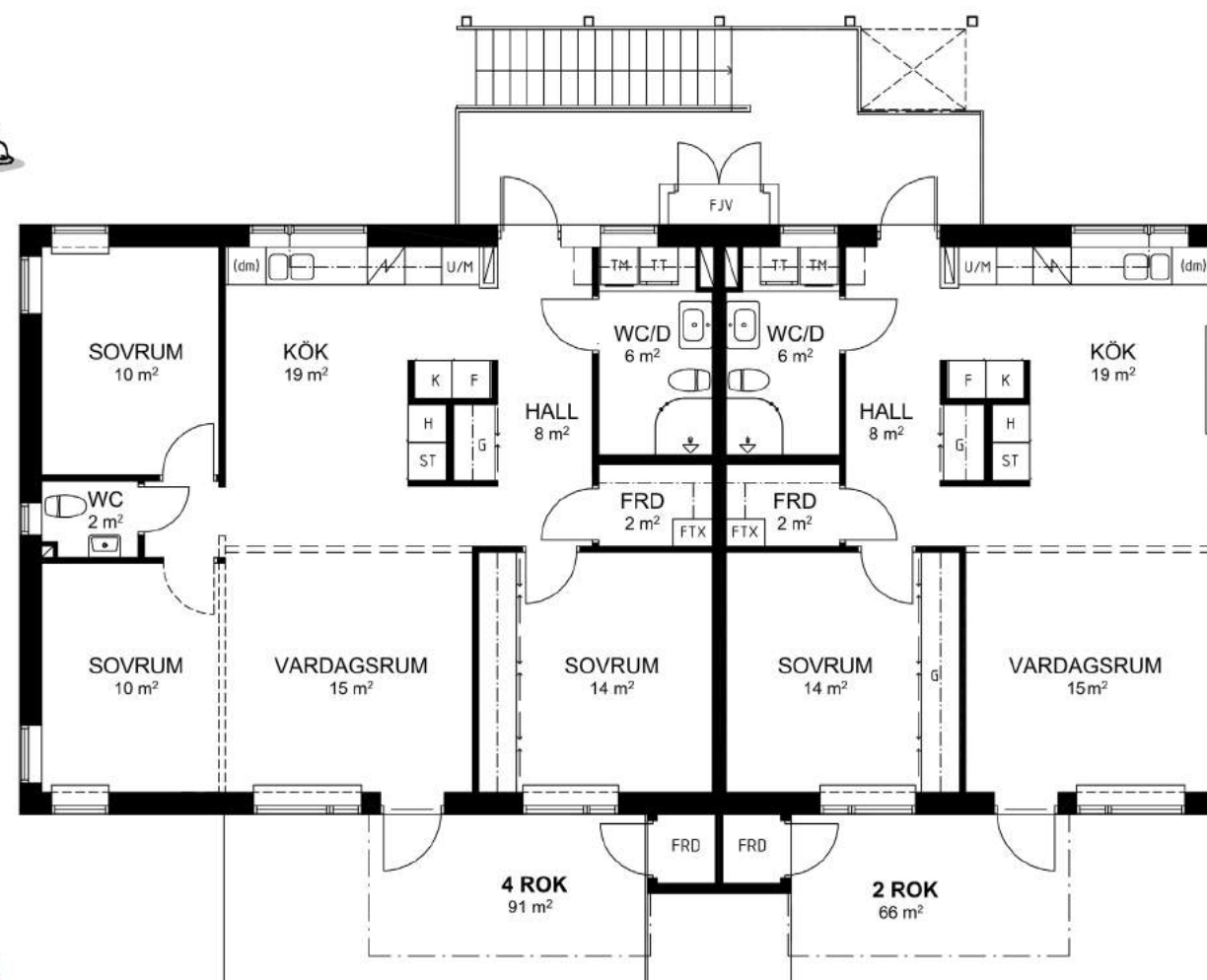
Den här 2:an
passar för
oss!



Vi vill ha
öppen
planlösning
med ett
stort luftigt
allrum!



Jag vill bo i en liten
del och ha mitt
utökande kontor i den
andra halvan!



Vi vill ha
två lika
stora
sovrum!



Jag vill hyra
ett rum med
eget pentry
och wc!

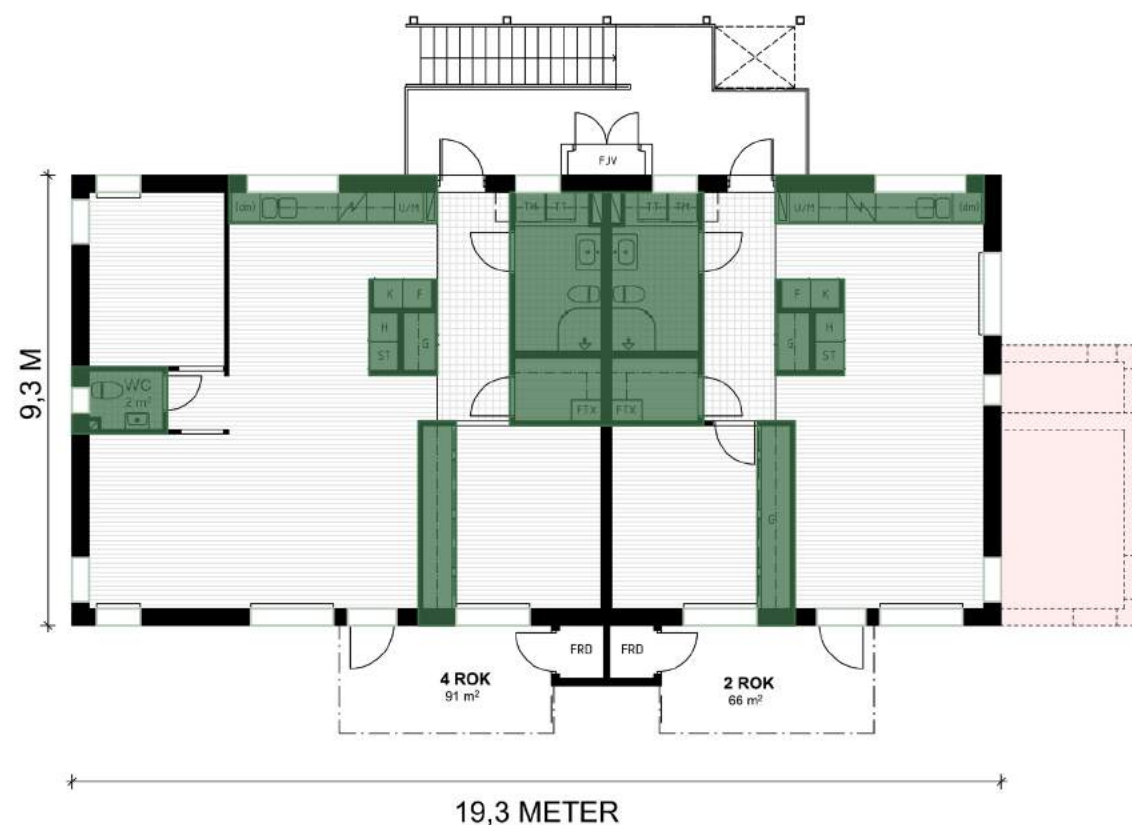


Vi vill ha små
sovrum till
våra barn!

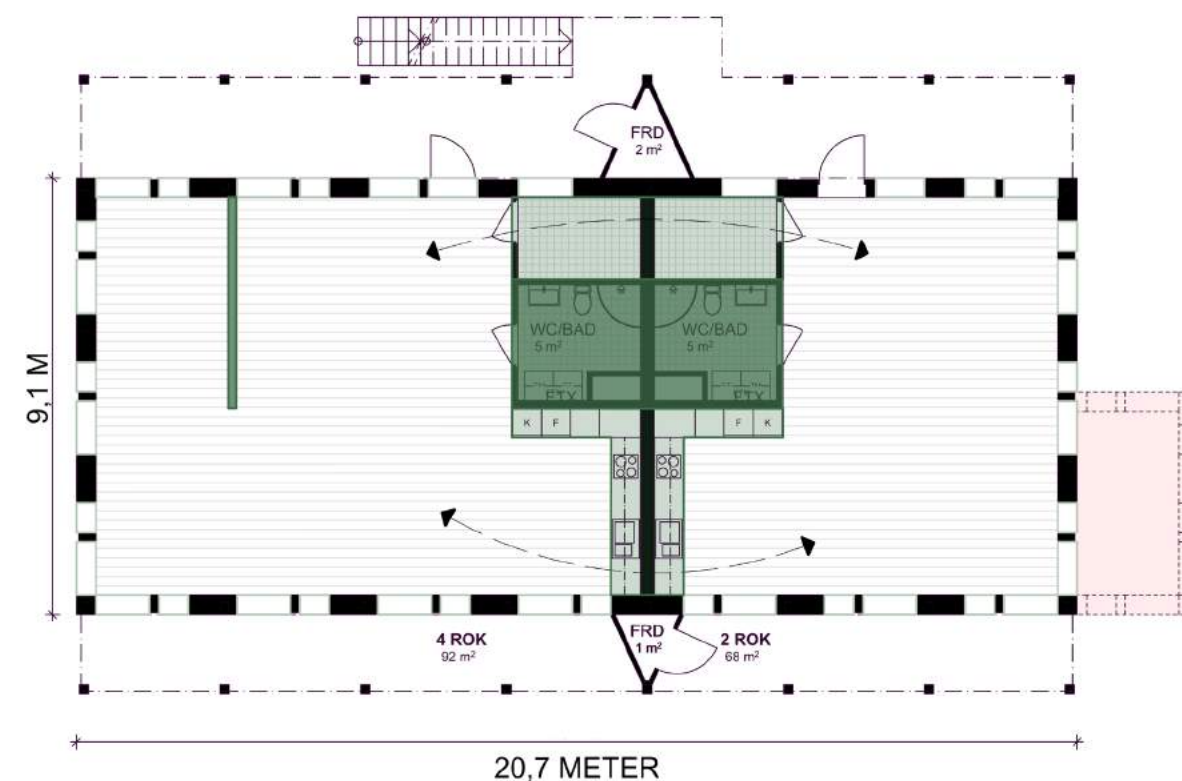


En av oss har blivit
av med jobbet men
vi vill kunna bo kvar
och hyra ut en del!

Total BOA 157 kvm



Total BOA 160 kvm



- LÅST YTA
- MÖJLIG JUSTERING AV YTA
- MÖJLIG UTBYGGNAD FÖR 3 ROK

Flexibla grepp

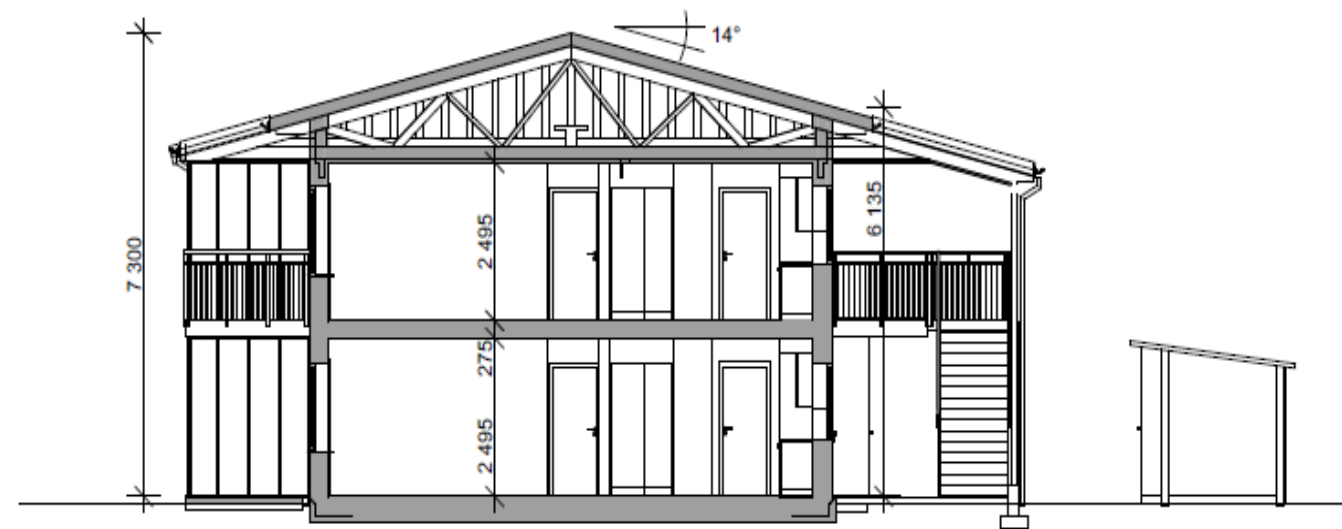
I avhandlingen Dwelling in time (A Braide, 2019) från Centrum för boendets arkitektur, tidigare nämnd, beskrivs utformningen av anpassningsbara lägenheter genom de tre begreppen: flexibilitet, generalitet och elasticitet. Hur väl en bostad uppfyller dessa aspekter är viktigt för att skapa en hållbar bostad över tid. Studien "Arkitektur, materialflöden och klimatpåverkan i bostäder" (Femenías, Holmström, Jonsdotter & Thuvander, 2016). betonar också att ett hushålls förmåga att anpassa sin lägenhetslayout bidrar till den boendes tillfredsställelse av bostaden. För att i det maxade huset ge förutsättningar till en anpassningsbar och oprogrammerad yta som kan förändras med sina boende har:

