



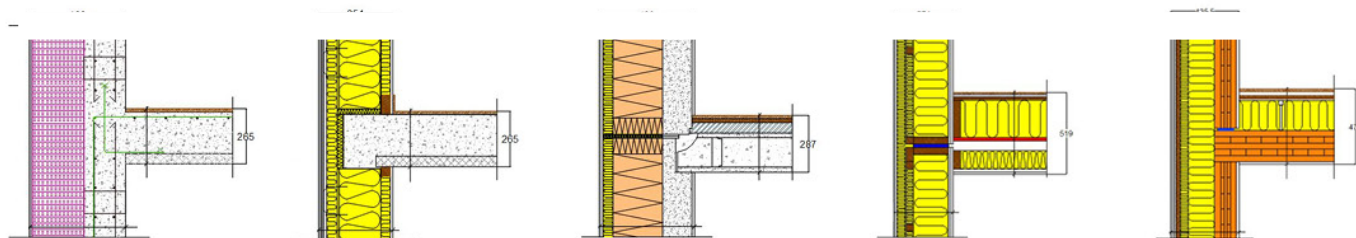
Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus

LCA AV FEM BYGGSYSTEM. UNDERLAGSRAPPORT.

Martin Erlandsson • Tove Malmqvist • Nicolas Francart • Johnny Kellner



SVERIGES
BYGGINDUSTRIER



Ett samarbete mellan KTH, IVL, Sveriges Byggindustrier och medverkande bolag.
Finansiering av SBUF, Stiftelsen IVL och Regeringskansliet.

OKTOBER 2018 • FOTO: SVENSKA BOSTÄDER
IVL • RAPPORT • C 350

Förord

Denna rapport innehåller resultaten från FoU-projektet "Klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus med jämförande LCA-analyser för ett flerbostadshus som typhus", SBUF projektnummer 13355, Stiftelsen IVL projekt nr 4A:01/17 samt deluppdrag från Regeringskansliet, dnr N2017/04218/PBB. Redovisning av det sistnämnda deluppdraget för Regeringskansliet återfinns i kapitel 7 i denna rapport. Inom ramen för projektet tillkommer ytterligare en utredning som kommer publiceras separat om hur ombyggnad kan hanteras metodmässigt mer konstruktivt än i nuvarande livscykelanalyser.

Projektgruppen har tidigare genomfört två studier av klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv för nybyggda flerbostadshus i betong, Blå Jungfrun (etapp I), samt i trä, Strandparken (etapp II). Dessa studier har starkt bidragit till att öka kunskapen om byggnaders klimatpåverkan under dess livscykel. I detta projekt (etapp III) beräknas klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv för fem olika byggsystem projekterade på ett och samma referenshus. I projektet studeras byggnadernas klimatpåverkan under hela livscykeln samt möjligheter att med känd teknik göra åtgärder som kan minska byggskedets klimatpåverkan. Studien bidrar därmed till ytterligare aktuell kunskap om nivån på byggskedets klimatpåverkan för byggande av flerbostadshus i Sverige idag, samt pekar på viktiga möjligheter till förbättringspotentialer avseende klimatpåverkan för respektive byggsystem.

Studien har genomförts helt utan några särintressen till vilka materialval och konstruktionslösningar som är mest fördelaktiga. Olika byggsystem för flerbostadshus kommer att finnas även i fortsättningen när marknaden väger samman fler aspekter än klimatpåverkan. Samtliga studerade lösningar uppfyller grundläggande funktionella krav enligt BBR, kompletterat med något högre krav på ljudklass samt energianvändning och är med avseende på dessa grundläggande krav (funktioner) jämförbara. Utöver dessa grundläggande krav kan det finnas andra aspekter som skiljer mellan alternativen och som måste vägas in om uppgifterna ska användas som ett beslutsunderlag.

Ansvariga för rapporten har varit: Tove Malmqvist, KTH (vetenskaplig projektledare), Martin Erlandsson, IVL, Nicolas Francart, KTH, Johnny Kellner, egen konsult, samt Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier (ordförande för styr- och referensgrupperna). Styrgruppens sammansättning har varit: Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier, Johnny Kellner, egen konsult, Per Löfgren, JM, Caroline Erström, Bonava, Ingemar Löfgren, Thomas Concrete Group, Birgitta Govén, Sveriges Byggindustrier, Jessika Szyber/Mikael Lindberg, Stora Enso, Agneta Wannerström, Skanska, Martin Erlandsson, IVL, och Tove Malmqvist, KTH. Referensgruppens sammansättning har varit: Rickard Langerfors, Magnolia Bostad AB, Ola Larsson/Maria Brogren, WSP, Kenneth Wilén, Folkhem, Andreas Rahlén, Järntorget, Patrik Andersson, Stockholmshem, David Grimheden, Veidekke, Helena Lidelöv, Lindbäcks, Peter Jacobsson, Martinsons, Henrik Ödeen/Sofia Eriksson/Johan Samuelsson, Moelven, Allan Leveau, Svenska Bostäder, Karolina Brick, Riksbyggen, Saga Ekelin, NCC, Magnus Everitt, Installatörsföretagen, Henrik Vinell, Strängbetong, Staffan Eriksson, Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, Claes Dalman, Peab, Ronny Andersson, Cementa, Kajsa Byfors, Svensk betong. Hans-Olof Karlsson Hjort, Boverket och Roger Eriksson, Regeringskansliet, har också deltagit som observatörer. Vi vill tacka de bolag som på ett förtjänstfullt sätt bidragit med de olika plattformarna samt alla personer som medverkat i projektets styr- och referensgrupper för deras värdefulla arbetsinsats.

Projektet har finansierats med bidrag från SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond), Regeringskansliet, SIVL (Stiftelsen IVL) samt deltagande organisationer och företag. Det är projektgruppens förhoppning att det oberoende faktaunderlag som nu redovisas om klimatpåverkan för olika byggplattformar och förbättringspotentialer ska leda till såväl fortsatt kunskaps- och metodutveckling som till att prioritera rätt åtgärder i rätt ordning för att minska klimatpåverkan i alla led i bygg- och användningsskedet.

Stockholm i september 2018

Pär Åhman

Ordförande i styr- och referensgruppen för projektet
Sveriges Byggindustrier

Denna rapport har nummer C 350 i IVL Svenska Miljöinstitutet AB:s rapportserie. ISBN 978-91-8878-84-2

Sammanfattning

Denna rapport innehåller resultaten från FoU-projektet "Klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus med jämförande LCA-analyser för ett flerbostadshus som typhus", SBUF projektnummer 13355, Stiftelsen IVL projekt nr 4A:01/17 samt deluppdrag från Regeringskansliet, dnr N2017/04218/PBB. Rapporten finns utöver i denna version även som en sammanfattande rapport (Malmqvist, m.fl., 2018) med samma rubrik. Denna version av rapporten är till för den som vill få mer bakomliggande information samt fler analyser och den innehåller också alla deluppdrag till Regeringskansliet.

Syftet med studien har varit att studera klimatpåverkan under hela livscykeln för fem konstruktionslösningar för flerbostadshus som förekommer på den svenska marknaden idag. För respektive byggplattform är syftet också att undersöka om det finns möjligheter med känd teknik att göra klimatförbättrande åtgärder.

Fem olika konstruktionslösningar har studerats för ett och samma referenshus. Referenshuset utgår ifrån ett av Svenska Bostäders fyra flerbostadshus i kvarteret Blå Jungfrun i Hökarängen utanför Stockholm, färdigställt 2010. Det aktuella huset har 6 våningsplan inklusive entréplanet, inrymmer 22 lägenheter och har två hissar men inget underliggande garage. Kvarteret Blå Jungfrun var de flerbostadshus i betong som först studerades (Liljenström m.fl., 2015) i serien SBUF-projekt som detta projekt ingår i. Beräkningarna baseras på en gemensam byggnadsutformning genom att alla fem alternativ ska följa samma arkitektritningar. De olika byggplattformarna har gjorts jämförbara genom att de uppfyller samma grundläggande funktionskrav enligt Boverkets byggregler (BBR), samt högre krav i form av ljudklass B (som i dag snarare är att betrakta som standard) och ett värmebehov definierat som 41 kWh/m² och år köpt fjärrvärme och ett elbehov på 12 kWh/m² och år fastighetsel.

De fem systemen beskrivs översiktligt i tabellen nedan. Tabellen visar den resulterande klimatpåverkan för de fem byggplattformarna som analyserats och som är jämförbara med hänsyn till de gemensamma grundkrav som ställts upp, samt en analysperiod som utgår ifrån ett ombyggnadsintervall på 50 år. Betydande materialval såsom betong, KL-trä och isolering har gjorts utifrån de val som gjorts av respektive uppgiftslämnare och som bidragit med underlagsinformation till respektive byggsystem. I praktiken betyder detta att resultaten som redovisas här inte ska ses som ett medelvärde för hur faktiska val görs i allmänhet. En svårighet med att göra sådana medelvärdesberäkningar är att det saknas information om vilka marknadsandelar olika leverantörer har. I utvärderingen av alternativen ingår inte andra aspekter än klimatpåverkan, såsom olika byggnadstekniska eller ekonomiska aspekter.

Tabell. LCA-resultat för fem olika byggplattformar under 50 år – grundfall (kg CO₂-ekv./m² A_{temp}).

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

Det finns påtagliga skillnader i klimatpåverkan för byggskedet beroende på konstruktionslösning, så som huset skulle byggas idag med de olika systemen. Men projektet visar samtidigt att det finns mer eller mindre klimatsnåla lösningar, oavsett om huvudmaterialet i stommen är betong eller trä. Det finns förhållandevis stora potentialer att minska klimatpåverkan från byggskedet, oavsett vilken konstruktionslösning som väljs. De viktigaste åtgärderna för att minska klimatpåverkan från byggskedet för respektive plattform har studerats. Det framkommer då att det i tillämpningen på referenshuset generellt sett finns möjliga klimatbesparingar på i

storleksordningen 15 procent redan med relativt enkla medel, tillgänglig teknik och med alternativa material och betongrecept som inte påverkar slutfunktionen. Det är därför väsentligt att i all nyproduktion och i större ombyggnadsprojekt identifiera samt genomföra denna typ av enkla och viktiga klimatkloka val. Baserat på resultaten från den här studien är nedanstående åtgärder intressanta att beakta:

- Beställ klimatförbättrad betong
- Välj de klimatmässigt bästa produkterna för de stora materialgrupperna
- Välj förnybara bränslen för transporter
- Optimera energianvändningen på byggsplatsen
- Välj beläggning på balkonger med låg klimatpåverkan med hänsyn till underhåll
- Räkna på klimatpåverkan i varje enskilt byggprojekt
- Öka kompetensen om klimatpåverkan i hela värdekedjan, inte minst för inköpsfunktionen.

Förbättringsåtgärderna har bedömts som möjliga att genomföra redan idag, men naturligtvis kan det finnas kostnads- och produktionsmässiga skäl till att de inte regelmässigt genomförs. Projektets uppgift har dock varit att belysa just klimatbesparingar som är möjliga att genomföra, kostnadsfrågor ligger utanför projektets mål. Likaså är det enbart klimatpåverkan som analyserats i studien, och inte annan påverkan på miljön och människors hälsa, uttag av naturresurser, biologisk mångfald, etc.

För närvarande händer mycket som sannolikt leder till en ökad styrning mot byggkoncept med förbättrad klimatprestanda: Boverkets förslag till klimatdeklaration för byggnader (Boverket, 2018) samt ökat byggande med såväl senaste versionen av Miljöbyggnad, som nu ställer krav på att hantera byggskedets klimatpåverkan med hjälp av LCA, samt andra miljöcertifieringar som redan ställer liknande krav.