- Kök och badrum samt ett sammanslaget schakt koncentreras till byggnadens kärna/ lägenhetsavskiljande vägg för att frigöra fasadyta till rum som kräver dagsljus.
- Antalet lösa och fasta garderober minimeras. I stället planeras tillräckligt stora klädkammare och utvändiga förråd.
- För kök väljs en gedigen stomme som håller över tid. Luckor går enkelt att personifiera genom att byta ut eller omlackera.
- Precis som i originalhuset är kök och badrum stora nog för fyra personer i alla lägenhetstyper. Det gör det enkelt att lägga till ett rum i 2:an/ ta bort ett rum från 4:an om man vill skapa en 3:a. Möjlighet till ytterligare arbetsyta i kök genom komplettering med köksö gör att antalet boende kan ändras över tid och få plats.
- Massiva trägolvsom kan slipas många gånger läggs flytande i hela lägenheten där det är möjligt, även under fast inredning och köksinredning.
- Den bärande innerväggen kan öppnas upp och köket disponeras om för att skapa ett stort sammanhängande våningsplan, vid framtida eventuell omprogrammering av bostadsytorna.
- Bärande innerväggar som låser planen minimeras. I det maxade huset har en trästomme med pelare valts istället för betong och stålkonstruktion för att minska klimatpåverkan. Bärning av bjälklag och tak har dock kompletterats med en stålbalk för att maximera flexibiliteten i plan, vilket redovisas på följande sidor.
- Fasaden är väl genomtänkt med en generell och repetitiv fönstersättning, samt betydligt fler fönster för att kunna dela av rum.
- Fönsterbredderna är i standardmått, och kan även bytas till dörrar för att möjliggöra för fler entréer vid behov.
- Lägenheter på bottenvåning kan delas av med uthyrningsdel.
- Huset har blivit något längre och smalare än originalhuset vilket ger mer fasad och fler möjliga rum.
- Lägenheterna har som en konsekvens av detta blivit något större.

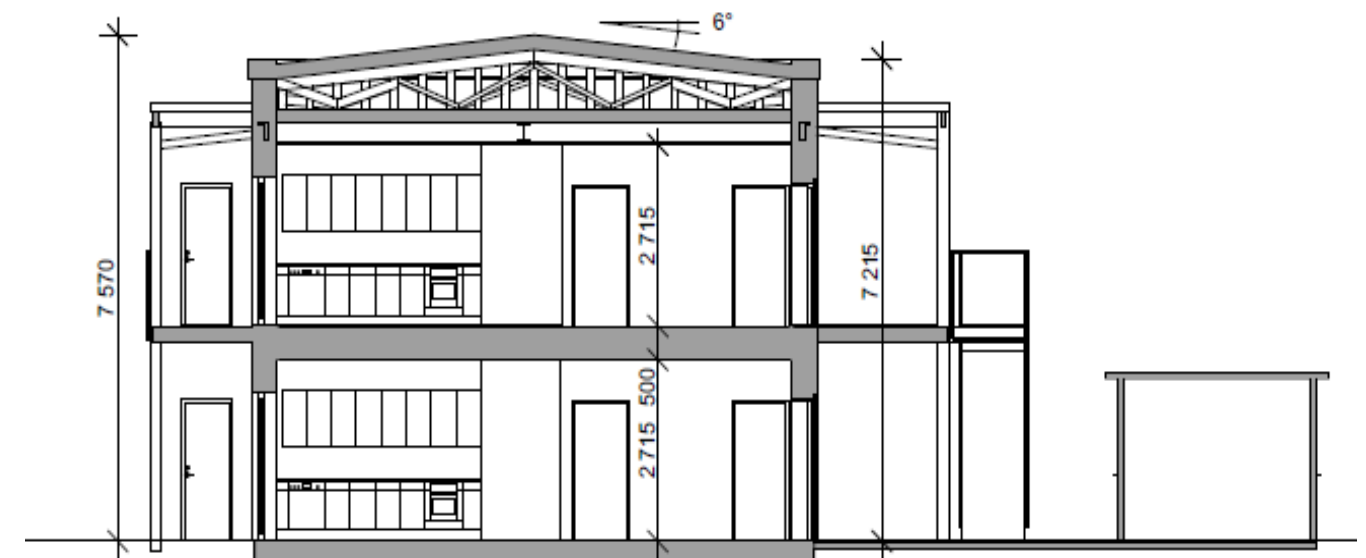
Flexibilitet i sektion

För att maximera flexibiliteten i form av bostadens framtida användning, tex omprogrammering från bostad till gruppboende eller lokal, så har vi även arbetat i sektion och höjt normalplanets våningshöjd från 2,50 till 2,70.

Högre rumshöjd ger också möjlighet att kunna bygga tex. loftsängar och förvaring i höjdlid vid behov.



Sektion originalhuset.



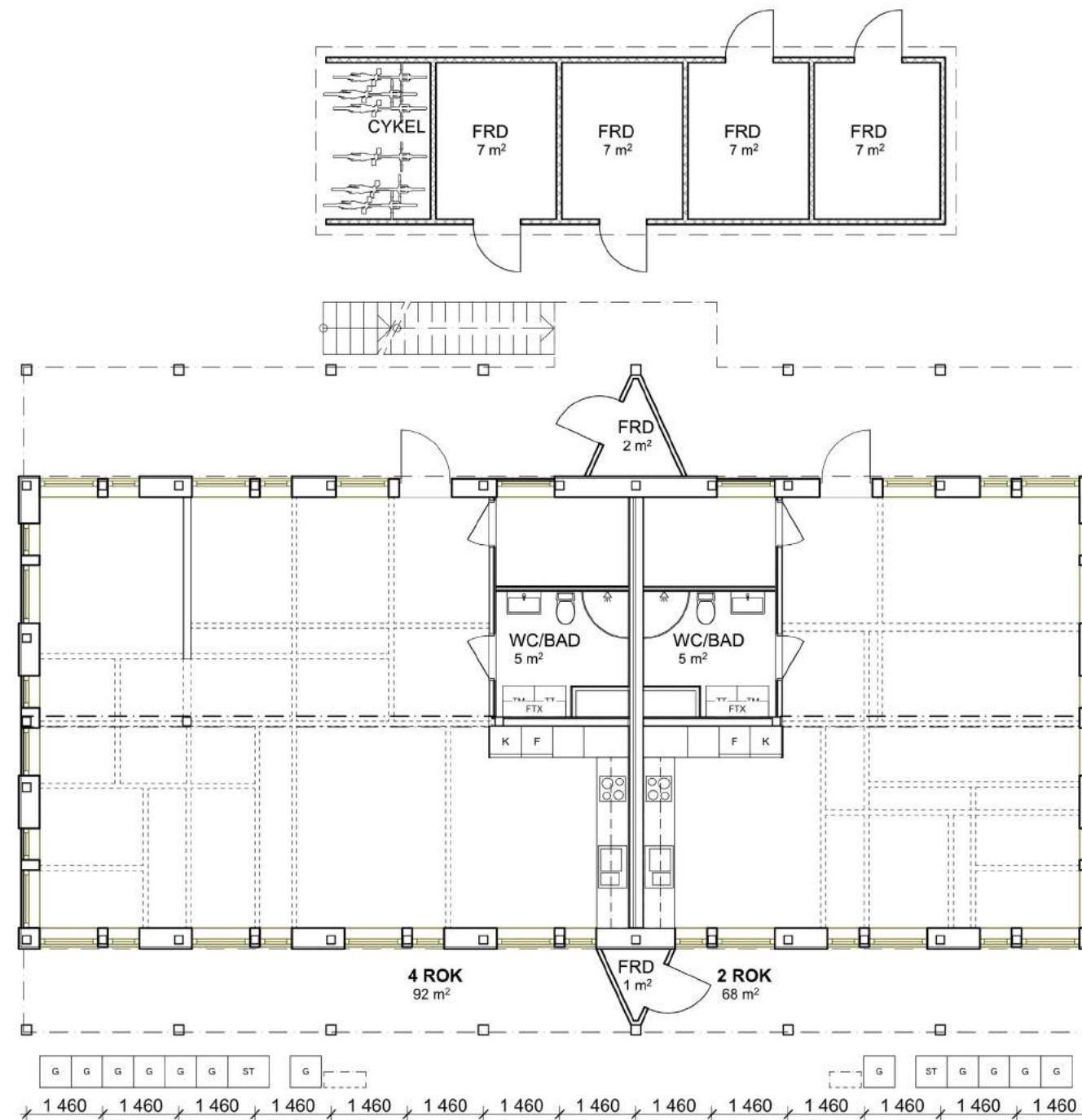
Sektion maxat cirkulärt hus.

Förutsättningar flexibel plan-layout

För att ge så flexibla planlösningar som möjligt har vi studerat ett flertal alternativa vägglägen i alla olika lägenhetstyper, och de streckade linjerna ni ser är ett exempel på vägglägen som är möjliga utifrån fönsterlägen och rumsfunktioner.

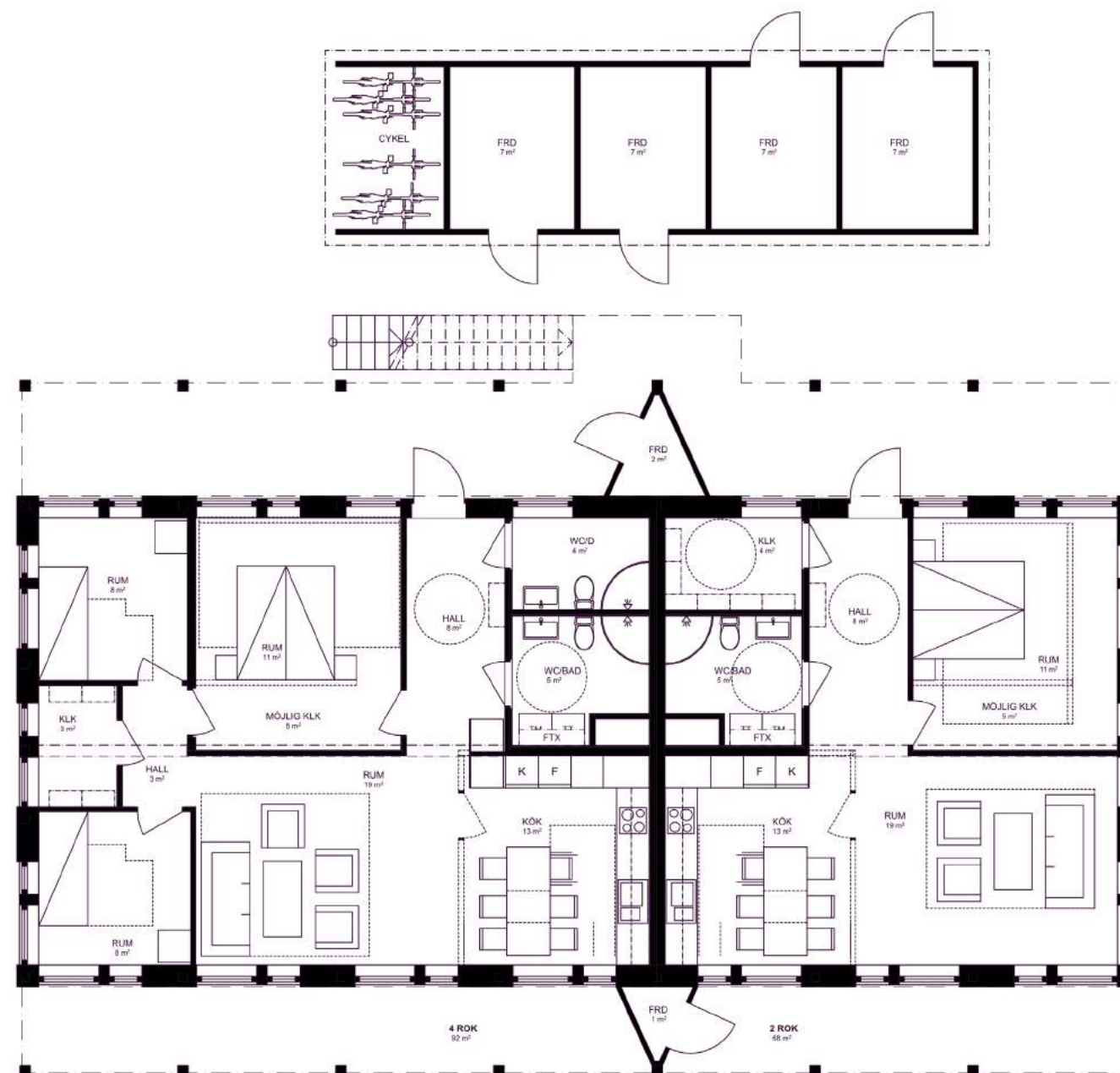
För att göra den flexibla plan-layouten möjlig krävs det att:

- Lösa innerväggar ska gå enkelt att flytta och montera, och kunna demonteras med minimal skada. Tex, med flytande golv under alla väggar.
- Alla el-installationer dras och förbereds i ytterväggarna. Antal eluttag planeras efter maximalt antal rum.
- Fönsterplaceringen är väl genomtänkt utifrån maximalt antal rum.



Standardplaner enligt SIS

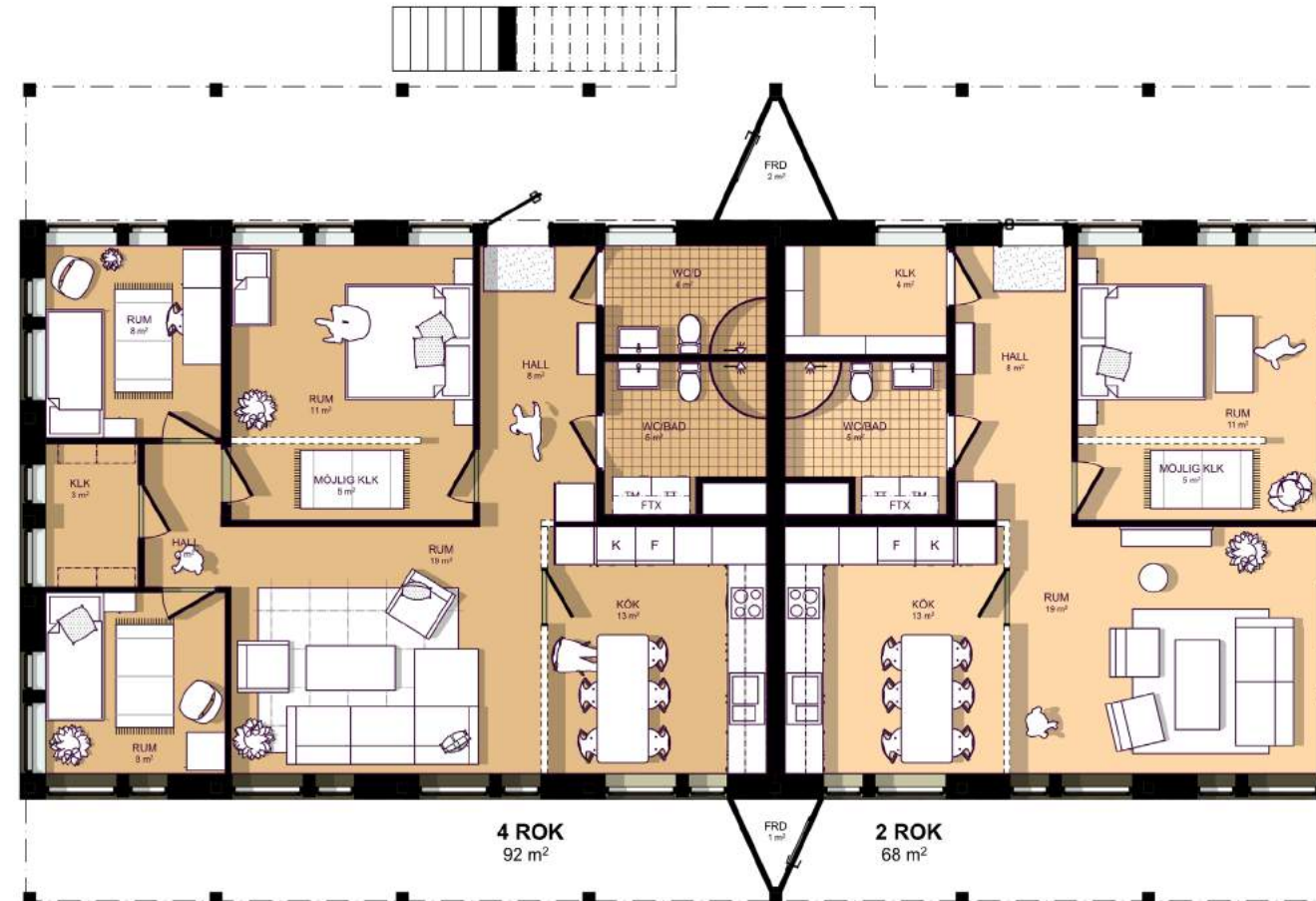
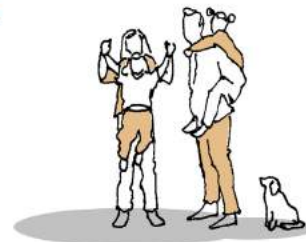
Varje lägenhet planeras med en standardplan enligt SIS med tillgänglig möblering och tillvalsväggar för ytterligare klädkammarförvaring och avgränsning mellan kök och vardagsrum.



4:an och 2:an

Samma standardplan som enligt SIS men med alternativ, tillgänglig möblering. Traditionellt planerade lägenheter likt originalhusets planer. Passar exempelvis "familjen" respektive "paret".

Den här 4:an
passar för
oss!



Den här 2:an
passar för
oss!

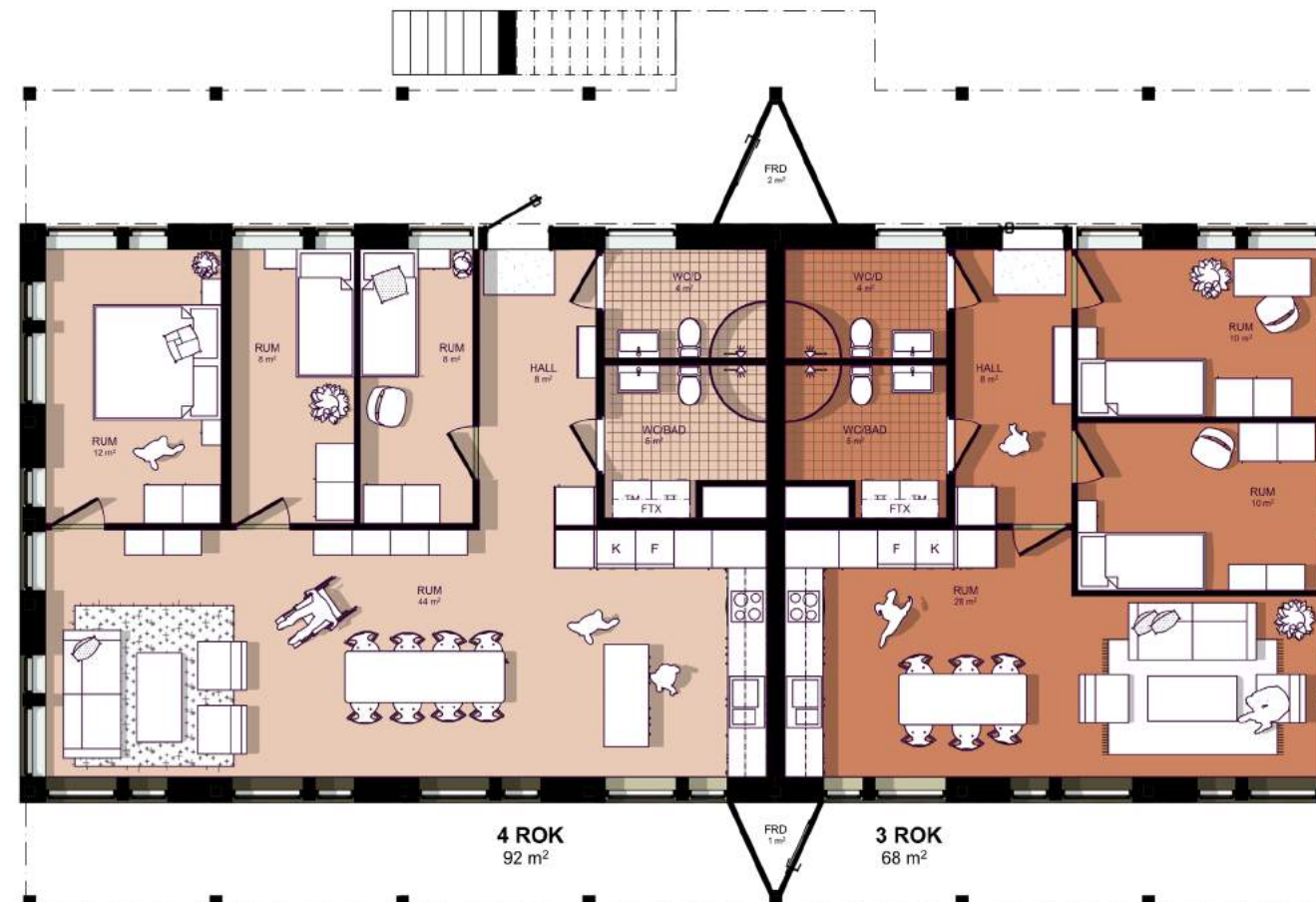


4:an och 2:an goes kompisboende

Fyran har gjorts luftigare med ett öppet allrum mot balkong eller uteplats.

Tvåan har gjorts om till kompisboende, med ett tillkommande badrum istället för klädkammare.

Vi vill ha
öppen
planlösning
med ett
stort luftigt
allrum!



Vi vill ha
två lika
stora
sovrums och
var sitt
badrum!

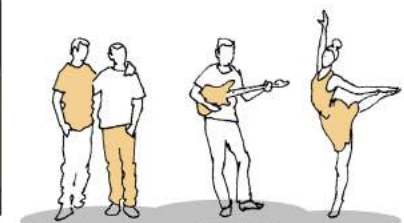
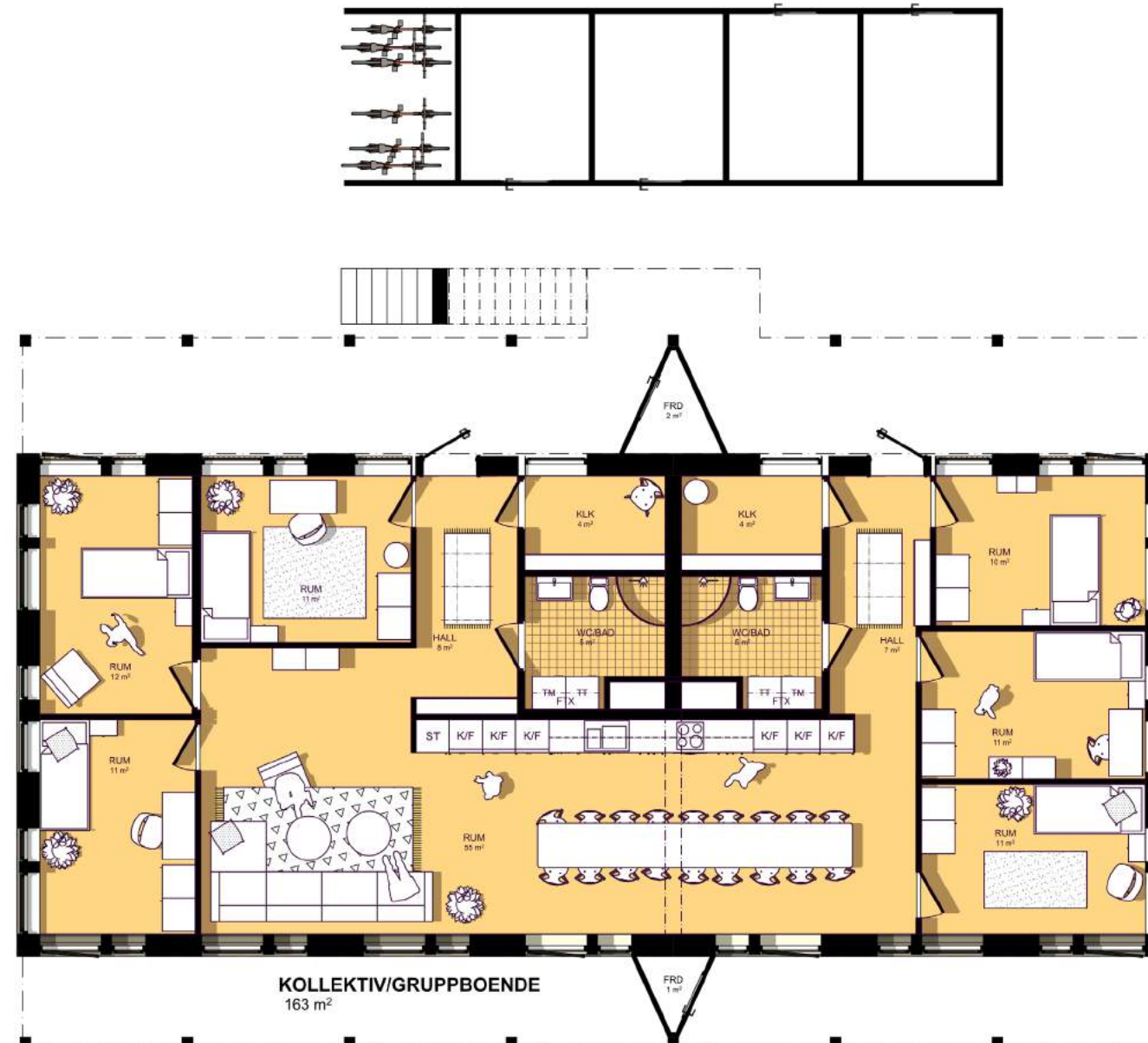


Vi vill bo tillsammans i ett kollektiv!