Ett antal ytterligare delfrågor har också studerats i projektet:

- Byggande av ett tänkt garage motsvarande ett parkeringstal på 0,5 under huset ger upphov till i storleksordningen ytterligare $48 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^2 A_{\text{temp}}$ för byggskedet (modul A1-A5).
- Scenariot för beräkningen av grundfallet för driftenergi motsvarar dagens medelvärden för fjärrvärme och nordisk elmix under hela analysperioden på 50 år. Med ett alternativt 50-årsscenario som ligger mer i linje med Miljömålsberedningens målscenario, ökar byggskedets andel av livscykelns klimatpåverkan från 50-60 procent till i storleksordningen 60-70 procent exklusive garagets påverkan.
- Scenariot för beräkningen av grundfallet för underhåll och utbyte i användningsskedet motsvarar normalt underhåll och livslängder på byggdelar. I praktiken kan underhåll och utbyte bli något helt annat beroende på hur byggnader används och förvaltas samt till följd av exempelvis förändrade behov och preferenser i framtiden. En sådan fråga gäller uppkomsten av vattenskador. "Extra" klimatpåverkan till följd av sanering av vattenskador i referenshuset under en analysperiod om 50 år motsvarar i det värsta scenariot som beräknats (mest omfattande lokala skadan) drygt $4 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^2 A_{\text{temp}}$.
- Träbaserade produkter från ett koldioxid neutralt skogssystem, dvs. där upptag är lika med eller större än utsläppen till följd av uttaget av skogsråvara, lagrar biogent kol under sin livstid. Denna så kallade kolsänka har inte räknats med i beräkningarna av klimatpåverkan i grundfallen, men ingår däremot i den nationella klimatrapporteringen. Enligt de standarder som vi tillämpar ska denna typ av information redovisas separerat från utsläpp av växthusgaser. För de betongbaserade systemen utgör denna kolsänka $31\text{-}47 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^2 A_{\text{temp}}$. För systemet med volyelement i trä ligger den på $160 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^2 A_{\text{temp}}$ och för massiv stomme i KL-trä $355 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^2 A_{\text{temp}}$. Om huset står i 100 år och hänsyn tas till denna kolsänka så skulle ett massivträhus bli klimatpositivt, det vill säga om man räknar bort driftenergens klimatpåverkan eller antar att den är noll i framtiden.
- Kumulativ energianvändning (eller primärenergi) har även beräknats under en analysperiod av 50 år för de fem plattformarnas tillämpning på referenshuset. Resultaten visar att byggskedet (modul A1-A5) står för mellan 22-29 procent av total kumulativ energianvändning över hela livscykeln, under en analysperiod om 50 år. Ser vi enbart till icke förnybar kumulativ energianvändning står byggskedet för 32-37 procent.

Begrepp och förklaringar

Nedan följer förklaringar och korta beskrivningar av ett antal begrepp som förekommer i rapporten eller som ibland diskuteras i relation till livscykelanalys av byggnader. Se i övrigt de tidigare rapporterna om LCA-fallstudierna av Blå Jungfrun respektive Strandparken (Liljenström, m.fl., 2015; Larsson, m.fl., 2016) som

beskriver livscykelanalys generellt, livscykelbaserade beräkningar av klimatpåverkan för byggnader enligt standarden EN 15978 samt vilken typ av livscykeldata som används i beräkningarna, mer ingående.

Livscykelanalys (LCA)

Livscykelanalys (Life Cycle Assessment) – LCA är en metod för att kvantifiera en produkt eller tjänsts totala miljöpåverkan under hela livscykeln. Den internationella standarden ISO 14 044 anger tillvägagångssättet för en livscykelanalys på en övergripande nivå. För en byggnad motsvarar en hel livscykel all miljöpåverkan från råvaruutvinning, materialtillverkning, transporter, produktion på arbetsplatsen, hela användningsskedet inklusive driftenergi, underhåll, utbyte och ombyggnad samt slutligen rivning och avfallshantering under en ansatt analysperiod om exempelvis 50 år. Livscykelanalys (LCA) används i dag inom många branscher som ett verktyg för att beräkna och jämföra varor och tjänsters miljöprestanda. En LCA resulterar i en miljöprofil som beskriver bidraget till olika miljöpåverkanskategorier som klimatpåverkan, försurning, övergödning, marknära ozon osv.

LCA enligt bokförings- respektive konsekvensmetodik

En livscykelanalys innebär många metodval som skall göras utifrån vad som är syftet med analysen. Ett viktigt metodval är om analysen skall göras enligt bokförings- eller konsekvensmetodik. En bokförings-LCA syftar till att svara på frågor av typen "Vilken miljöpåverkan är förknippad med denna produkt", medan en konsekvens-LCA svarar på frågor av typen "Vad skulle hända om..?", genom modellering av effekter av ändringar i ett system (Baumann och Tillman, 2004). I detta projekt utförs bokförings-LCA och detta val överensstämmer med metodvalet i LCA-standarderna för byggprodukter, EN 15804 (CEN, 2013) samt för byggnader, EN 15 978 (CEN, 2011). En av fördelarna med bokförings-LCA är att den ger ett verifierbart resultat och överensstämmer med hur statistik tas fram och är därför användbar för miljömålsuppföljning. Om man vill ta reda på vilka klimateffekter på marginalen som ett nytt beslut kommer att generera bör en konsekvensanalys användas. Resultatet av en konsekvensanalys styrs till stora delar av val som görs av LCA-utföraren. En bokförings-LCA som i dag är den vanligaste analysmetoden då enskilda byggnader studeras är också det som valts i denna studie. Bokförings-LCA har förutsättningar att bli robust i den mening att oavsett vilken person som gör den så ger analysen samma svar. Detta kräver att metodiken, systemgränser, allokeringsmetoder med mera specificeras i detalj på ett sätt som blir allmänt accepterat för alla produkter.

Klimatpåverkan mätt i Global Warming Potential (GWP)

Global Warming Potential, global uppvärmningspotential är ett mått på klimatpåverkan som innefattar potentiella bidrag till växthuseffekten från växthusgaser. De olika gasernas bidrag till växthuseffekten kan jämföras och adderas till varandra om man multiplicerar mängden av varje enskild gas med dess GWP-faktor. Denna faktor anger hur effektiv gasen är som klimatpåverkare i förhållande till koldioxiden, vanligen sett i ett hundraårsperspektiv (GWP100) och anges i enheten **koldioxidekvivalenter**.

Koldioxid (CO₂) och koldioxidekvivalenter (CO₂e)

Koldioxid (CO₂) är den vanligast förekommande gasen i jordens atmosfär efter kväve, syre och vattenånga. Den är en huvudprodukt i förbränningsprocesser som bidrar till växthuseffekten men är också den naturliga sönderfallsprodukten från levande organismer. Koldioxid är dock inte den enda emissionen som bidrar till klimatpåverkan och vid beräkningar av klimatpåverkan vill man därför använda den sammanvägda effekten av alla, så kallade, växthusgaser. Detta mäts då i enheten CO₂-ekvivalenter, då koldioxid är den vanligast förekommande växthusgasen. Andra vanliga växthusgaser är till exempel metan (CH₄) och lustgas (N₂o). Båda dessa är kraftigare växthusgaser och 1 kg metan motsvarar till exempel 25 kg CO₂-ekv och 1 kg lustgas motsvarar 298 kg CO₂-ekv. 1 ton CO₂ motsvarar en volym på 550 m³.

Kumulativ energianvändning och primärenergi

Kumulativ energianvändning beskriver en produkts summerade direkta och indirekta energianvändning i ett livscykelperspektiv. Begreppet används många gånger synonymt med primärenergi och beräknas ibland i LCA-beräkningar. I begreppet ingår inte användningen av sekundära energibärare såsom avfall och spill som innebär energiutvinning av uttjänta produkter. Kumulativ energianvändning representerar energianvändningen under en produkts hela livscykel, det vill säga den indirekta energi som åtgår för utvinning, omvandling och distribuering av råmaterial samt övrig energianvändning under en produkts hela livscykel. I kumulativ energianvändning kan också det energiinnehåll som eventuellt finns bundet i en produkt, exempelvis i trä, inkluderas. Den kumulativa energianvändningen för en byggnad inkluderar således all primär energianvändning under byggnadens livscykel, det vill säga inte bara köpt energi i driftskedet.

Flygaska

Flygaska används emellanåt som alternativt bindemedel vid cementtillverkning som en metod att minska klimatpåverkan. Flygaska är den fasta fas som avskiljs vid rökgasrening vid kolkondenskraftverk. Flygaska som

används för betongtillverkning regleras i standarden SS-EN 450-1 och flygaskan skall CE-märkas. De krav som ställs i standarden på kemiska och fysiska egenskaper innebär att aska som kommer från förbränning av kommunalt och industriellt avfall inte får användas som tillsatsmaterial i cement utan enbart den flygaska som kommer från kolpulvereldade kraft- och värmeverk och som avskiljs till exempel med elektrostatiske filter. Den kemiska sammansättningen av stenkolsflygaska varierar beroende på kolets sammansättning, men i huvudsak består stenkolsflygaska av aluminiumsilikatglas. Flygaska kommer sannolikt att vara en bristvara allt eftersom koleldade kraftvärmeverk fasas ut.

Masugnsslagg

Slagg från stålindustrins processer kan också användas som alternativt bindemedel vid cementtillverkning för att minska utsläppen av koldioxid och regleras i standarden SS-EN 450-1. I Sverige produceras stål främst av järnmalm i masugnar. Tillverkningsprocessen innebär flera steg, där man i processen använder kalksten för att ta bort föroreningar från malmen. Kalkstenen och föroreningarna bildar ett slagg som biprodukt som innehåller kalcium. När man tillverkar cement måste man avlägsna den koldioxid som kalkstenen innehåller vilket är mycket energikrävande och ger koldioxidutsläpp. När man använder kalksten i stålproduktionen upphettas den så mycket att koldioxiden avlägsnas. Om slaggen används som råvara i cementindustrin minskar utsläppen av koldioxid eftersom detta utsläpp då allokerats på stålproduktionen. Aspekter som måste beaktas är att slaggprodukten kan innehålla andra ämnen och högre koncentrationer av ämnen än den naturliga kalkstenen, vilket kan påverka cementens kvalitet och utsläppen från processen. Tillgången på masugnsslagg kan vara konjunkturkänslig genom att efterfrågan på svenskt stål varierar.

Karbonatisering av betong

När kalksten bränns i cementugnen släpps koldioxid ut. Sedan när betongen bryts ner när den exponeras för luft återgår en viss del av det koldioxid som släpptes ut vid tillverkningen. Detta återupptag av koldioxid kallas karbonatisering. I en byggnad är betongen inte fritt exponerad för luft och karbonatiseringen går långsamt och är därmed inte signifikant för bidraget till klimatpåverkan. Potentialen är istället att krossa betongen vid en framtida rivning och på så sätt påskynda karbonatiseringen. Se även avsnitt 7.4 samt bilaga 5 i rapporten om detta.