Kollektivet / Gruppboendet

Hela våningsplanet har slagits ihop till kollektiv med lika stora sovrum, som även rymmer tillgänglig sängplats med yta för vårdare om det skulle fungera som gruppboende istället.



Vi vill kunna dela
av rummen och få
fler sovrum!



Maxad plan

Fyran har gjorts om med maxat antal sovrum för tex många barn eller flera generationer / gästrum eller arbetsrum.

Tvåan har gjorts om till en "mini-4, 5:a". Klädkammaren kan även fundera som arbetsrum med dagsljusinsläpp.



Vi vill ha
fler små
sovrum
och ett litet
hemma-
kontor!





Cirkularitet och klimatpåverkan för den maxade testbädden

Den maxade testbädden har utformats för hög anpassningsbarhet över tid och därigenom potentiellt lång livslängd. Byggnaden är dessutom genom Koljern platta på mark och trästomme möjlig att demontera till stor del, även om vi hoppas att det inte skulle komma att behövas.

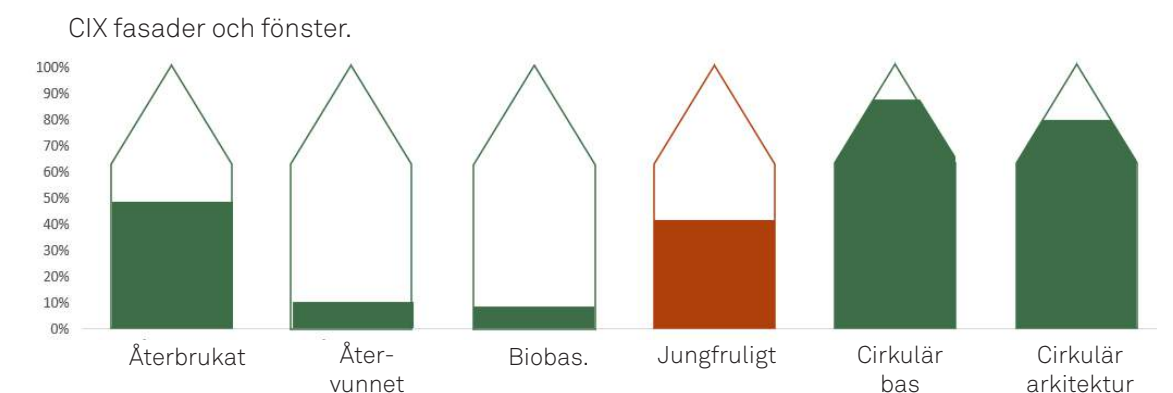
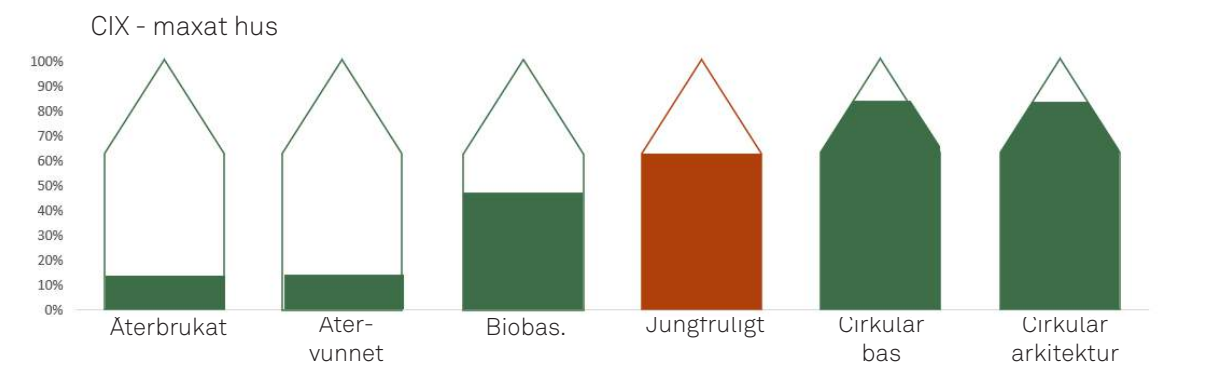
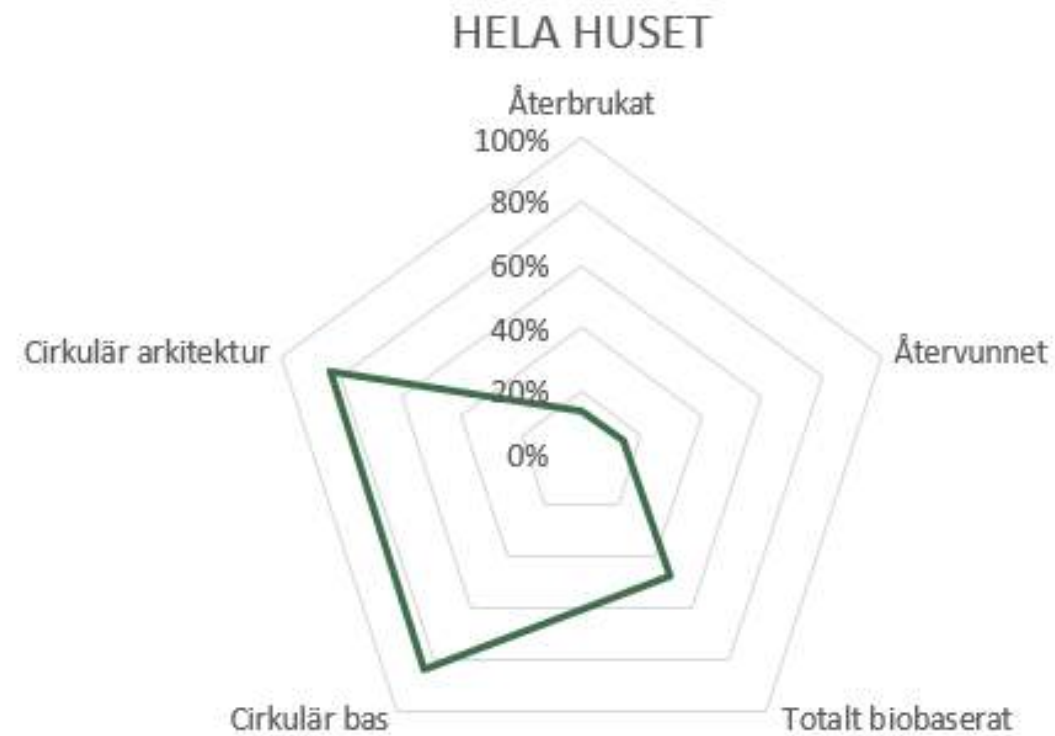
Trots att byggnaden anpassats enligt cirkulära principer, hög flexibilitet och högre invändig takhöjd skapas en byggnad med högre cirkularitet och lägre klimatpåverkan än originalhuset och de justerade testbäddarna.

Med åtgärderna i det maxat cirkulära huset uppnår vi cirka 50 % biobaserat material, strax över 10 % återbrukat och återvunnet material och ungefär 70 % jungfruligt material. Detta beror till stor del på att stommen står för en stor andel material i vikt och denna har vi inte föreslagit vara återbrukat eller återvunnen, däremot i trä det vill säga biobaserat material.

Ser vi till enskilda byggdelar kan vi uppnå en högre andel återbrukat material som till exempel för fasad och fönster där stor andel utgörs av återbrukat material i form av fönster.

Klimatpåverkan från det maxade huset landar på cirka 120 kg CO₂/m² Atemp jämfört med originalhusets 200 kg CO₂/m² Atemp (för A1-A3), exkl. installationer.

Att CIX-verktyget är uppbyggt så att redovisning per byggdel är möjlig är positiv då stommens vikt, om den ej är cirkulär slår ut resterande byggdelar trots hög andel återbrukat material. Lär mer om CIX-verktyget, dess viktning och ingående delar på efterföljande sidor.



4. CIX - verktyget

I byggbranschens omställning till fossilfrihet och klimatneutralitet ser vi cirkulära material och metoder som en viktig del av lösningen. I färdplanen för fossilfri konkurrenskraft i bygg och anläggningssektorn har vi som arkitekter, konsulter åtagit oss att föreslå och/eller föreskriva resurseffektiva lösningar med låg klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv samt skapa effektiva, flexibla planlösningar och demonterbara konstruktioner för att minska behov av nytt material vid ombyggnad eller underhåll. Och byggaktörer har åtagit sig att genomföra omställningen till en fossilfri och klimatneutral byggsektor. För att öka incitament och motivation att använda cirkulära material och metoder är definition, mätning och anpassning till byggnadsnivå en möjlig väg framåt.

Du hittar CIX-verktyget på: <http://www.hallbarbyggnation.se/>



4.1 Cirkulära mått och verktyg

Cirkularitet kan mätas på flera olika nivåer. Och det finns idag över 50 mått på cirkularitet. Flera av vilka utvärderats och sammanställts i "A metric for quantifying product level circularity" (Linder et. al. 2017). I detta projekt har några av de cirkulära måtten med särskild relevans för CIX studerats. Måtten MCI och C beskrivs översiktligt i följande avsnitt. Dessa mått kompletteras med en beskrivning av BAMB CBA (circular building assesment tool) en metod och ett verktyg för att utvärdera cirkularitet på byggnadsnivå.

Varför inte använda de som finns? När C eller MCI används på ingående material kan dessa absolut användas för att mäta byggnaders cirkularitet. Mål, upphandlingskrav och önskemål om ökad byggnadscirkularitet finns dock redan idag och vi hoppas att CIX kan fylla ett behov och utgöra en start på en mer detaljerad bedömning av byggnadscirkularitet med tydligt avstamp i hela den cirkulära ekonomins förklaringsmodell. På nästföljande sidor beskrivs måtten C, MCI och verktyget BAMB CBA särskilt.

$$C = \frac{\text{ekonomiskt värde av ingående cirkulära material i en produkt}}{\text{ekonomiskt värde av samtliga ingående delar i en produkt}}$$

Källa: RISE Viktoria- Sustainable Business (Marcus Linder, Steven Sarasini & Patricia von Loon)

C - Ett mått på produktcirkularitet

Mätning av produktcirkularitet som ett sätt att öka resursproduktivitet (RE:SOURCE 2018)

Måttet C är ett kvantitativt mått på produktcirkularitet som anger värdet av återcirkulerade delar dividerat med det totala värdet (SEK, %). Måttet har ett värde mellan 0- 100 %. C skattas som andelen av ett ting som har "cirkulerat", dvs lämnat en tidigare livsfas och gått in i en ny. En cirkulerad andel kan exempelvis vara stommen på ett lastbilsdäck som regummerats, vilket jämförs med tillfört primärt material så som slitbanan. (Re:source; 2018)

Måttet "C" tar hänsyn till hur stor andel av en produkt som består av material som cirkulerat och alltså använts tidigare och bygger på följande principer:

- Cirkularitet definieras som andelen av objektet som lämnat ett tidigare liv på marknaden.
- Andelar viktas baserat på ekonomiskt värde i respektive produkt delar, i praktiken skattat inklusive processkostnader för tex. insamling, inspektion, rengöring, sortering, etc. Men det väger också in värdet på det material som återanvänds i produkten vilket gör att återanvänd koppar ger ett betydligt högre cirkularitetsvärde än exempelvis samma mängd återanvänt träspån. (Re:source; 2018)

Genom att viktningen baseras på ekonomiskt värde så belönas så kallade tajta eller snäva cykler, ibland refererat till som att ligga högt på avfallstrappan. Exempelvis en startmotor som återtillverkas får i alla realistiska scenarion högre C-vär-

de än en startmotor som byggs med en viss andel återvunnet stål och koppar. Detta följer av att det ligger ett högre ekonomiskt värde i en redan formgiven startmotor med stora delar inbyggd energi än generiskt formgivna koppar och stålstycken som behöver formas till en startmotor genom arbetsintensiva, energiintensiva och avfallsgenererande processer. (Re:source; 2018)

C fångar ingående cirkularitet – inte vad som händer med produkter och relaterat materialflöde i framtiden. C exkluderar alltså utgående cirkularitet vid produktens livsslut. Måttet har testats av 18 företag där 14 av dessa kunde räkna fram värdet på den andel återanvänt material de har i en viss produkt. Detta jämfördes även med relativ

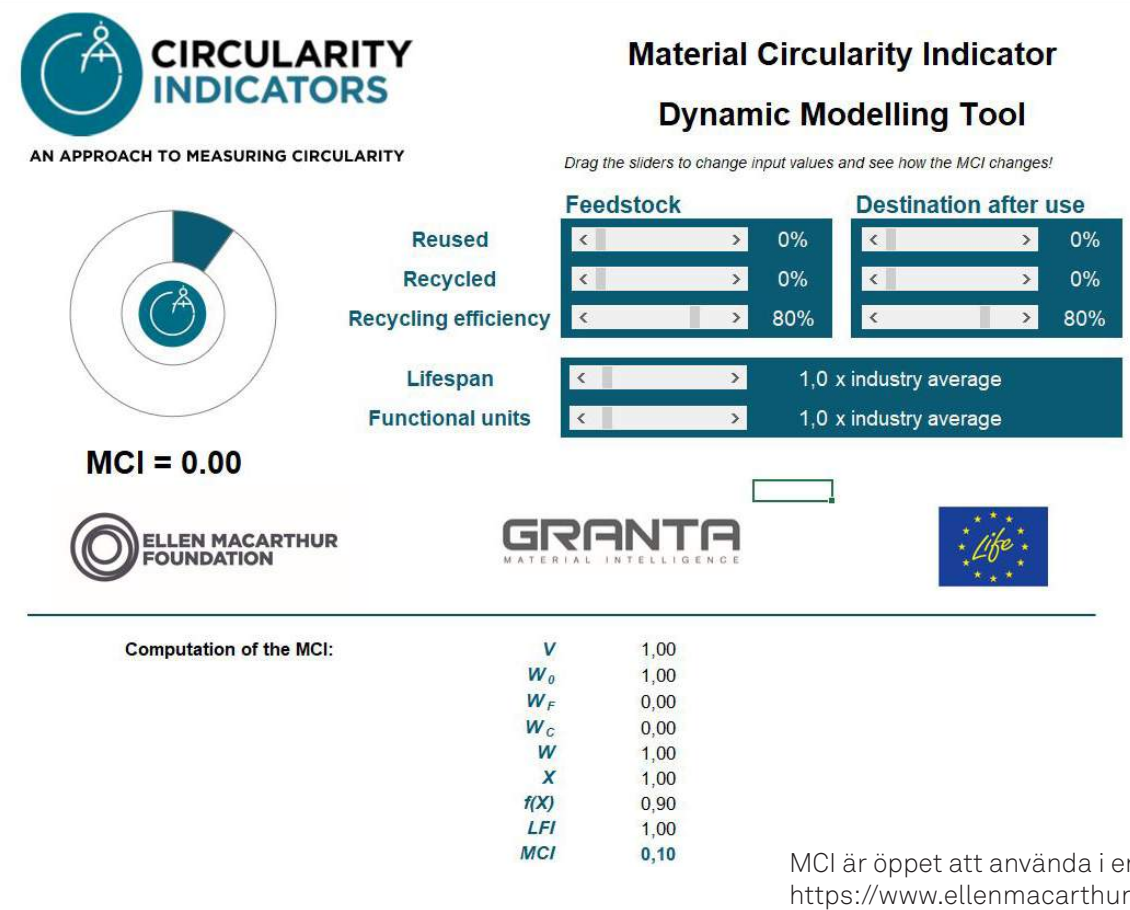
miljöpåverkan, vilket gav förhållandevis likartade siffror. Värdet är absolut snarare än relativt, vilket betyder att i princip kan olika produktkategorier jämföras med varandra. (Re:source; 2018)

Värt att notera är att principen om ekonomiskt värde gör att C ändras i takt med att värdering ändras. Värdering ändras dynamiskt i en marknad och även C ändras dynamiskt i takt med att samhället och ekonomin förändras.

Varför använder vi inte C istället för CIX?

I dagsläget har vi bedömt det omöjligt att på ett enkelt sätt mäta C för byggnadsmaterial och på byggnadsnivå. Det kan dock sannolikt vara ett bra mått framöver för att bedöma cirkularitet på produktnivå avseende återbruk och återvunnet material.





MCI - Material Circularity Indicator

Material Circularity Indicator, MCI är framtaget av Ellen MacArthur Foundation och Granta 2015. MCI mäter förhållandet mellan cirkulära och linjära flöden i en produkts sammansättning och poängsätts mellan 0-1 poäng. Ju högre poäng desto mer cirkulär är produkten.

I MCI bedöms såväl cirkularitet in (förhållandet mellan jungfruligt material och återvunnet/återbrukat material) samt cirkularitet ut (hur stor del av produkten som går till återbruk, återvinning, energiutvinning eller deponi) i indikatorn ingår även produktens beständighet intensitet i användningen kallat "utility".

MCI är i huvudsak sammansatt av tre faktorer:

- Hur mycket av ingående material som kommer från jungfruliga råvaror, återvunnet material respektive återbrukade produkter. Användningsfaktor dvs. hur intensivt och länge produkten används. (MCI bedömer även hur effektiv återvinningsprocessen är).

- Hur mycket av utgående material som återbrukas, återvinns, går till energiutvinning respektive deponi när produkten lämnar sin första livscykel.

Indikatorn premierar:

- Användning av återbrukat eller återvunnet material.
- Återbruk av komponenter eller återvinning av material i nästa livscykel.
- Längre användning av produkter (jämfört med branschstandard, med hjälp av underhåll, flexibilitet och nya användningsområden).
- Mer intensiv användning av produkter (genom underhåll och prestanda). Eg. nyttjandegrad.

MCI kan användas i design av nya produkter för att inkludera cirkularitet som en beslutsfaktor. Indikatorn kan även användas för uppföljning, rapportering och benchmarking inom cirkularitet.

Varför använder vi inte MCI?

I CIX bedömer vi inte var en produkt kommer att nyttjas efter dess första användningscykel, däremot ges poäng om produkten har lång livslängd, kan underhållas och demonteras.

Anledningen till detta ligger till viss del i osäkerheten i vad som händer med produkter långt in i framtiden, säg om 50 år.

En problematik som uppmärksammas även i krav på klimatdeklaration vid uppförande av byggnader. Där förslaget på redovisningskrav från Boverkets förarbeten hittills utgår från modul A enligt standard EN 15978 om beräkning och rapportering av en byggnads miljöprestanda. Det vill säga från det som byggs in i byggnaden.

Vidare bedöms verktyget vara för arbetskrävande idag då man för varje produkt skulle behöva bedöma MCI-värdet.



BAMB CBA

I det omfattande europeiska forskningsprojektet BAMB, Buildings as material banks har såväl designprinciper för reversibla byggnader, miljö- och ekonomisk utvärdering samt materialpass tagits fram. En prototyp för verktyg som utvärderar byggnadscirkularitet finns också framtaget, BAMB CBA.

BAMB CBA är ett verktyg för att utvärdera cirkularitet i byggnader med olika nivåer av data och för olika designfaser. CBA har utvecklats för att utgöra stöd i beslutsfattande för att på ett effektivt sätt utvärdera potentialen i att använda återbrukat och återvunnet material, reversibel byggnadsdesign och längre livscykel genom anpassningsbarhet och flexibilitet. För att utvärdera cirkularitet krävs en multipel livscykelansats som inkluderar såväl miljö, hälsa som ekonomi. En prototyp för CBA finns framtagen och är öppen för användning via hemsidan www.bambcba.eu. Verktöget är uppbyggt för att extrahera byggnads- och produktdata via BIM-exportfiler, materialpass och andra stödjande databaser. Denna datakombination sker automatiskt och beräknar olika scenarion jämfört med ett linjärt standardprojekt.

Verktygen ger stöd i att jämföra och utvärdera produkter och materialresursflöden över en byggnads livscykel och i nästa livsfas. Verktöget finns nu i en prototypform som kan kvantifiera och jämföra designer och jämföra ”standardlösningar” med cirkulära byggnadsscenario. De cirkulära byggnadsscenarioerna inkluderar både återbruk, reversibel byggnadsdesign och potentialen till framtida användning av material kopplat till ekologisk och ekonomisk nytta.

CBA är utformad med hänsyn till IFC- för att alla olika program ska kunna använda verktöget. Datasetsamlingen är viktig för att minimera handpåläggning/ datainmatning från användaren. I plattformen kan IFC-filen/Achicadmodellen/Revitmodellen/etc. laddas upp. Plattformen kan då

automatiskt extrahera data avseende ex. mängd och material för utvärdering. Där information saknas finns ett antal webbapplicationer för att ta fram information om ex. materialdensitet och reversibilitet i anslutningsmetoder/byggmetoder (som användaren kan utvärdera och ändra). Den data som läggs in behöver gå igenom CBA utvärdering och konverteras sedan till en rad BABM templates (genom att använda BRE's data templates software).

Användarplattformen för CBA och metoderna för analys har under 2019 utvärderas av BAMBs ingående projekt. Dock har projektet ännu inte gått in i ett steg 2 med full publicering och drift av verktöget.

Varför använder vi inte BAMB CBA istället för CIX?

BAMB CBA hade inte publicerats när vi gjorde ansökan om CIX till Boverket och utlysningen för innovativt och hållbart bostadsbyggande. I dagsläget finns en prototypversion av BAMB CBA öppet för användning. Prototypen fungerar i dagsläget bäst för enskilda byggdelen och inte för hela byggnader (Boström; 2020). Dock finns stora förutsättningar för BAMB CBA som design- och beslutsstöd om det färdigställs och lanseras.

CIX är betydligt enklare uppbyggt än BAMB CBA och kan sannolikt fylla en funktion för att mäta och följa upp cirkulära material och metoder oavsett tillgång till programvaror. Och skapar därigenom en potentiellt låg tröskel för användning.



4.2 CIX - ett verktyg för att mäta cirkularitet i byggnader



Avväganden som lett fram till CIX - Verktyg för att mäta cirkularitet i ett byggnadsprojekt

OM CIX-verktyget

Som ett viktigt slutresultat av projektet har vi tagit fram ett verktyg för att kunna mäta cirkularitet i byggprojekt. Bilderna av verktyget i denna rapport kommer från CIX-verktygets uppbyggnad i excell. Verktyget har digitaliserats som gratis webbverktyg för att fler ska kunna nyttja det och skapa cirkulära byggnader. Verktygets utseende har i och med digitaliseringen utvecklats för bättre användarvänlighet.

I verktyget har en **cirkulär bas** specificerats utifrån den cirkulära ekonomins grunder och en översyn av vad som är viktigt i ett byggnadsprojekt har gjorts. Exempel på viktiga cirkulära aspekter som lagts in i cirkulär bas är loggbok vilken ska hållas uppdaterad under byggnadens livscykel, minimering av avfall, ett hänsynstagande till byggnadens och olika byggnadsdelars tekniska och estetiska livslängd. Cirkularitet för byggnader kan även skapas genom arkitekturen. Här har indikatorer för **cirkulär arkitektur** specificerats med anpassningsbarhet genom flexibilitet och generalitet. Det handlar även om att skapa möjlighet till demonterbarhet för möjlig reparation och återanvändning i nästa användningscykel. Samt möjliggöra för sent beslut om ingående material för att hålla öppet för ett varierande utbud. Verktyget hanterar även mängd ingående material som är återbrukat, återvunnet och biobaserat.

I utformningen av CIX har vi alltså eftersträvat ett verktyg som inkluderar såväl den cirkulära ekonomins grunder såsom minimerat resursuttag och lång livslängd men även redovisa ingående cirkulära material och metoder.