Biogent kol

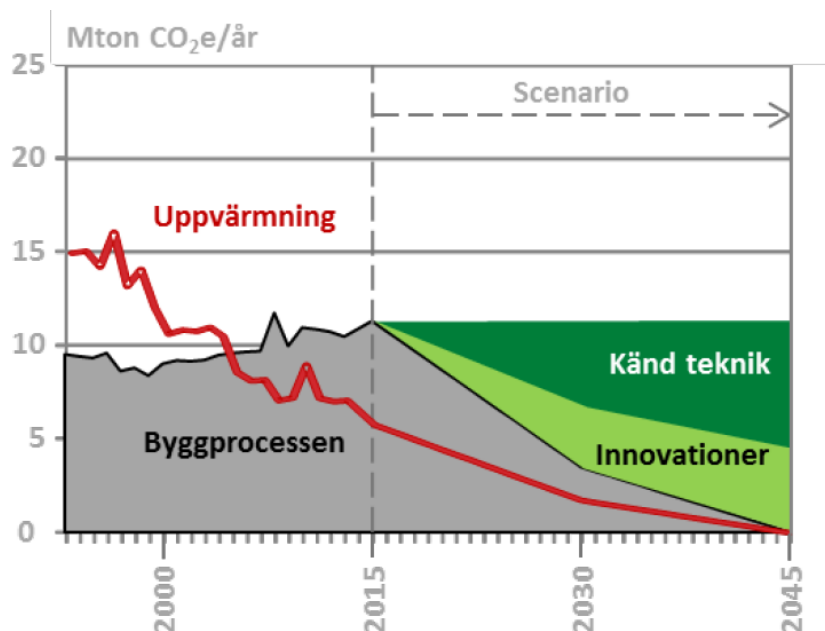
Med biogent kol avses kol som tagits upp av levande biomassa. Notera att biogent kol också inkluderar klimatpåverkan på markanvändning (land use, LU) och förändring av markanvändningen (land use change, LUC). I en LCA är det idag vanligt att även redovisa biogent kol som är bundet i produkten. Se även avsnitt 7.4 samt bilaga 5 i rapporten om detta.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	8
2. Mål, syfte och avgränsningar	9
3. Metod - beräkning av klimatpåverkan för grundscenarier	9
3.1 Projektering av studerade byggsystem på referenshuset	9
3.2 Metodik för beräkning av klimatpåverkan.....	13
3.2.1 Beräkning av produktskedet (modul A1-A3)	14
3.2.2 Beräkning av transporter till byggplatsen (modul A4).....	14
3.2.3 Beräkning av bygg och installationsprocessen (modul A5)	15
3.2.4 Scenarier för och beräkning av karbonatisering av betong (modul B1)	15
3.2.5 Scenarier för och beräkning av underhåll (modul B2) och utbyte (modul B4)	15
3.2.6 Scenarier för och beräkning av driftenergi med dagens prestanda (modul B6)	16
3.2.7 Scenarier för slutskedet (modul C1-C4).....	16
4. Beskrivningar av de studerade byggsystemen	17
4.1 System 1: Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form	17
4.2 System 2: Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar.....	18
4.3 System 3: Prefabricerad betongstomme	19
4.4 System 4: Volymelement i trä.....	20
4.5 System 5: Massiv stomme i KL-trä	21
4.6 Sammanfattning över inventeringsdata för byggsystemen.....	22
5. Resultat för grundscenarier.....	23
5.1 System 1: Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form	24
5.2 System 2: Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar.....	25
5.3 System 3: Prefabricerad betongstomme	26
5.4 System 4: Volymelement i trä.....	27
5.5 System 5: Massiv stomme i KL-trä	28
5.6 Diskussion om resultat för grundscenarier	29
5.7 Beräkning av garage.....	30
6. Förbättringspotentialer ur klimatsynpunkt för olika byggsystem	31
6.1 Klimatförbättrad betong.....	31
6.2 Övriga klimatförbättrade produktval.....	33
6.3 Klimatförbättrade transporter	33
6.4 Förnybart bränsle och energieffektiva bodar på byggplatsen	34
6.5 Reduktionspotential per byggsystem	35
7. Övriga delarbeten i projektet	36
7.1 Känslighetsanalyser för scenarier i användningsskedet (skede B).....	36
7.1.1 Underhåll och utbyte (modul B2 och B4) för 100 års analysperiod.....	36
7.1.2 Beskrivning av alternativt scenario för driftenergi (modul B6).....	36
7.1.3 Resultat för känslighetsanalyser för användningsskedet	37
7.2 Beräkning av kumulativ energianvändning.....	39
7.3 Klimatpåverkan till följd av vattenskada.....	43
7.4 Kunskapsläget om kolsänkor och karbonatisering av betong.....	43
8. Sammanfattande diskussion	45
9. Referenser	48
Bilaga 1: Detaljerad beskrivning av beräkning av underhåll och utbyte (modul B2 och B4).....	51
Bilaga 2: Detaljerade krav på projekterade lösningars energiprestanda	52
Bilaga 3: Beräkning av klimatpåverkan för vattenskador	53
Bilaga 4: Översiktlig genomgång av fukt- och brandrisker i modernt byggande.....	55
Bilaga 5: Bakgrundsinformation om biogent kol och karbonatisering av betong	56

1. Inledning

Byggskedets klimatpåverkan sett till hela byggnadstocken är betydande och bidrar nu nationellt mer till klimatpåverkan än driftenergens klimatpåverkan, se figur 1. Även sett till en tänkt livscykel för en byggnad på 50 år konstaterades för några år sedan att klimatpåverkan från byggskedet var i samma storleksordning som driftenergin, baserat på en analys av 11 olika byggnader (Erlandsson, 2014). Även de två tidigare fördjupade LCA-studierna från projektgruppen för ett nybyggt flerbostadshus i betong respektive i trä (Liljenström m.fl., 2015; Larsson m.fl., 2016), har belyst byggskedets relativa ökade betydelse för klimatpåverkan över livscykeln för nyproducerade flerbostadshus idag.



Figur 1. Byggskedets klimatpåverkan baserat på historiska data och ett scenario där vi med hjälp av känd teknik klarar en betydande reduktion till 2030 och ytterligare förbättringar till 2045 (Erlandsson m.fl. 2017)

Det finns nu en ökad medvetenhet om att klimatpåverkan från byggprocessen måste hanteras och över tiden minska för att vi ska klara våra miljömål. Denna insikt om byggprocessens bidrag till klimatpåverkan i förhållande till driftenergin är numera allmänt känt, mycket tack vara projektgruppens tidigare arbete, vilket också har bidragit till att det idag finns framme ett förslag om ett allmänt krav på att klimatdeklarera alla nya byggnader (Boverket, 2018). En allmän klimatdeklaration skulle öka medvetenheten om klimatpåverkan i varje projekt. För att en sådan klimatdeklaration ska undvika suboptimeringar så måste den på sikt omfatta en hel livscykel. Vidare är det allmänt känt att klimatberäkningar framför allt bör genomföras i tidiga skeden för att identifiera förbättringar, då valfriheten fortfarande finns och mer klimateffektiva lösningar kan genomföras. Det är på detta sätt som många certifieringssystem för byggnader använder en LCA. Det kan även vara värt att notera att dessa certifieringssystem ofta skiljer på driftenergens och byggnadens klimatpåverkan. Samma möjlighet finns i en framtida Klimatdeklaration som då hanterar byggnadens livscykel och dess klimatpåverkan, där driftens energianvändning hanteras separat i en egen energideklaration.

Oavsett en plattforms huvudsakliga materialval, såsom betong eller trä, så behöver vi i rask takt identifiera och realisera de klimatbesparingar som går att göra om vi ska nå klimatmålen. I första hand bör material- och resurseffektiva konstruktionslösningar väljas. När projekteringen fortskrider så väljs den leverantör vars miljövarudeklaration (EPD) ger lägst klimatpåverkan i produktgruppen. Eftersom en byggplattformslösning inte består av ett material utan flera, så är det kombinationen av material som är det intressanta, och utgångspunkt för såväl klimatförbättrande åtgärder som andra förbättringar. En förbättring bör normalt sett inte leda till försämrade prestanda på något annan betydelsefull funktionell aspekt eller vara kostnadsdrivande. Vi har bara sett början på denna utveckling i byggsektorn, där klimatkraven är de som driver utvecklingen framåt. För den som är intresserad av att ställa miljökrav med en LCA i upphandling så finns detta redovisat i två rapporter från Malmqvist, m.fl. (2017) och Erlandsson, m.fl. (2018) och skall ses som en första kunskapsmanställning för att driva denna utveckling framåt.

I detta projekt är avsikten att göra en så rättvisande och oberoende analys av klimatpåverkan i ett livscykel-perspektiv som möjligt, för ett antal olika byggsystem för flerbostadshus som tillämpas idag på den svenska marknaden. I studien har vi sett till de olika projekterade lösningarna uppfyller samma grundläggande funktionella krav enligt BBR kompletterat med högre krav på ljudklass och energianvändning. Utöver dessa grundläggande krav så kan det finnas funktioner eller andra aspekter som skiljer mellan alternativen och som måste vägas in om uppgifterna ska användas som ett beslutsunderlag. Vidare utgår projektet ifrån att vi

fortfarande behöver mer kunskap om vad som är stort och smått under en byggnads livscykel och vilka förbättringspotentialer som finns.

2. Mål, syfte och avgränsningar

Projektet kompletterar och bygger vidare på tidigare SBUF-studier (Liljenström m.fl., 2015; Larsson m.fl., 2016) genom att utföra LCA-beräkningar av klimatpåverkan på ett och samma typhus, på vilket olika konstruktionslösningar teoretiskt tillämpas. Beräkningarna redovisar vilka livscykelskedan som dominerar bidraget till klimatpåverkan och belyser potentialer till förbättringar, oavsett vilket byggsystem som väljs.

Målet med projektet är att lyfta frågan om olika byggplattformas klimatpåverkan under livscykeln för att öka förståelsen och kunskaperna hos byggsektorn, myndigheter och politiker. Syftet med studien är att studera byggnadernas klimatpåverkan under hela livscykeln och att för respektive plattform undersöka om det finns möjligheter med känd teknik att göra klimatförbättrande åtgärder.

Samtliga studerade byggplattformar uppfyller Boverkets byggreglers (BBR) grundläggande krav samt överträffar dessa för ljudklass B (SIS, 2004) och ett energibehov definierat som 41 kWh/m² och år köpt fjärrvärme och 12 kWh/m² och år fastighetsel 41 kWh köpt fjärrvärme och 12 kWh fastighetsel. I beräkningen av driftenergi (modul B6) ingår inte hushållsel och våra redovisningar följer därmed samma systemgräns som tillämpas i BBR. I originalutförande, det vill säga vårt grundfall, så utförs byggnaden utan underliggande garage i ett källarplan. Detta hanteras istället som ett möjligt tillval. Samtliga plattformsalternativ har anlagt på en platta på mark, uppstolpat yttertak med papptak och en putsad fasad, vilket idag är ett dominerande fasadmaterial val på flerbostadshus. Det har enligt våra anvisningar varit möjligt att välja olika putssystem och balkonglösningarna, varför dessa skiljer sig något åt mellan de olika byggplattformarna. Det finns exempel på genomförda livscykelanalyser där extrema antaganden om materialval samt påföljande utbyte och underhåll i ett enskilt fall kan medföra en hög klimatpåverkan, såsom i brf Viva (Kurkkinen m.fl. 2015). I den studien antogs en målrad träfasad, men i detta projekt har vi valt en putsad fasad som är mycket mer vanlig för flerbostadshus och mer rationell att underhålla. Valet av fasadmaterial har ingen med val stomme att göra utan är en gestaltungsfråga, varför alla byggplattformar här är putsade.

Betydande materialval såsom betong, KL-trä och isolering har gjorts utifrån de val som gjorts av respektive uppgiftslämnare och som bidragit med underlagsinformation till respektive byggsystem. I praktiken betyder detta att resultaten som redovisas här inte skall ses som ett medelvärde för hur faktiska val görs i allmänhet. En svårighet med att göra sådana medelvärdesberäkningar är att det saknas information om vilka marknadsandelar olika leverantörer har.

I projektet ingår enbart klimatpåverkan och inte att bedöma andra aspekter såsom byggnadsteknik, projektkonometri eller livscykelkostnader.

3. Metod - beräkning av klimatpåverkan för grundscenarier

3.1 Projektering av studerade byggsystem på referenshuset

Fem olika konstruktionslösningar har studerats för ett och samma referenshus. Referenshuset utgår ifrån ett av Svenska Bostäders fyra flerbostadshus i kvarteret Blå Jungfrun i Hökarängen utanför Stockholm. Det aktuella huset (Figur 2) färdigställdes 2010 och har 6 våningsplan inklusive entréplanet, inrymmer 22 lägenheter och har två hissar och biluppställningsplats i markplan.