Vår förhoppning är att verktyget kan bidra till kunskapshöjning som skapar förutsättningar för ökad användning av cirkulära metoder och material i projekt. Samt att denna slutrapport och verktyget tillsammans bidrar med kunskap till branschen.

Vad kan CIX-verktyget användas till?

Verktyget kan användas som beslutsstöd vid kravställning i byggprojekt för att uppnå ökad cirkularitet. CIX-verktyget lämpar sig väl för uppföljning av cirkulära mål i byggnadsprojekt, både av egna mål och vid uppföljning av cirkulära kravställningar. Verktyget kan även användas som checklista för cirkularitet i tidiga skeden, och kan på ett enkelt sätt redovisa hur olika cirkulära val ter sig per byggdel samt på byggnadsnivå.

Varför viktat vi inte samman cirkulariteten till ett index?

Inledningsvis trodde vi oss kunna vikta olika cirkulära material och metoder mellan varandra för att få ett totalindex. Vi letade därför efter metoder för att vikta samman exempelvis biobaserat material med återbrukade produkter. Då dessa var svåra att finna beslutade vi i samråd med projektets referensgrupp att branschen helt enkelt inte har den gemensamma kunskapen ännu. Verktyget utformades därför som en redovisning av olika typer av cirkulära material och metoder.

Uppbyggnad

I verktyget finns möjlighet att fylla i generella projektdata, att göra en bedömning av projekteringens möjlighet att bidra till en cirkulär byggnad samt att uppskatta den cirkulära andelen i den färdiga byggnaden.

Vad gäller projekteringsmöjligheten att bidra till en cirkulär byggnad består den av delarna cirkulär bas och cirkulär arkitektur. Resultatet visas som en andel för hela huset för cirkulär bas respektive cirkulär arkitektur.

Cirkulär BAS: I CIX har vi identifierat en cirkulär bas bestående av levande loggbok, cirkulära instruktioner i drift samt materialinventering på plats och i närområdet samt minimerade avfallsmängder.

INREDNING: 0-5 ÅR

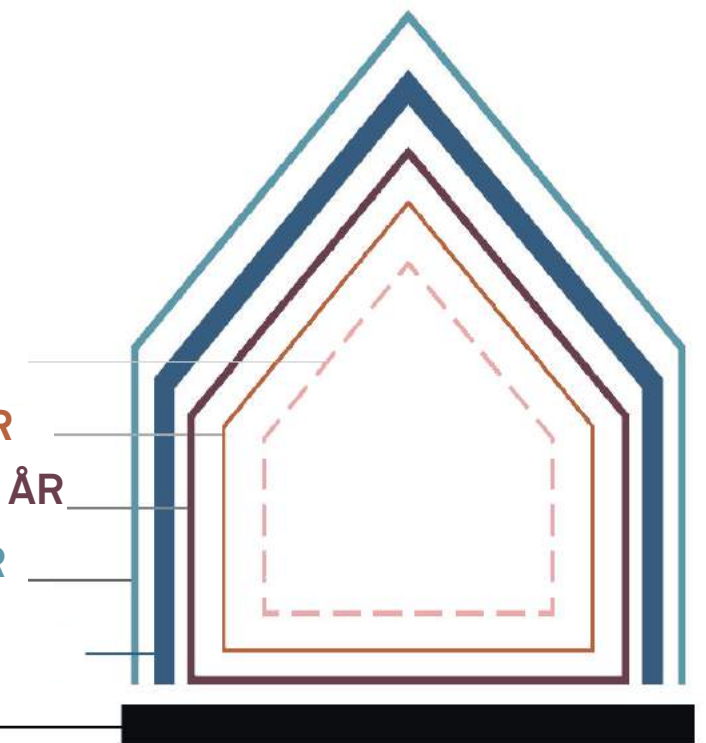
PLANLÖSNING 5-15 ÅR

INSTALLATIONER 5-25 ÅR

KLIMATSKAL 25-50 ÅR

STOMME 50-120 ÅR

PLATS: EVIG



Cirkulär arkitektur: För att skapa lång livslängd, hög nyttjandegrad och design för återbruk har ett antal aspekter bedömts vara särskilt viktiga. Här ingår resonemang kring maximerad teknisk och estetisk livslängd, flexibilitet och generalitet. Samt anpassningsbar projektering och design för återbruk per byggdel.

Poäng och viktning:

För Cirkulär bas finns det 6 åtgärder. Högsta betyg för en åtgärd (tex "Ja" alternativt "Ja till stor del") ger 100 %, mellanbetyg (tex "Ja till viss del") ger 50 % och lägsta betyg (tex "Nej") ger 0 %.

För betyget för Cirkulär bas viktas de olika åtgärderna samman per byggdel där varje åtgärdsområde ger 1/6 (17 %) alternativt 1/5 (20 %) av poängen för byggdelen (beroende på hur många valbara åtgärder det finns per byggdel). Tex bidrar ett "Ja till stor del" för materialinventering på plats med 20 % av betyget för marken och 17 % av betyget för stommen.

För betyget för Cirkulär arkitektur viktas de olika åtgärderna samman per byggdel, där varje åtgärd ger 1/5 (20 %) av poängen för byggdelen. Poängen redovisas i procent per byggdel och viktas samman till en totalpoäng för hela huset för Cirkulär bas respektive Cirkulär arkitektur. Varje byggdel har lika stor påverkan i sammanviktningen.

Under respektive byggdel fylls data i för byggvarorna i de olika byggdelarna. Det går att fylla i råmaterial eller produkter beroende på vad som passar bäst för projektet. De data som behöver fyllas i för att få ett resultat är mängd, andel återbrukat, återvunnet, biobaserat och jungfruligt. Det går även att fylla i återbrukade biobaserade material och återvunna biobaserade material. För varje byggdel summeras mängder samtidigt som procentandelar summeras viktat på mängd.

Verktyget är uppbyggt enligt de byggdelar som används i Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg för att enkelt kunna plocka ut mängder och klimatpåverkan per byggdel därifrån och undvika dubbelarbete.

Redovisningen kan fås för hela huset, per aggregerade byggdelar (stomme, klimatskal, rumsbildning etc) eller per byggdel. Resultatet är således möjligt att presentera på olika detaljnivåer.

Då ingen värdering läggs i de olika cirkulära materialen passar verktyget oavsett cirkulära mål i projekten och det har potential att ge en transparent bild över valda åtgärder och cirkulära material.

Du hittar CIX-verktyget via:

<http://www.hallbarbyggnation.se/>



CIX - Verktyg för att mäta cirkularitet i byggprojekt



Projekt

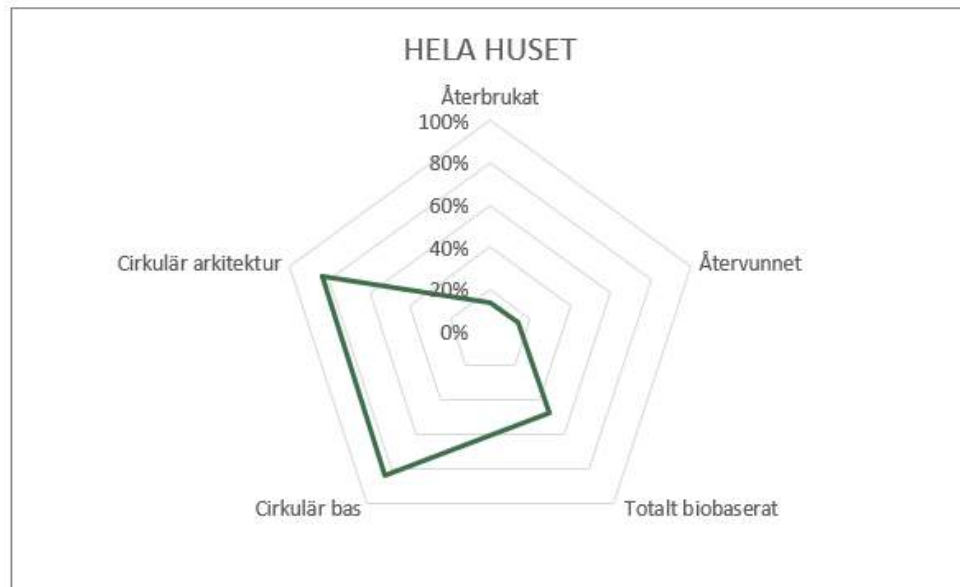
Area (BTA) m²

Datum

Klimatpåverkan kg CO₂-ekv/m²

Ansvarig

Kostnad kr/m²



SUMMERING	Mängd (kg)	Återbrukat (%)	Återvunnet (%)	Totalt biobaserat (%)	Jungfruligt (%)	Cirkulär bas (%)	Cirkulär arkitektur (%)	Klimatdata (kg CO ₂ -ekv/kg)	Kostnad (kr/kg)
Mark	1 200	100%	0%	0%	0%	100%	30%	0	0
PLATS (evig)	1 200	100%	0%	0%	0%	100%	30%	0	0
Husunderbyggnad	13 858	0%	34%	0%	66%	83%	80%	1	0
Stomme	45 555	0%	6%	88%	94%	83%	100%	0	0
STOMME (50-120 år)	59 413	0%	13%	67%	87%	83%	95%	0	0
Yttertak	8 502	0%	31%	52%	16%	75%	30%	0	0
Fasader	27 690	48%	10%	9%	42%	88%	80%	0	0
KLIMATSKAL (25-50 år)	36 192	37%	15%	19%	36%	85%	68%	0	0
Stomkomplettering / rumsbildning	10 273	5%	27%	22%	44%	100%	80%	0	0
Invändiga ytskikt / rumskomplettering	3 054	0%	0%	100%	0%	38%	80%	0	0
RUMSBILDNING (5-15 år)	13 327	4%	21%	40%	34%	86%	80%	0	0
Installationer	0	0%	0%	0%	0%	33%	20%	0	0
INSTALLATIONER (15-25 år)	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0
HELA HUSET	110 132	14%	14%	47%	63%	84%	84%	0	0



5. REFLEKTIONER OCH FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

Reflektioner

Under arbetets gång har projektet undersökt och utrett olika cirkulära metoder och material kopplat till bostäder. Resultatet kan dock nyttjas för byggnadsprojekt generellt. Projektet berör inte stora systemutmaningar såsom avfallsregler, CE-märkning, lagerhållning eller digital märkning av material i stor skala som de beskrivna referensprojekten definierar som hinder. Projektet har istället fokuserat på enklare åtgärder vi redan idag har rådighet över.

- En stor erfarenhet från projektet är helhetsgreppet om cirkulär ekonomi där den cirkulära basen om minimerat resursuttag, cirkulära grepp för flexibilitet, elasticitet och generalitet ger en bra grund för att bygga på med cirkulära material.
- Som verktyg för kravställning och uppföljning inom cirkularitet. Mätbarheten som skapas med verktyget ger möjlighet till uppföljning av ställda cirkulära mål och krav. Allt fler har börjat kravställa kring cirkularitet men metoder för mätning och uppföljning saknas i vissa fall. Detta kan CIX-verktyget ge stöd.
- Verktyget ger möjlighet att mäta och verifiera cirkularitet men även klimat och kostnad för att ge stöd i att hitta de åtgärder som ger störst effekt på helheten.
- Att verktyget redovisar både cirkularitet och klimatpåverkan visar om valen styr åt rätt håll.

För att göra det enklare att arbeta med cirkularitet i byggnadsprojekt vore ökad sökbarhet på cirkulära produkter i exempelvis Sundahus, Basta & Byggvarubedömningen önskvärt. Idag saknas en enkel sökfunktion för produkter med hög andel återvunnet material. Märkning på produktnivå och sökbarhet i materialdatabaserna är givetvis något som lyfts fram även i tidigare

studier, såsom BAMB och deras arbete med material- pass. Även digitala märkningar av produkter och material kommer att underlätta för en övergång till mer cirkulära flöden av material.

Vidare vore det intressant att se fler aktörer och affärsmodeller för rekonditionering av material (möjliga socialt företagande/kunskapsjobb). Då det återbrukade materialet ofta kräver rekonditionering. Även metoder för effektiv materialinventering i tidiga skeden med klimat- och kostnadsuppskattningar och metod och införande av miljövärdering och kvalitets-märkning av återbrukade material skulle underlätta för framtida cirkulära projekt.

Önskad utveckling av CIX-verktyget

- Testräkning av testbäddar i BAMB CBA och MCI för jämförelse med CIX-resultatet.
- Koppling av CIX till BM eller annat klimatberäkningsverktyg - då beräkningarna i mångt och mycket kräver samma indata map. mängder av material, epd:er etc.
- CIX-verktyget skulle i framtiden även kunna kopplas till miljöcertifiering, ex. inom miljöbyggnad.
- En given utveckling av CIX är givetvis även att inkludera övriga teknikområden i indexet och framgent även se utanför byggnaden och bredda cirkulariteten mer till driftskedet för att skapa förutsättningar för "cirkulentens" vardag. (*Cirkulent - en person som lånar, lagar, byter delar och nyttjar prylar för sitt behov, istället för att äga).
- Verktyget kan i framtiden utvecklas med viktning av olika cirkulära indikatorer, till exempel kopplat till klimatpåverkan.
- Ett eventuellt tillägg av volym material som kan komplettera kilo - för att även premiera lättare byggnadsmaterial, som ej ger utslag i verktyget idag - ett exempel är platta på mark med foam-

glas som blir väldigt lätt jämfört med betongplattan och därmed ej syns i CIX redovisning.

Möjlig utveckling av testbäddarna

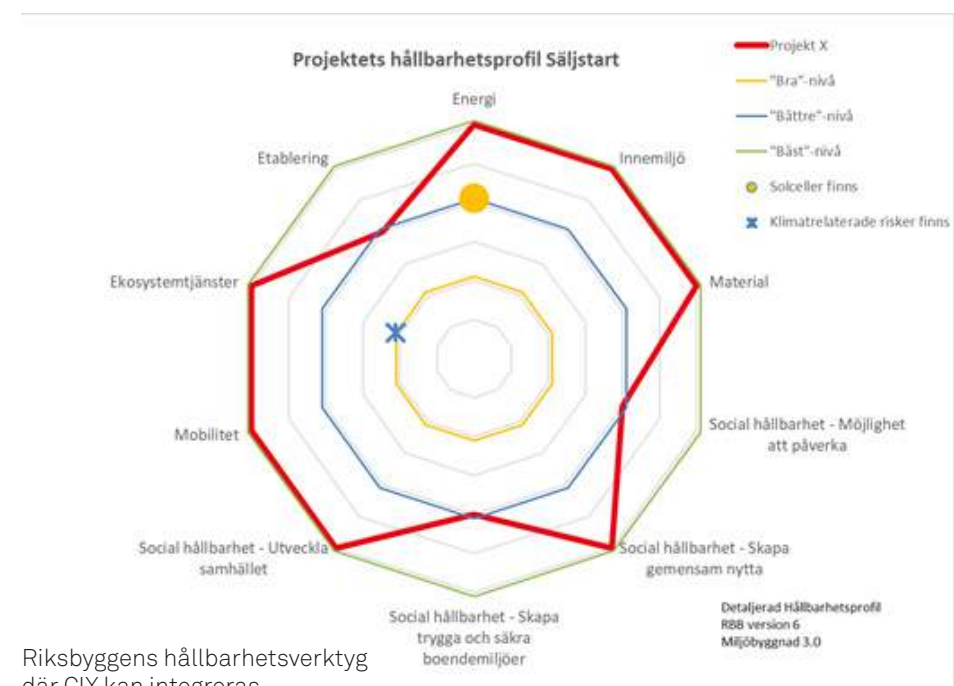
Att utveckla det maxade huset vidare avseende genomförbarhet och mer detaljerad utredning av funktionskrav som exempelvis brand, akustik, fukt, el. Kostnader för CE-märkning/alt. kvalitetsmärkning av återbrukade produkter.

Riksbyggens implementering av CIX i hållbarhetsverktyget

Riksbyggen arbetar i dagsläget med ett hållbarhetsverktyg i all sin nyproduktion med syfte att styra och visualisera åtgärder för miljömässig och social hållbarhet. Hållbarhetsverktyget består av tio områden: material, energi, inomhusmiljö, ekosystemtjänster, social hållbarhet (möjlighet att påverka, skapa gemensam nytta, skapa trygga och säkra boendemiljöer, utveckla samhället), mobilitet och etablering.

Dessa områden bedöms utifrån olika indikatorer och visar projektets hållbarhetsprofil. Verktöget innehåller 3 nivåer: bra, bättre och bäst. Förenklat kan man säga att bra-nivån motsvarar lagkrav eller det som är praxis i branschen, bättre motsvarar höga krav och för att nå bäst-nivån ska projektet utmärka sig med mycket hög hållbarhetsprofil. Hållbarhetsverktyget togs fram i samband med arbetet i Brf Viva inom ramen för Positive Footprint Housing och har implementerats i Riksbyggens hela organisation.

Hållbarhetsverktyget innehåller i dagsläget en del aspekter av cirkulär karaktär framförallt inom området material, där indikatorer hanterar loggbok och utfasning av farliga ämnen. Resultaten från arbetet i CIX kommer att användas för att vidareutveckla de cirkulära delarna i Hållbarhetsverktyget.



Riksbyggens hållbarhetsverktyg där CIX kan integreras.

6. KUNSKAPS- SAMMANSTÄLLNING



6.1 FoU - projekt cirkularitet

BAMB - Buildings as material banks

BAMB var ett EU-finansierat projekt inom Horizon 2020 (program inom EU för forskning och innovationer) där de svenska parterna Ronneby kommun och Sunda Hus var två av projektets 15 parter.

Projektet pågick 2015-2018 med fokus att utveckla lösningar för cirkulärt byggande och visa hur material och råvaror i byggnader kan återanvändas och återvinnas utan värdeminskning så att byggnader kan fungera som materialbanker för framtida byggande.

Exempel från projektet är lösningar inom flexibel byggnadsdesign, nya montagemetoder som underlättar demontering - remontering, systemstöd med verktyg för materialspecifikation, nya affärsmodeller mm.

Länk: www.bamb2020.eu

HISER HISER

HISER HISER står för "Higher recovery of raw materials from Construction and Demolition Waste" och är ett EU finansierat projekt inom Horizon 2020.

Det övergripande målet i projektet var att utveckla och demonstrera kostnadseffektiva lösningar för ökad återvinning av avfall från byggande och rivning med cirkulär ekonomi som grund. Inom projektet utvecklas metodik och verktyg för kategorisering och kvalitetsbestämning av bygg- och rivningsavfall, utveckling av ny teknik som möjliggör rena råvaruströmmar från komplexa bygg- och rivningsavfall, utveckling av nya byggprodukter som delvis består av sekundära råvaror där exempelprodukter är cement, betong, tegel, gipsskivor och kompositprodukter.

Projektet leds av TecNALIA (Spanien) och har 25 partners, där Sverige inte var representerade. Projektet pågick 2015-2019

Länk: www.hiserproject.eu



Cirkulära produktflöden i byggbranschen

"Cirkulära produktflöden i byggbranschen – återbruk av byggmaterial i industriell skala" är ett projekt inom Vinnovas program Utmaningsdriven innovation. Projektet startade maj 2017 och löper under 2,5 år. Projektet leds av IVL Svenska Miljöinstitutet och har 11 partners som täcker stora delar av värdekedjan vid byggande och rivning.

Inom projektet har lösningar utvecklas som stödjer återanvändning av interiöra byggprodukter i stor skala. I fokus för utvecklingen står åtta produktgrupper som ofta används i kontorslokaler. Dessa har identifierats utifrån att de i många fall har korta produktcykler, i vissa fall enbart något eller ett fåtal år, vilket vida understiger produktens egentliga livslängd varför det finns en stor potential i att förlänga användningstiden. Exempelprodukter är innerväggar, innertak, dörrpartier, textilgolv, belysning, galler och smide, VVS-produkter och beslag. Projektet utvecklar både arbetssätt och tekniska lösningar som ska möjliggöra storskalig återanvändning.

Projektet lanserade även CCbuild, en plattform som syftar till att stödja bygg- och fastighetsbranschens möjlighet till ökad återanvändning av byggprodukter genom kunskapsspridning, samverkan och stärkt marknad för produkter och tjänster relaterat till återanvändning. Plattformen erbjuder även digitalt stöd för cirkulär produkthandling i form av en produktdatabas med kvalitetskriterier och nyckeltal som underlättar bedömning av produkters potential för återanvändning, tex klimatbesparing jämfört med nyinköp. Databasen har i dagsläget tre olika applikationer: en produktbank för överblick av eget innehav, ett inventeringsstöd, samt en gemensam handelsplats.

Länk: <https://ccbuild.se/>

Reused by NCC

Tillsammans med Fossilfritt Sverige har byggbranschen tagit fram en gemensam färdplan för en fossilfri byggsektor. Att bli mer cirkulära är en annan målsättning som NCC har. NCC har därför lanserat en plattform som heter "Reused by NCC" som fungerar som Blocket för överblivet material internt.

Återhus

NCC driver tillsammans med RISE och Codesign även ett utvecklingsprojekt kallat Återhus där man kommer att utreda möjligheter till systematiserad process för demontering och återbruk av rivningsobjekt i större skala/större byggelement. Ett projekt som blir intressant att följa!



CONSTRUCTIVATE

Constructivate är en del i forskningsprogrammet Mistra Closing the Loop II. Projektet syftar till att uppnå mer resurseffektiv återvinning av bygg- och rivningsavfall. Projektet leds av Chalmers Industri teknik och i projektet deltar 17 svensk projektpartners från akademi och värdekedjan vid byggande och rivning.

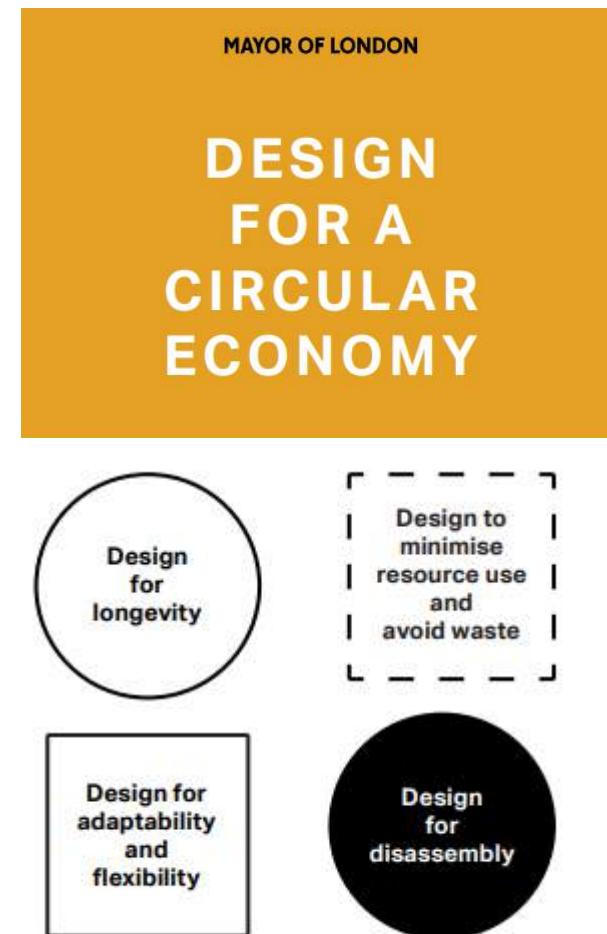
Målet är både att utveckla tekniska lösningar och att kartlägga hinder och möjligheter för ökad återvinning av bygg- och rivningsavfall. Lagstiftning, regelverk, logistik och affärsmodeller ingår i utvecklingen.

Två materialströmmar har identifierats som extra intressanta att följa: Betong och plast eftersom dessa återvinns i en liten utsträckning idag.

Länk: www.closingtheloop.se/helhetsgrepp-for-bättre-återvinning-av-byggavfall

Design for a circular economy, A built environment for all Londoners (Good growth by design)

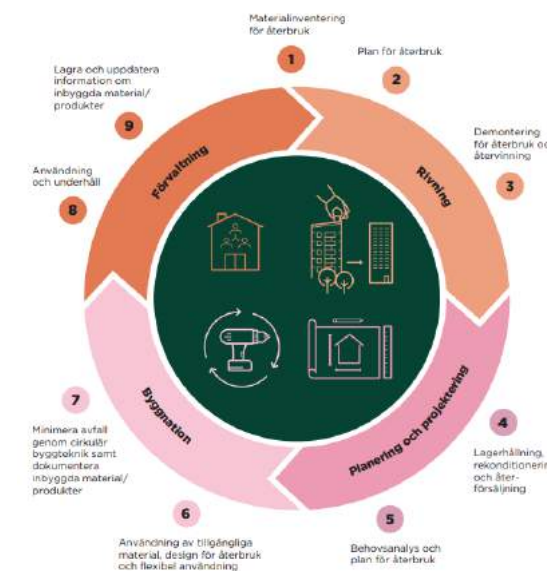
London har formulerat en plan för cirkulär ekonomi i byggpranschen med tydliga inriktningar och cirkulära principer och prioriteringar för det som byggs, såsom lång livslängd, demonterbarhet och hållbara materialval. Nedan visas prioriteringen lång livslängd, minimerat resursuttag och avfall, anpassningsbarhet och demonterbarhet.