Beräkningarna baseras på en gemensam byggnadsutformning genom att alla fem alternativ följer samma arkitekturhandlingar. Dessutom uppfyller byggplattformarna samma grundläggande funktionella krav, vilket gör att de med avseende på dessa grundkrav blir jämförbara. De fem systemen som analyserats är:

1. **Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form (VST)** – Platsgjuten betongstomme där inner- och ytterväggar gjuts på plats i kvarsittande former av cementbundna skivor och med platsgjutna bjälklag på kvarsittande form, så kallade plattbärlag. Detta är den ursprungliga konstruktionen hos referenshuset så som det är uppfört. Konceptet marknadsförs och säljs under benämningen VST. Grundfallets beräkningar baseras på data från Skanska, som uppförde kvarteret Blå Jungfrun 2010, men uppdaterat med avseende på betongvara, för att motsvara hur huset skulle uppföras idag.
2. **Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar** – Bjälklag är utformade med plattbärlag och platsgjutna bärande innerväggar med en flyttbar och återanvändningsbar form. Ytterväggar består av lätta utfackningsväggar med reglar av plåt och trä och bärande stålpelare integrerade i fasad. Plattformsalternativet är en standardiserad byggplattform från NCC och är därmed representativ för en modern platsgjuten stomme med lätta utfackningsväggar.

3. **Prefabricerad betongstomme** - Stomme i form av prefabricerade betongelement i väggarna och med ett håldäckbjälklag kompletterat med ovanpåliggande regelsystem av plåtreglar och spånskiva (Granab) för att bland annat klara ljudkraven och förenkla installationsdragningen. Beräkningar baseras på data från Strängbetong och är representativt för denna typ av prefablösning med både betong i väggar och bjälklag. Svenska produktionsförhållanden har antagits vilket framförallt påverkar transportavstånden.
4. **Volymelement i trä** – Prefabricerade volymelement i trä som produceras i fabrik. Beräkningar baseras på uppgifter från Lindbäcks och är representativt för konstruktionslösningar från detta företag eller bolag med liknande koncept. Andra tillverkare av volymelement förekommer och även om konstruktionen kan skilja något så bör detta alternativ kunna anses representativt för en annan leverantör som använder trä som grund i systemet och dess bärande delar.
5. **Massiv stomme i KL-trä** - Stomme och yttervägg utförs med korslimmat trä (KL-trä), det vill säga en massiv trästomme. Bjälklaget utförs med ovanpåliggande regelsystem av plåtreglar och spånskiva (Granab) för att klara ljudkraven och förenkla installationsdragningen. Beräkningar baseras på en konstruktionslösning från Stora Enso och kan anses representativ för moderna KL-trä-koncept för flerbostadshus i denna storlek.

Byggsystemen valdes dels för att sammantaget representera hur majoriteten av flerbostadshus i Sverige byggs idag, dels för att representera påtagligt olika byggsystem som tillämpas idag. De leverantörer som valts ut baserades på att de var beredda att delta aktivt i projektet och ansvara för att projektera fram en lösning för det aktuella byggsystemet applicerat på referenshuset enligt projektets krav.



Figur 2. Hus 3 i Svenska Bostäders kvarter Blå Jungfrun i Hökarängen som är det referenshus som respektive konstruktionslösning har projekterats för (Bilder: Reflex Arkitekter AB).

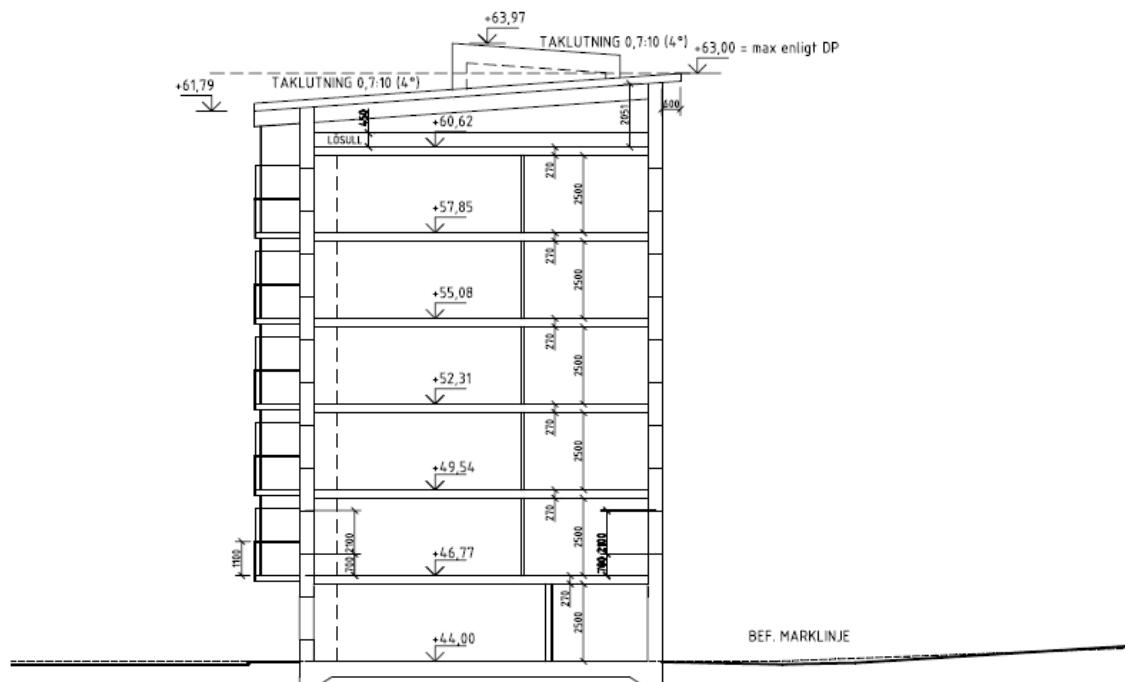
De deltagande plattformägarna (utöver VST-systemet som projektgruppen redan hade data för) ombads projektera sina lösningar för referenshuset. Beräkningarna baseras på följande förutsättningar:

- Samtliga byggplattformar uppfyller BBR:s grundläggande krav, samt högre ljud- och energikrav enligt nedan,
 - Ljudklass B enligt krav i standarden för ljudklassning av bostäder, SS 25267, (SIS, 2004). Tillförsel av värme sker genom fjärrvärme.
 - Energieffektivitet för byggnaden är $43 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år köpt fjärrvärme och $12 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år för fastighetsel, det vill säga köpt energi på $53 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år.
- Byggsystemet projekteras för referenshuset i enlighet med planlösningar och typritningar enligt originalet. Det vill säga, samma antal lägenheter, planlösningar, fönster- och balkongsättningar, etc., se Figur 2-4.

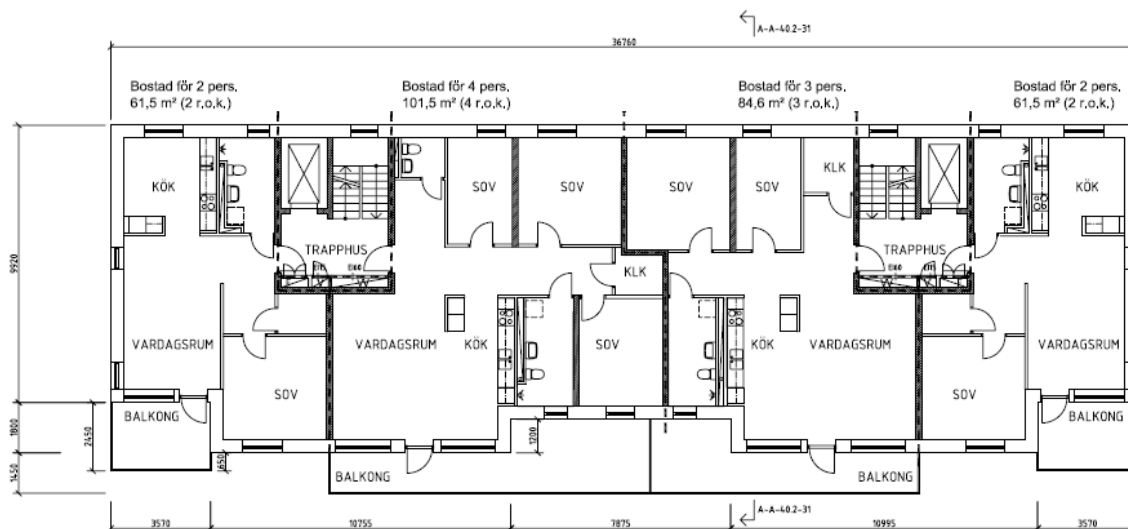
- A_{temp} 2198 m²
- Putsad fasad (som i referensobjektet)
- Tak av papp (som i referensobjektet)
- Betongplatta på mark (med 300 mm EPS-isolering)
- Projektgruppen har lagt på samma resurssammansättning för invändiga ytskikt, inredning, hiss och övriga installationer. Alla alternativ har därmed samma klimatpåverkan för dessa delar.

Referenshuset i originalutförande är designat för att ha klara passivhuskriterier, det vill säga betydligt bättre energiprestanda än byggnormen. De hus som byggts uppfyller FEBY08 krav för passivhus motsvarande max 55 kWh/m² A_{temp} vid huvudsaklig uppvärmning med fjärrvärme (Nordström, 2008). Kravnivån på max 55 kWh/m² A_{temp} och är tillämplas i Stockholms Stads allmännyttiga bostadsbolag. Göteborgs Stad tillämpar ett krav på 60 kWh/m² A_{temp} och år. Vi har därför ansatt att BBR:s krav inte motsvarar det marknaden efterfrågar idag och i stället valt en rimlig ambitionsnivå på totalt 53 kWh/m² A_{temp} , för dem som vill bygga bättre än nuvarande byggnorm och utan att det ska anses kostnadsdrivande.

Kravspecifikationen anger att A_{temp} skulle vara densamma i samtliga byggsystems projektering av referenshuset. En konsekvens av detta är att en yteffektiv lösning med exempelvis högpresterande isolering inte gynnas, vilket kan vara en viktig faktor i en stadsmiljö där byggrätten regleras på detta sätt. Här tillämpas istället gemensam A_{temp} då detta i de flesta fall är ett relevant mått och ger användaren ett nyckeltal på klimatpåverkan i förhållande till användbar yta i byggnaden, vilket också sammanfaller med energiberäkningens krav enligt byggreglerna. Boverket (2018) föreslår dock användningen av bruttoarea (BTA) i sitt förslag till klimatdeklaration på grund av att även garage föreslås ingå i deklARATIONEN för de byggnader som har underliggande garage. Därmed ingår även garagearean i redovisningsenheten vilket inte ingår i A_{temp} . Notera att resultat i klimatpåverkan per m² A_{temp} inte är jämförbara med resultat per m² BTA. De projekterade lösningarna har således varierande bruttoarea, då tjockleken på yttervägg skiljer sig. Likaså varierar de projekterade lösningarna något i höjd på grund av skillnader i bjälklagstjocklek för olika byggsystem. Dessa mått är sammanställda i avsnitt 3.6, vilket exempelvis medger att beräkna klimatpåverkan per bruttoarea istället för den som är intresserad.



Figur 3. Sektion av referenshuset (Sektion A, Hus 3 Blå Jungfrun, Källa: Svenska Bostäder).



Figur 4. Planlösning för referenshuset plan 2-6 (Hus 3, Blå Jungfrun. Källa: Svenska Bostäder)

Fokus i projektet ligger på att göra jämförbara klimatberäkningar för olika byggsystem och inte val av fasadmaterial vilket normalt sett inte påverkas av val av byggsystem. Som fasadbeklädnad valdes puts och tak med papp för samtliga studerade byggsystem så att behovet av varierande yttre underhåll minimeras. Beroende på ytterväggskonstruktion och val av puttsystem med hänsyn tagen till olika putsbärare så finns vissa variationer i materialmängder mellan plattformarna. På samma sätt har olika balkonglösningar valts (fribärande, inspända eller upphängda med sidostag), se vidare beskrivning av respektive byggsystem i kapitel 4.