Dags att bygga och riva cirkulärt! Göteborgs stad

Syftet med rapporten/projektet är att ge ökad kunskap om hur offentlig upphandling kan användas som verktyg för att påskynda omställningen (från en resursslösande linjär) till en resurseffektiv cirkulär bygg- och rivningsprocess. I rapporten ges tips på vad som kan göras redan idag, exempelvis:

- Inarbete cirkulära riktlinjer i teknisk handböcker och andra relevanta dokument. Se förslag på riktlinjer i slutrapporten, enligt rubriken ovan.
- Ställ krav på att anbudsgivaren ska beskriva hur de kommer att arbeta med förebyggande av avfall, återbruk och återvinning.
- Ställ krav på demonterbarhet för vissa byggprodukter, vid om- och nybyggnation.



Smart Built - Projekt; Livscykelperspektiv

Arkitektens roll, design, form och LCA (2017) kartlägger befintliga modelleringsmetoder och verktyg samt beskriver hur arbetsprocessen bör justeras för att få med en LCA-beräkning redan i tidigt skede och arbeta med ett förenklat verktyg från första skiss till färdig projektering.

Länk: <https://smartbuilt.se/library/4934/arkitektens-roll-design-form-och-lca.pdf>

Smart Built driver även projekt inom obrutna digitala flöden mellan byggmaterialtillverkarnas produktdata för miljöinformation (eBVD) och fastighetsägarnas förvaltningssystem (Real Estate Core) för nyckeltal inom hållbarhet på ett enkelt, kvalitetssäkrat och resurseffektivt sätt. Vilket är viktigt för

Länk: <https://www.smartbuilt.se/projekt/livscykelperspektiv/miljonnyckeltal/>

D-DAS – Deconstruction analytics system

D-DAS är ett BIM-baserat verktyg för att utvärdera återbrukbarhet och demonterbarhet i byggprojekt (Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS)). Verktöget är framtaget av en grupp forskare på University of the West of England, Bristol Verktöget kan eventuellt liknas vid BAMB CBA som även det är ett BIM-baserat verktyg för byggnadscirkularitet.

6.2 Cirkulär arkitektur

Lendager Group, Danmark

Lendager Group i Danmark har snabbt blivit ledande inom cirkulär arkitektur och innovativt användande av återbrukat material. Genom affärsutveckling, gestaltning och samverkan skapar de genomförbarhet av den cirkulära arkitekturen. Under parollen "we use old materials in new ways".

De har bla. gett ut boken "A changemakers guide to the future" som ger tips och råd för oss som vill arbeta mer med cirkularitet och har många inspirerande projekt med stort återbruks- och klimatfokussamt med projektekonomisk genomförbarhet.

www.lendager.com

Circle house lab, Danmark

Circle House Lab vill accelerera omställningen till en cirkulär ekonomi. Flera aktörer från arkitekter, leverantörer med flera experimenterar och testar sig fram till olika lösningar genom samverkan över hela branschen. Projektet som utfördes för bostadsbolaget Lejerbo har ett socialt hållbarhetsperspektiv med prisrimliga bostäder i fokus. Byggnader av återbrukat material samt design för återbruk har uppförts. Kunskapen från labbet ska även ge input till framtida Europeiska standarder för cirkulär process och produkter.

Projektet beskriver cirkulära designprinciper och affärsmodeller på ett enkelt och lättillgängligt sätt i slutrapporten "Circle house - Denmark's first circular housing project".

Länk: https://gxn.3xn.com/wp-content/uploads/sites/4/2019/02/CircleHouse_ENG_2018.pdf

CIE Architects, Holland

CIE Arkitekten i Holland har flera cirkulära projekt i sin portfolio. Bland annat Circl pavilion i Amsterdam som är designad enligt cirkulära principer med minimerat resursuttag, återbrukade material (bla. isolering av gamla jeans), mekaniska kopplingar för möjlig demontering och flexibilitet. Byggnaden är dessutom energisnål och hanterar dagvatten i kretslopp. Även verksamheter i byggnaden drivs enligt cirkulära principer, exempelvis restaurangen. Vidare finns information och utbildning om byggnadens cirkulära principer att tillgå.

<https://circl.nl/themakingof/en/>

Rural studios, USA

Rural Studio är ett designprogram på School of Architecture, Planning and Landscape Architecture vid Auburn Universitetet. Programmet ger praktisk undervisning genom arbete i utsatta områden i Alabama. Tillsammans med lokalsamhället definierar studenterna utmaningar och skapar designlösningar och arkitektur. Finansiering sker via insamlingar av material och medel och projekten genomförs för att vara socialt värdeskapande och stärka lokalsamhället. Ibland skapar studenter bostäder till dem som behöver och ibland bygger de offentliga platser och byggnader.

<http://ruralstudio.org/>



Park 20120, Holland

Park 20120 i Holland är ett verksamhetsområde designade enligt cirkulära principer. Här ligger fokus på regenerativ landskapsarkitektur för vatten i kretslopp och resiliens. Området energiförsörjs lokalt och erbjuder lokal odling för verksamheter i området.

Området och byggnaderna är designade för minimerad uppkomst av avfall.

De flesta byggnaderna är designade för återbruk för att kunna demonteras och ändras efter förändrade behov.

Ronneby, CEFUR Backsippan & Listerbyskolan

I Ronneby finns Cefur - Centrum för forskning och utveckling. Tillsammans med kommunen driver de starkt en cirkulär inriktning. De har bla. deltagit i BAMB samt byggt flera offentliga byggnader enligt cirkulära principer, bland annat förskolan Backsippan och Listerbyskolan.

Länkar:

www.ronneby.se/C2Cforskolor

www.c2c-buildings.org/c2c-projects

Arkitektens återbruksmetodik, White Arkitekter

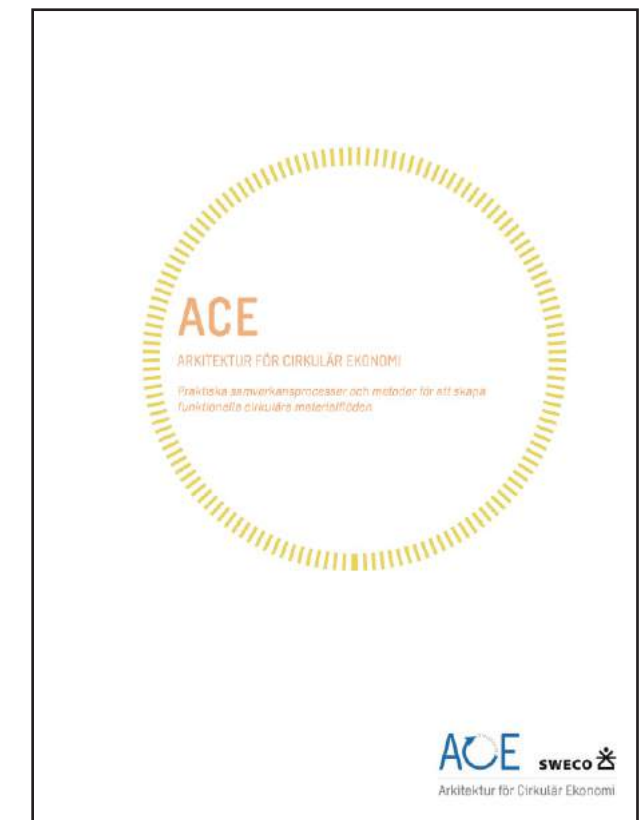
Metodiken beskriver på ett pedagogiskt sätt hur arkitekten kan arbeta med återbruk i byggprojekt. Rapportens syfte är att föreslå en metodik för genomförande av återbruk av byggdelar som kan användas som stöd i projektering samt som diskussionsunderlag med beställare. Den beskriver vad som är viktigt att tänka på i respektive skede: program, system och bygghandling kopplat till återbruk.

Länk: https://ccbuild.se/content/uploads/2019/03/WRL_Arkitektens_%C3%A5terbruksmetodik_2018.pdf



Arkitektur för cirkulär ekonomi, Sweco

I rapporten sammanfattas kunskapsläget inom arkitektur, BIM och cirkularitet idag. Inom projektet har Sweco även byggt ett verktyg för märkning och kontroll av material i BIM, vilket underlättar hantering av materialcirkularitet i såväl bygg som förvaltningsskedet. I rapporten beskrivs de egenskaper som bedömts vara särskilt viktiga att specificera i "property sets" kopplat till BIM-modellen, exempelvis återvinningsändamål, värde efter återvinning och serviceintervall.



7. REFERENSER

Byggnader som materialbanker

Reversible building design guidelines: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/12/Reversible-Building-Design-guidelines-and-protocol.pdf>

<https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2016/11/Elma-sustainable-innovation-paper.pdf>

Reversibel byggnadsdesign

Elma Durmisevic (2019) *Circular economy in construction - Design strategies for reversible buildings*.

Design for deconstruction; SBUF ID13369 NCC (2017).

REM Manual Guide BAMB (2018).

Beräkna cirkularitet/LCA/LCC

Circular building assessment tool (CBA) <http://bambcba.eu/>

Material circularity indicators (MCI) <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/circularity-indicators>

Utkast till cirkulära indikatorer - Bre-eam <https://www.circle-economy.com/wp-content/uploads/2018/10/A-Framework-For-Circular-Buildings-BRE-EAM-report-20181007-1.pdf>

Byggandets klimatpåverkan, Livscykelberäkning av klimatpåverkan från ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme i trä. IVL (2016)

Byggsektorns miljöberäkningsverktyg, BM (2020).

<https://www.innobyg.dk/resultater/>

Cirkulära mått

Linder, M; Sarasini, S. and von Loon, P. 2017. A metric for Quantifying Product-Level Circularity. RISE Viktoria - Sustainable Business. Journal of Industrial Ecology, 21 (3):545-558.

RE:SOURCE. 2018. Mätning av produktcirkularitet som ett sätt att öka resursproduktiviteten.

Ellen MacArthur Foundation and Granata design 2015. An approach to measuring circularity - Methodology. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation.

Inspirerande cirkulär arkitektur

Lendager, A; Lysgaard Vind, D. Lendager Group *A changemakers guide to the future*.

Lendager Arkitekter: www.lendager.com

White Research labs (WRL) Arkitektens återbruksmetodik (2018). https://ccbuild.se/content/uploads/2019/03/WRL_Arkitektens_%C3%A5terbruksmetodik_2018.pdf

Arkitektur för cirkulär ekonomi, Sweco (2020).

Circle House Lab, green paper. www.blox-hub.org/circlehouselab.com (2019)

CIK Circular kitchen - Hagejård, S., Ollár, A., Femenias, P. et al (2020) Designing for Circularity—Addressing Product Design, Consumption Practices and Resource Flows in Domestic Kitchens

<http://ruralstudio.org/>

Kunskapshub cirkularitet

Centrum för cirkulärt byggande <https://ccbuild.se/>

Circular economy initiative, KTH. <https://www.kth.se/sv/ce>

Forsknings- och utvecklingsprojekt & myndigheter

Arbetsätt för ökat återbruk i lokalanpassningar. IVL (2019).

Cirkulära produktflöden i byggsektorn, ILV mfl. <https://ccbuild.se/>

“Higher recovery of raw materials from Construction and Demolition Waste” www.hiserproject.eu

Delegationen för cirkulär ekonomi: <https://tillvaxtverket.se/amnesomraden/affarsutveckling/delegationen-for-cirkular-ekonomi.html>

Dwelling in time Studies on life course spatial adaptability, Anna Braide Chalmers University of Technology (2019).

Arkitektur, materialflöden och energianvändning i bostäder. Chalmers, E2B2. Femenias, Holmström, Jonsdotter & Thuvander (2016).

Boverket, Om kontrollplan (2020) <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/lov--byggande/byggprocessen/kontrollplan/>

Checklista för miljöinventering Håbo kommun (2020)

Design för a circular economy, Primer, Good growth by design, Mayor of London. www.london.gov.uk/what-we-do/regeneration/advice-and-guidance/about-good-growth-design (2020)

Ett Värdebeständigt Svenskt Materialsystem; en rapport om materialanvändning ur ett värdeperspektiv Re:Source & Återvinningsindustrierna <https://materialeconomics.com/new-publications/ett-vardebestandigt-svenskt-materialsystem>

Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus, LCA av fem byggsystem, underlagsrapport. IVL Rapport C350 (2018)