Respektive byggsystems leverantör har projekterat en lösning för platta på mark (dvs. exakt enligt de handlingar de erhållit). Samma platta på mark som projekterats för ett av de platsbyggda betongalternativen (system 2) har använts för övriga alternativ, utom system 1 (VST) som har en egen platta i kalkylen som motsvarar den som finns i system 1. Som ett alternativ och känslighetsberäkning har projektgruppen tagit fram en förenklad garagelösning som då utgår ifrån att första våningens bjälklag är samma som på garaget ovanpåliggande bjälklag, se vidare avsnitt 5.7.

Då resultaten från projektet är tänkta att kunna användas för att identifiera möjliga klimatförbättringar i framtida byggande, ansattes högre krav på ljudförhållanden och energiprestanda än nu rådande krav enligt Boverkets byggregler. För flerbostadshus med trästommar räcker det inte att bjälklaget klarar bärande krav för att samtidigt klara ljudkrav enligt ljudklass B. Det medför generellt någon form av tilläggskonstruktion som därmed ökar tjockleken på bjälklaget. Flera olika alternativa bjälklagslösningar för att klara ljudklass B som Stora Enso tillhandahöll, granskades, diskuterades med utomstående experter och justerades till slut till den lösning som är beskriven i kapitel 4.

Leverantörerna av byggsystemen gavs också krav och råd för att säkerställa att energiberäkningarna genomfördes på ett likartat sätt (se detaljer i Bilaga 2). Energiberäkningarna har genomförts av respektive leverantör, men granskats av projektgruppen som vid behov påtalat felaktigheter och behov av revideringar. Detta var viktigt eftersom inlämnade materialmängder behöver överensstämma med framför allt isoleringstjocklekar och materialval för respektive system.

Utifrån valda konstruktionslösningar har plattformägarna tagit fram en byggkostnadskalkyl med de resurser som går åt i byggskedet, motsvarande en produktionskalkyl. Detta betyder att den inventering som gjorts här omfattar allt som krävs för att bygga huset. Produktionskalkylen utgör därmed den ingående resurssammansättning som vi sedan kopplar LCA-data mot. Detta görs helt digitalt med verktyget Anavitor, vilket resulterar i att "allt är med" vilket det normalt sett inte är i andra LCA:er. Vanligtvis görs detta manuellt och bara de viktigaste materialen ingår (jämför exempelvis med Viva-studien, Kurkkinen, m.fl., 2015).

För system 1) Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form och 2) Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar används kompletta produktionskalkyler för att ta fram respektive byggplattformens resurssammansättning. För övriga alternativ har den kalkyl som erhållits kompletterats så att den efter tillägg är lika omfattande som en produktionskalkyl. Detta betyder att alla de resurssammansättningar som används för LCA-beräkningarna motsvarar kvaliteten i en produktionskalkyl.

3.2 Metodik för beräkning av klimatpåverkan

Notera att den typ av LCA-beräkning som görs här och som utgår ifrån en produktionskalkyl innehåller mycket mer resurser (mellan 100 och 200 resurser) än vad som är brukligt för en LCA (normalt sett färre än 30 resurser). Byggarbetsplatsens klimatpåverkan i form av bodar, maskiner och fordon baseras också på en kostnadskalkyl som anpassats för de olika byggplattformarna och redovisas under modul A5.

Omfattningen av LCA:n och beräkningsmetodiken är densamma som i de tidigare studierna av ett nyproducerat flerbostadshus i betong (Liljenström, m.fl., 2015) respektive massivträ (Larsson, m.fl., 2016). Beräkningarna följer också den beräkningsmetodik som tillämpats i de studierna och som följer beräkningsstandardEN 15978 (CEN, 2011). De beräkningar som presenteras här omfattar klimatpåverkan över livscykeln och informationsmoduler enligt Figur 5. De informationsmoduler som inte inkluderats är ombyggnad (modul B5) och byggnadens vattenanvändning (modul B7). Ombyggnad är en modul som det inte framgår i standardEN 15978 på vilket sätt den ska tillämpas vid en nybyggnad. Vattenanvändningen (B7), omfattar enbart renavvattenproduktion och dess infrastruktur vilket normalt sett inte ingår i vad som man i Sverige "belastar" en byggnad" med, på samma sätt som man oftast i Sverige inte inkluderar hushållsel i en byggnad.

A 1-3 Produktskede			A 4-5 Byggproduktions- skede		B 1-7 Användningsskede						C 1-4 Slutskede			D Tilläggs- info		
Råvaruförsörjning (A1)	Transport (A2)	Tillverkning (A3)	Transport till byggplatsen (A4)	Bygg- och installationsprocessen (A5)	Användning (B1)	Underhåll (B2)	Reparation (B3)	Utbyte (B4)	Ombyggnad (B5)	Driftsenergi (B6)	Driftens vattenanvändning (B7)	Demontering och rivning (C1)	Transport (C2)	Restproduktbehandling (C3)	Bortskaffning (C4)	Fördelar och belastningar utanför systemgränsen
x	x	x	x	x	x	x		x		x		x	x	x	x	

Figur 5. En byggnads livscykelkedan och modulindelning enligt standardEN 15978. De moduler som markerats med X ingår i beräkningarna i denna rapport. I den svenska översättningen av EN15804 (CEN, 2013) och EN15978 (CEN, 2011) har SIS infört benämningen Byggskedet för modul A1-5.

Klimatpåverkan kopplat till produktion av material ingår i modul A1-A3, transport av material till byggplats i modul A4. I modul A5 ingår byggarbetsplatsens produktion (maskiner, bodar osv), transport och avfallshandling av det material som blir spill på själva byggplatsen samt energi- och dieselanvändning på byggplatsen. För användningsskedet inbegriper beräkningarna karbonatisering av betong under modul B1, underhåll (B2) och utbyte (B4), samt i slutskedet rivning, transporter av avfall och material för återvinning samt behandling av desamma (modul C1-4).

Modul D ingår inte i den analys som görs här och om den skulle tillämpas så ger den information om och stöd för konsekvenser vid en framtida rivning, med andra ord stöd för vad man bäst gör vid restprodukt-handlingen. Detta resultat ligger "utanför byggnadens systemgräns" och ska därför inte adderas med resultaten för modul A-C, varför vi valt att inte ta med modul D. Modul D kan användas för att beräkna vad energiutvinning av trä som bränsle har för positiva effekter beroende på vilket bränsle detta antas ersätta. På samma sätt kan klimatnyttan för återvunna metaller beräknas vilket är beroende på hur mycket primärt materialåtervinningen antas ersätta och där resultatet beror på vilken tillverkningsprocess för den ersatta metallen som valts.

Omfattningen av lagring av biogent kol under användningsskedet i biobaserade material ska inte heller adderas/subtraheras från resultaten av modul A-C enligt de standarder som gäller för närvarande (dvs. EN 15804 och EN 15978). Detta har dock beräknats separat, då det ingick som ett deluppdrag i projektet, vilket redovisas i avsnitt 7.4.

På samma sätt som tidigare studier av projektgruppen (Liljenström, m.fl., 2015; Larsson, m.fl., 2016) så genomförs beräkningarna för två analysperioder; ett grundfall på 50 år respektive en känslighetsanalys på 100 år. Analysperioden är just en tänkt livscykel som beräkningarna görs för och är inte detsamma som förväntad livslängd. 50 år är dock den livslängd som ofta gäller vid projektering av sådana byggnadsdelar som inte går att

byta ut eller som styr dimensioneringen av karboniseringsdjup i armerade betongkonstruktioner (exempelvis balkong). En viktig aspekt vid val av analysperiod är att byggnader normalt sett byggs om på ett ganska omfattande sätt efter cirka 50 år. 50 år kan då ses som en representativ period för när en standardhöjande ombyggnad kan förväntas ske. En mer verklighetsanpassad metodik borde därför förutsätta en analysperiod som motsvarar tiden fram till en mer genomgripande och prestandahöjande ombyggnad. Detta alternativ kommer analyseras och förhoppningsvis kommer vi kunna föreslå en sådan metodansats som kan hantera ombyggnader i det delprojekt som tidigare nämnts.

I våra tidigare studier (Liljenström, m.fl., 2015; Larsson, m.fl., 2016) har 100 år använts som känslighetsanalys för att synliggöra livslängdens betydelse för centrala komponenter i byggnaden, samt för att visa på hur den relativa betydelsen mellan miljöpåverkan i byggskedet (modul A1-A5) och övriga skeden ändras. Ett uppenbart problem med en analysperiod på 100 år är att mycket kommer hända i en framtid. Ju längre analysperiod, desto mer osäkra blir scenarierna för användnings- och slutskedena eftersom vi inte vet mycket om hur till exempel energimixer och produktionsmetoder kommer att utvecklas i framtiden. Osäkerheter ökar därför säkerligen mer än proportionellt om analysperioden går från 50 till 100 år. I och med att alla byggnader i fallstudien har samma energiprestanda kommer detta inte ha en avgörande betydelse om syftet hade varit en jämförelse. Av denna anledning kan det alltid vara klokt att ställa krav på samma energiprestanda alternativt hantera krav på driftenergi (modul B6) separat.

När vi räknar med en analysperiod om 100 år så måste även sådant som normalt sett inte ingår i normal drift, underhåll och utbyte såsom armeringskorrosion och biologisk nedbrytning av stommen, grundläggning hanteras. Eftersom en hypotetisk 100 årig analysperiod bara kan vara ett begränsat känslighetsscenario, antar vi att ytterväggar, grund- och takisolering, osv. inte behöver bytas, utan vi förlänger "bara" normal drift, underhåll och utbyte till 100 år. Skall tekniska prestanda på exempelvis konstruktionens täthet beaktas, så saknas sådan information och skulle i verkligheten inte behöva hålla i 100 år eftersom, som nämnts ovan, det kommer att bytas ut vid en framtida ombyggnad.

3.2.1 Beräkning av produktskedet (modul A1-A3)

Modul A1 till A3 särredovisas normalt inte i en miljövarudeklaration (EPD) och är heller inget krav enligt standarden. För produktskedet (modul A1-A3) har kostnadskalkyler och annat underlag begärts in från de leverantörer/byggare av olika byggsystem som deltagit i projektet. Vid behov har mängdning av byggsystemens resurssammanställning justerats och kompletterats så att den grundläggande kalkylen som är unik för varje byggsystem ska bli likvärdig i omfattning. Sedan har arbetsgruppen adderat övriga delar det vill säga ytskikt, inredning, hiss och övriga installationer. Detaljer kring hur den kompletta resurssammanställningen (s.k. Bills of Resources) har tagits fram för respektive system framgår under kapitel 4.6.

Resurssammanställningarna för alla byggplattformar, efter kompletteringarna som beskrivits ovan, innehåller alla material och komponenter ner till "skruv- och mutter"-nivå. Klimatpåverkan har sedan beräknats i LCA-verktyget Anavitor genom att resurssammanställningens enskilda mängdposter har multiplicerats med LCA-data från IVL:s Miljödata Bygg. De generella LCA-data som används för beräkning av modul A1-3 i databasen finns publikt tillgängliga genom gratisverktyget Byggsektorns miljöberäkningsverktyg¹. Betydande materialval såsom betong, KL-trä och isolering har gjorts utifrån de val som gjorts av respektive uppgiftslämnare och som bidragit med underlagsinformation till respektive byggsystem. För KL-trä i System 5 har en EPD från Stora Enso använts (med i princip identisk klimatpåverkan för modul A1-3 som KL-trä som Martinsons levererar). För fabriksbetong har faktisk betongkvalitet/hållfasthetsklass inventerats och matchats med generiska LCA-data samt olika alternativ som beskrivs i stycke 6.1 "Klimatförbättrad betong". För prefabbetongen i System 3 används LCA-data motsvarande Svensk Betongs EPD för prefabbetong, medan för håldäcksbjälklag används det klimatförbättrade betongrecept som Strängbetong producerar enligt vid vissa av sina tillverkningsenheter. Detta betyder att materialvalen som gjorts här inte ska ses som ett medelvärde med hänsyn taget till olika materialvals marknadsandelar baserat på försäljningsstatistik.

3.2.2 Beräkning av transporter till byggplatsen (modul A4)

Transporter till byggplatsen har beräknats med hjälp av transportavstånd ansatta i LCA-verktyget Anavitors databas för respektive material/komponent. Dessa generella transportstånd i Anavitor överensstämmer mångt och mycket också med de transportsценарier som finns i gratisverktyget Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (se bilagan i Erlandsson, 2018b), med skillnaden att de stora materialköpen görs med fabriksleveranser i Anavitor medan i BM antas det mesta köpas via en brädgård. För alla betydande transporter har vi gjort egna val. För huvudmaterialen i stommar/prefabricerade element används därför de faktiska transportavstånden och transportslagen från fabrik till byggplatsen i Hökarängen utanför Stockholm. Dessa har sedan kombinerats med data från IVL:s miljödata för lastbilar. Alla lastbilstransporter antas ha en tom returtransport vilket

¹ <https://www.ivl.se/sidor/omraden/miljodata/byggsektorns-miljoberakningsverktyg/bm---praktiska-verktygsfragor.html>

inkluderas i beräkningarna. Transportavstånd för volymelementen i system 4 är ansatt till 850 km vilket speglar avståndet från fabriken i Piteå till byggplatsen i Hökarängen, transport av prefabbetongelement i system 3 är ansatt till 150 km lastbilstransport och KL-träelementen tillverkas idag i Österrike. För dessa har en transportsträcka med tåg ansatts till 2000 km och med lastbil sista biten motsvarande 40 km.

3.2.3 Beräkning av bygg och installationsprocessen (modul A5)

I Sverige har vi bestämt oss att göra ett tillägg till EN15978 för att öka transparensen för modul A5 (Erlandsson, 2018b), enligt tabellen nedan.

Tabell 1 Informationsmodul A5 är uppdelad i underliggande informationsmoduler för en ökad transparens av bygg- och installationsprocessens delar (Erlandsson 2018b).

Modul	Omfattning
A5.1	Spill, emballage och avfallshantering
A5.2	Byggarbetsplatsens fordon, maskiner och apparater
A5.3	Tillfälliga bodar, kontor, förråd och andra byggnader
A5.4	Byggprocessens övriga energivaror (som gasol och diesel för värmare och dylikt, köpt el, fjärrvärme o.s.v.)
A5.5	Övrig miljöpåverkan från byggprocessen, inklusive övergödning vid sprängning, markexploatering, kemikalieanvändning o.s.v.

I beräkning av modul A5.1 ingår klimatpåverkan kopplat till material som blir till spill på byggplatsen. Beräkningen av spill i modul A5.1 baseras på ansatta spillprocent i kalkylen, i de fall detta angivits och om spill undantagsvis saknas används uppgifterna som finns i Anavitor. För prefabricerade moduler eller element är det naturligt att visst materialspill sker i de fabriker där prefabriceringen sker. Klimatpåverkan kopplat till detta hamnar då i beräkningen för modul A1-A3. Ett undantag från denna regel är att spill vid produktion av volymelementen för system 4 trots detta bokförs under A5.1.

A5.2-A5.4 det vill säga all energi- och bränsleanvändning på byggplatsen har beräknats dels baserat på den detaljerade fullständiga GK-kalkyl vi fått för ett av de platsgjutna betongsystemen, system 2, detaljintervjuer med de som tagit fram denna GK-kalkyl, och dels med hjälp av kompletterande frågor till leverantörerna av resterande byggsystem för att kunna bedöma om det är rimligt att använda samma värden som för system 2 eller om det finns anledning att anta att vissa aktiviteter inte förekommer/tillkommer alternativt att tiden för hur länge dessa aktiviteter pågår, skiljer sig. De aktiviteter som ingår i modul A5.2 är användning av tornsvängkran respektive mobilkran för att resa stommen samt förflytta material på byggplatsen, bygghissar, dieselburna byggtransporter samt snöröjnings- och sandningsfordon på byggplatsen. Bränsle/elåtgång för kranar och arbetsfordon har beräknats baserat på antaganden om användningstid, etc. enligt IVL Miljödata bygg (Erlandsson, 2013). A5.3 omfattar el och uppvärmning för bygg- respektive kontorsbodarna under etableringstiden. Övriga energivaror på byggplatsen i modul A5.4 utgörs av el, fjärrvärme och varmvatten under framför allt stomkompletteringen av huset innan det tas i drift, gasol för strålningsvärme vid gjutning av bjälklag (system 1 och 2) samt putsarbeten, olja vid gjutning av plattan på mark. Byggsystemen som produceras av Lindbäcks, Stora Enso samt Strängbetong är prefabricerade modulsystem som inte kräver lika lång tid vid själva stomresningen jämfört med de platsgjutna alternativen. Detta är exempel på en parameter som har betydelse för energianvändningen på själva byggplatsen i modul A5.

3.2.4 Scenarier för och beräkning av karbonatisering av betong (modul B1)

Under modul B1 kan bland annat karbonatisering av betong under användningskedet beräknas, vilket har gjorts i projektet. Beräkningen har först gjorts för originalkonstruktionen vilket finns redovisat i en separat rapport (Erlandsson 2017) för referenshuset (platsgjuten betongstomme med kvarsittande form) och följer standarden FprEN 16757:2017, annex BB (CEN, 2017). Detta värde har därefter skalats om här i förhållande till totala betongmängden som ingår i de andra konstruktionslösningarna. För samtliga alternativ är karbonatiseringen av plattan på mark något överskattad då den är försedd med plastfolie ovanpå och underliggande EPS-isolering mot mark och har därmed en begränsad karbonatisering både ovan- och undertill. Men felet är så litet att det får anses försumbart. Karbonatisering av betong sker också efter byggnadens slutskede efter krossning, men då detta infaller utanför systemgränsen för själva byggnaden, är inte detta något som räknas med i livscykelanalysen för byggnaden.

3.2.5 Scenarier för och beräkning av underhåll (modul B2) och utbyte (modul B4)

Vid beräkning av underhåll (modul B2) under den ansatta analysperioden, har material för periodiskt, yttre underhåll av klimatskalets olika delar inkluderats i beräkningen. Det inbegriper yttre underhåll i form av målning av fönster, plåtdetaljer, m.m, omstrykning av tak, samt underhåll av balkonger. I posten för underhåll ingår också ett antagande om att vissa el- och VVS-installationer kan behöva bytas mellan en 50-årscykel. Utbyte (modul B4) sker av de viktigaste byggnadsdelarna med kortare livslängd än analysperioden såsom

fönster, utvändiga plåtdetaljer, omputsning av fasaden, utbyte av vissa balkongdelar samt husets installationer, det vill säga hissar, el, ventilation och VVS.

Beräkning av utbyte och underhåll enligt ovan handlar främst om åtgärder för klimatskalet och installationer. Båda dessa delar har i mångt och mycket ansatts lika för alla studerade byggsystem. De skillnader som finns handlar om balkongernas utföranden samt olika mängd puts på grund av olika putssystem. Intervall för underhåll och utbyten är hämtade från Erlandsson (2015) samt för vissa komponenter i dialog med leverantörer av byggsystem, livslängd på hissar enligt uppgift i EPD:er eller egna antaganden om uppgifter saknas (dessa egna antaganden är dock inte signifikanta för slutresultatet för B2 och B4). En gemensam mängdning för modul B2 och B4 har först gjorts baserat på ett gemensamt scenario för samtliga byggsystem. Därefter har beräkningen justerats för respektive system baserat på underhåll och utbyte av respektive balkonglösning samt åtgång av puts vid omputsning. Samma miljödata för respektive material har använts som vid beräkning av modul A1-A3 och speglar därmed dagens produktion. Fler detaljer om beräkning av modul B2 och B4 återfinns i bilaga 1.

3.2.6 Scenarier för och beräkning av driftenergi med dagens prestanda (modul B6)

Jämfört med tidigare SBUF-projekt i samma serie (Liljenström, m.fl., 2015; Larsson, m.fl., 2016) har uppdaterade scenarier för energianvändning tagits fram för driftenergi (modul B6). Tidigare har vi använt medelscenarier motsvarande nordisk elmix för perioden 2009-2011 och medel för svensk fjärrvärme för perioden 2010-2012. De uppdaterade LCA-data gäller för 2016 och baseras också nu på timvis produktionsdata (Erlandsson, m.fl. 2018c).

För den uppdaterade elmixen har ingångsdata för elanvändning hämtats från databasen European Network of Transmission System Operators (ENTSO-E). Denna databas är öppen och omfattar timproduktion och elhandel på den paneuropeiska elmarknaden. Uppgifterna för år 2016 hämtades för varje nordiskt land separat (ENTSO-E, 2017), och aggregerades sedan för att representera timproduktion för det nordiska nätet. För detta projekts beräkningar räknades sedan ett årligt medelvärde fram. Klimatprestanda för olika typer av elproduktion togs från projektet Nordeuropeiska energiperspektivet (NEPP, 2018). Uppdaterad data för den nuvarande fjärrvärmemixen på nationell nivå baserades på statistik från Swedenergy för år 2016 (Energiföretagen, 2017). Klimatprestanda för bränsleframställning samt förbränning hämtades från Värmemarknadsutskottets överenskommelse (Värmemarknadskommittén, 2016). De klimatprestanda (livscykeldata) som använts för beräkning av modul B6 i grundfallen är för el 102 g CO₂-ekv./kWh samt för fjärrvärme 62 g CO₂-ekv/kWh. Dessa data har sedan multiplicerats med mängden köpt fjärrvärme respektive el under analysperioden. Mängden köpt fjärrvärme och el är samma för alla fem byggsystemen eftersom projekteringarna enligt inlämnade energiberäkningar klarar de ställda kraven i projektet.

3.2.7 Scenarier för slutskedet (modul C1-C4)

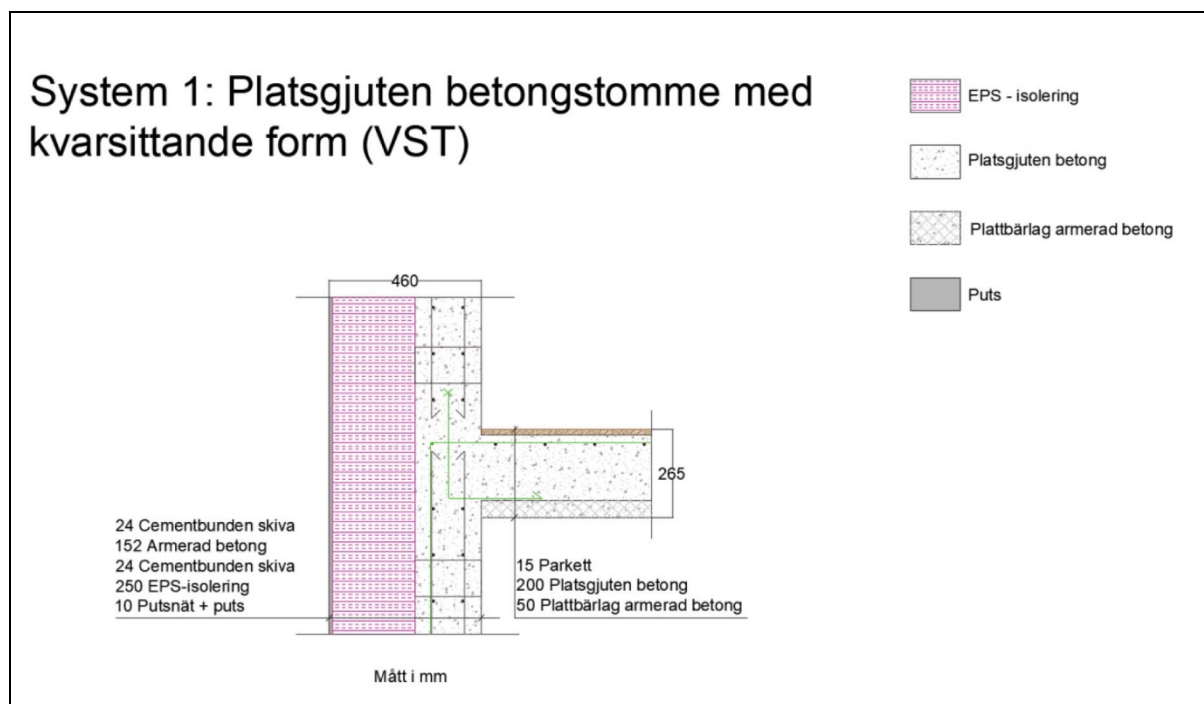
Beräkningarna av slutskedet bygger på scenarier om framtida avfallshantering och dess transporter i relation till den tänkta byggplatsen i Hökarängen. Beroende på materialtyp kopplas de olika materialen som byggs in för de olika byggsystemen till olika återvinnings- eller avfallshanteringsscenarier med en förenklad metod enligt Erlandsson och Peterson (2015, se tabell 10).

4. Beskrivningar av de studerade byggsystemen

4.1 System 1: Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form

Plattformsalternativet beskriver det faktiska utförandet av kvarteret Blå Jungfrun, som uppfördes av Skanska med Svenska Bostäder som byggherre, som ibland bygger enligt VST-systemet. Det så kallade VST-systemet² är en metod för att bygga platsgjutna väggar som innebär att prefabricerade formelement (uppbyggda med cementbundna fiberskivor) lyfts på plats och sedan gjuts igen med betong, vilket ger en mycket tät konstruktion. Elementen tillverkas efter förutsättningar i det aktuella projektet, inklusive öppningar för dörrar och fönster, installationshål, etc. och levereras med armering. Efter montage fylls de med självkompakterande betong och på sätt skapas en platsgjuten lösning. Balkongerna är fast inspända betongplattor, samt skärmar och räcken i laminerat glas.

Bjälklagen består av 200 mm platsgjuten betong samt 50 mm slakarmerat plattbärlag (kvarsittande form av betong). Ytterväggarna i tillämpningen på referenshuset är isolerade med 250 mm cellplast/EPS som placeras direkt på skalformen och som sedan putsas på plats. Även innerväggarna utförs med skalform. Tekniskt sett går det att byta EPS mot fenolbaserad isolering (typ Kooltherm) eller PIR, men där EPS valts av kostnadsskäl i kombination att Atemp är styrande. Vindarna är isolerade med runt 400 mm lösull. Detta byggsystem är det som referenshuset, kv. Blå Jungfrun faktiskt är byggt enligt. Denna ursprungliga byggnad är projekterad för att klara passivhuskrav enligt den nationella definitionen FEBY 2008 med en uppmätt specifik energianvändning om $55 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år.



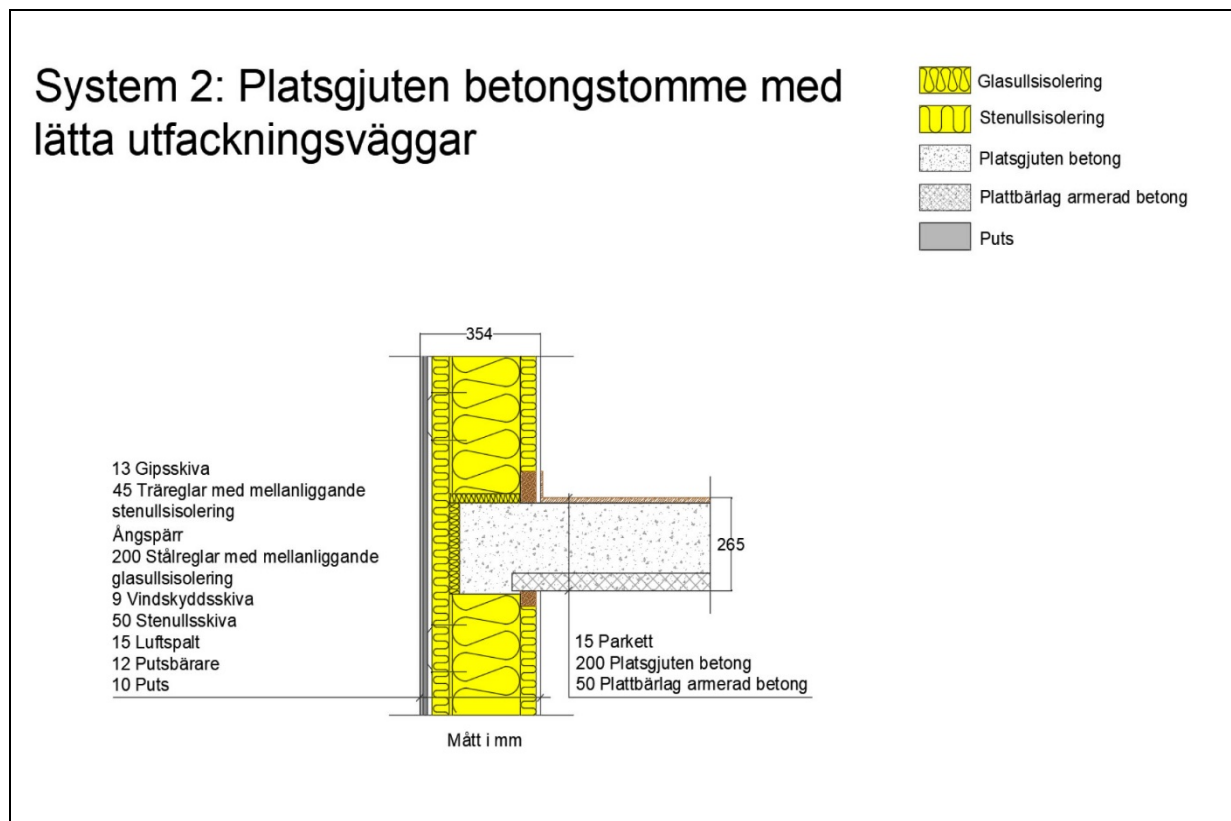
Figur 6. System 1: Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form av cementbundna skivor (VST) – sektion yttervägg och bjälklag.

² <http://www.vstnordic.se/vst-systemet/>

4.2 System 2: Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar

Detta byggsystem har en stomme och bjälklag i betong samt ytterväggar i form av lätta utfackningsväggar. I projektet har en projekterad lösning för referenshuset gjorts baserat på en av NCC:s plattformslösningar anpassat för det aktuella huset. Den tekniska lösningen i sig, med ett plattbärlag och i övrigt formsatta delar, är en vanlig lösning för flerbostadshus och används av många andra entreprenadföretag.

Bjälklag består av 200 mm platsgjuten betong samt 50 mm slakarmerat plattbärlag. Ytterväggarna består av lätta utfackningsväggar med plåt- och träreglar, samt bärande stålpelare integrerade i ytterväggen. Vägghkonstruktionen innehåller totalt 295 mm sten- och glasullsisolering för att kunna klara kravet på energiprestanda. Stommen byggs också upp av bärande lägenhetsskiljande väggar samt bärande hisschakt av 200 mm betong. Övriga innerväggar består av gipsskivor på stålreglar. Balkongerna är fast inspända betongplattor, samt skärmar och räcken i laminerat glas.



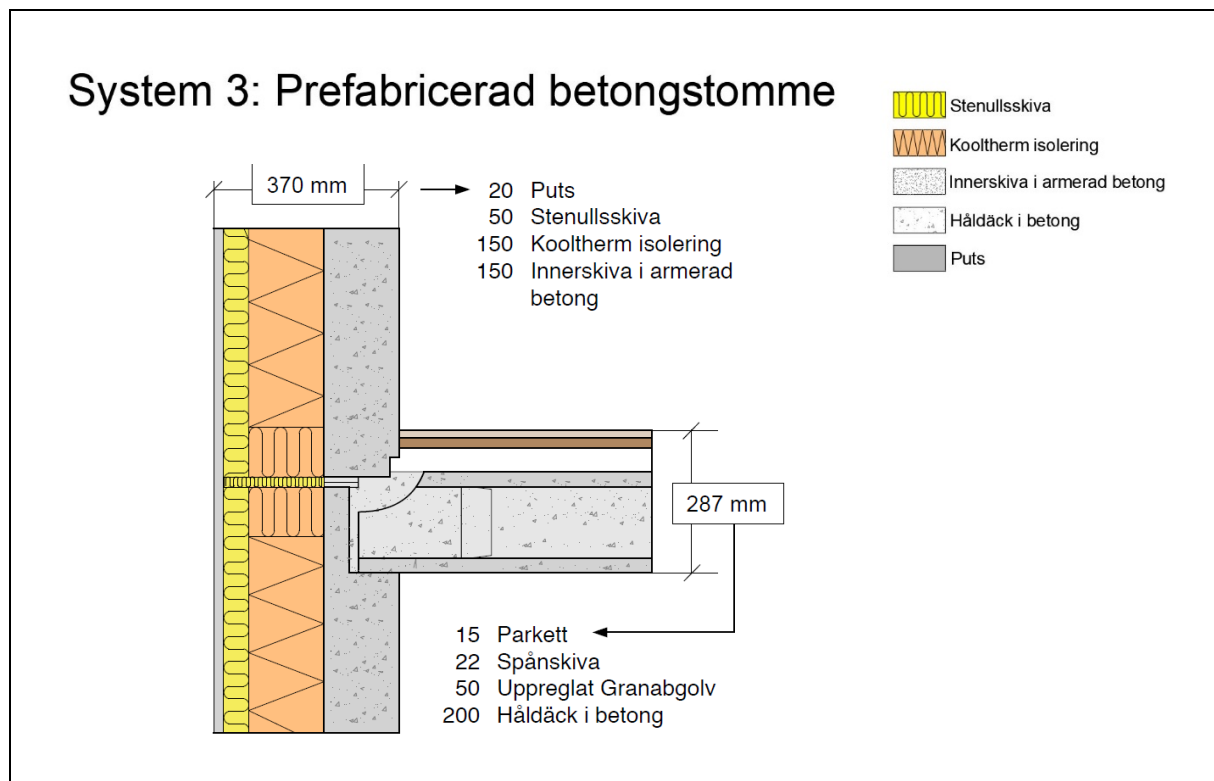
Figur 7. System 2: Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar - sektion yttervägg och bjälklag, baserat på kalkyl från NCC.

4.3 System 3: Prefabricerad betongstomme

Det system med prefabricerad betongstomme som studerats tillhandahålls av Strängbetong som också agerar stomleverantör. Strängbetong levererar ett helprefabsystem av betong med håldäcksbjälklag och delvis bärande ytterväggar. Företaget uppför årligen ca 1500 lägenheter med denna typ av byggsystem.

Vid anpassning av byggsystemet till referenshuset här har ambitionen varit att optimera betongmängden men med en dimensionering så att alla, av projektet föreskrivna, kriterier för ljud, energiprestanda, etc. klaras. Strängbetongs lösning utgörs av lätta håldäcksbjälklag med höjden 200 mm. Där produkten inte är lämplig tillämpas istället ett massivt bjälklag om 200 mm. Storlek och placering av schakt är projekterade enligt tillhandahållna handlingar. I några fall behöver schakt borras. Bjälklagen förses med ovanpåliggande regelgolvtyp Granab, vilket gör att ljudklass B uppnås. Fasader är av typen halv sandwich med en innerskiva av betong (140/150mm) försedd med 150 mm fenolbaserad isolering (Kooltherm K3). Fasadernas horisontal- och vertikalfogar drevas. På plats stiftas 50 mm stenullsskiva som putsbärare (Therm 321) som förses med 20 mm fasadputs. Byggnaden har ett Um-värde på 0,26. Lösningen ger små köldbryggor. Fasadernas betongtjocklek är dimensionerade utifrån brandkrav och är försedda med ursparingar för radiatorer under fönster (den faktiska installationen innehåller elradiatorer).

Balkongernas upplag mot fasad utgörs av klackar som ger små köldbryggor. I övrigt bärs de av hängstag och pelare. Trapphus är utförda med betongväggar, trapplan och raka tvåloppstrappor med vilplan.



Figur 8. Prefabricerad betongstomme med håldäcksbjälklag – sektion yttervägg och bjälklag, baserat på Strängbetongs lösning.

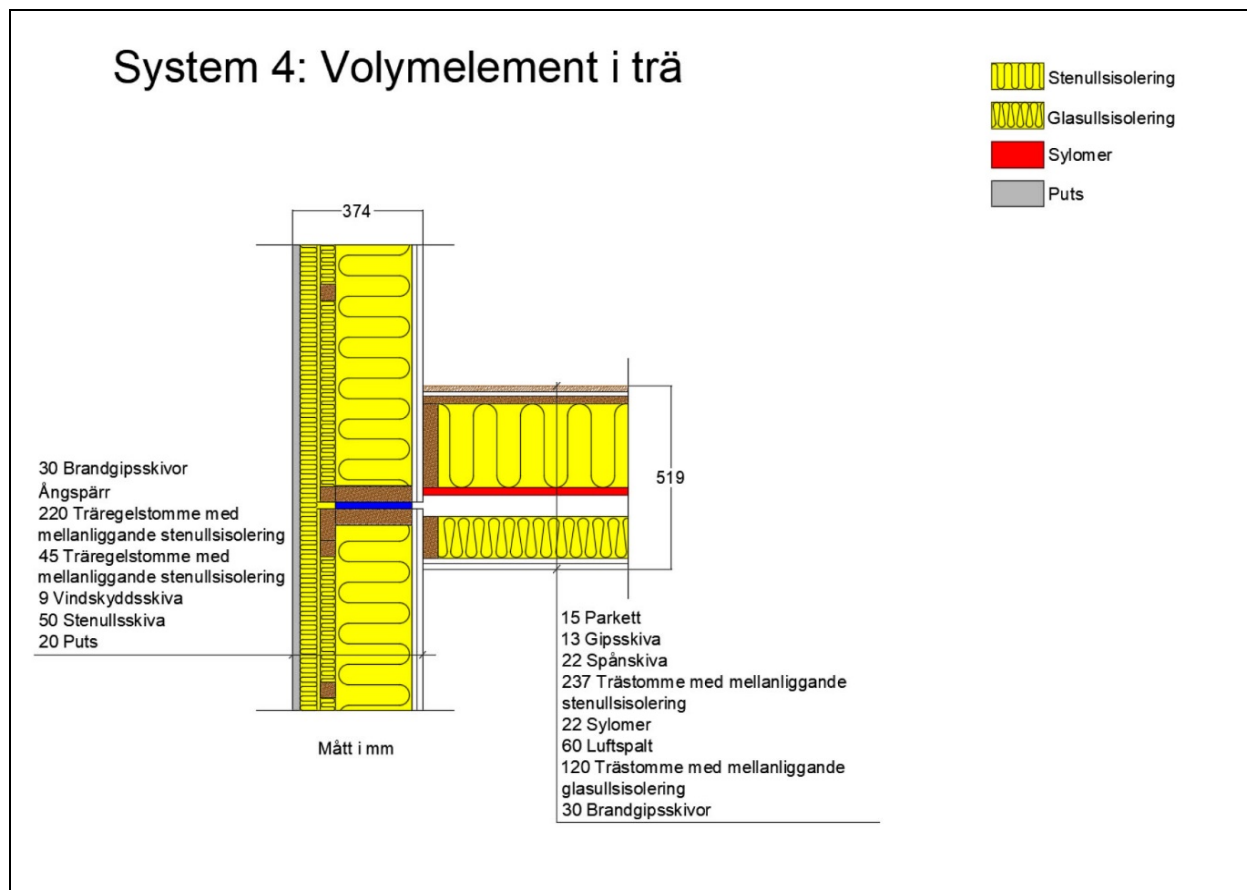
Montaget av stommen utförs vanligtvis med en mobilkran (typ 200 tons hydraulkran), där ungefär en våning i veckan uppförs. Först monteras bjälklag på en platta på mark (eller över eventuellt garage) och fog gjuter det för samverkan, därefter montage av fasader väggar och fog gjuter dessa. Fönster i fasad är fabriksmonterade. Fabrikstillverkade golvpaket med regelgolv (från Granab) lyfts in. Två våningar under pågående montage kan stomkompletteringen börja med el-, rördragning, etc. Därefter monteras det ovanpåliggande regelgolvet, inklusive i våtrummen). Då pågjutningar saknas och ersatts av regelgolvet så är behovet av uttorkning litet, även om viss fukt kan komma att tillföras i hålkanelerna samt vid fogning.

4.4 System 4: Volymelement i trä

Det system för prefabricerade volymelement i trä som studeras i projektet tillhandahålls av Lindbäcks som är både stomleverantör och bygger själva med systemet. Byggnader produceras med prefabricerade volymelement med träregelstomme. Det finns även andra aktörer på marknaden som producerar liknande system, exempelvis Moelven. Produktion av volymelement hos Lindbäcks sker i fabrik med en färdigställandegrad på c:a 90 %. På byggsplats monteras volymerna samman till en huskropp och kompletteras med plana, prefabricerade element för balkonger, korridor och -tak och vindsinredning. Takkonstruktion förtillverkas på byggsplats av träfackverk och lyfts upp i sektioner. På byggsplats färdigställs installationer, fasad och ytskikt.

Som isoleringsmaterial används olika mineralullsmaterial över tiden där vi här använt det som är aktuellt just nu, dvs. framför allt stenull men delvis glasull i golvbjälklagen. Lindbäcks har en egenutvecklad balkonglösning som består av en kärna av korslimmat virke som är doppad i glasfiberarmerad komposit. Balkonger är hängande med snedstag av stål. Väggar täcks med puts (20 mm) med 50 mm stenull som putsbärare. Putsbäraren, i sin tur, fästs på en Glasroc-skiva. Glasroc-skivan fungerar som vindsydd och används alltid på systemet, oavsett val av fasadsystem.

Till skillnad från övriga system, har den levererade konstruktionslösningen från Lindbäcks ett mycket bättre isolerat golv än övriga plattformar som har 300 mm EPS-isolering under plattan. Lindbäcks lösning med volymelement innebär alltid ett regelgolv och det är därför kostnadseffektivt att alltid isolera det. Lindbäcks har från 1994 tills idag uppfört 10.000 lägenheter med konceptet i Sverige.



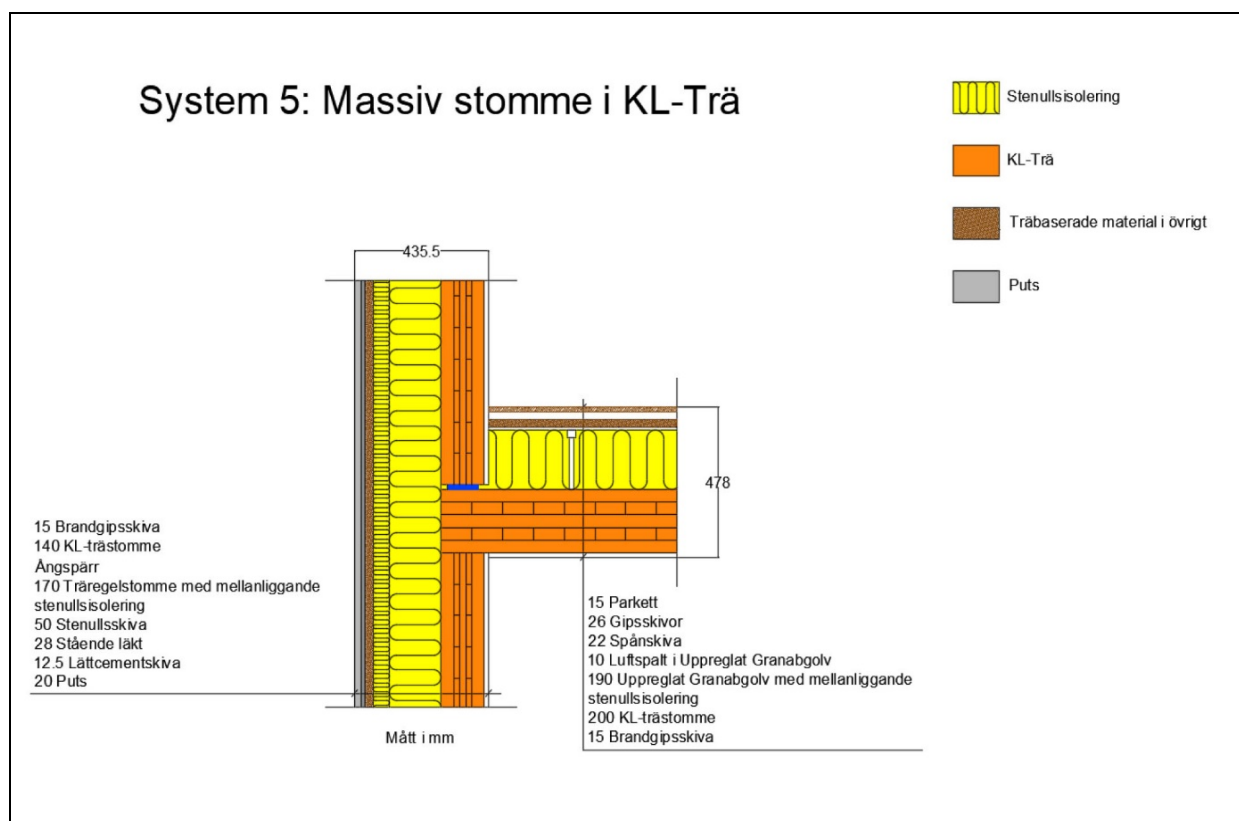
Figur 9. System 4: Volymelement i trä, sektion yttervägg och bjälklag, baserat på Lindbäcks lösning.

4.5 System 5: Massiv stomme i KL-trä

Konstruktionslösningen för detta byggsystem med massiv stomme i KL-trä har tillhandahållits av Stora Enso och byggsystemet och motsvarande används även av andra bolag såsom Martinsons (2018)³. Stora Enso tillverkar stomelement och utvecklar successivt ett eget byggsystem i KL-trä, men uppför inte byggnader. De levererar vägg- och bjälklagselement i KL-trä och genom byggsystemet tillhandahålls ett antal alternativa lösningar på uppbyggnader av bjälklag, ytter- och innerväggar. Själva byggsystemet beskrivs med öppna manualer och lanserades så sent som hösten 2016. Hittills finns enbart ett fåtal projekt som helt följer byggsystemet, men ca 12 000 projekt världen över innehåller delar av detta massivträkoncept. Stora Enso har idag sin produktion i Österrike men håller på att färdigställa en ny fabrik i Grums i Sverige.

Vid anpassning av byggsystemet till referenshuset så har uppbyggnaden av yttervägg samt bjälklag anpassats så att alla av projektet föreskrivna kriterier uppfylls för ljud, energiprestanda, etc., se figuren nedan. Bjälklaget är uppstolpat med Granabteknik som klarar ljudklass B. I övrigt består bärande innerväggar av 160 mm KL-trä med gipsbeklädnad medan icke-bärande innerväggar utgörs av stålregelväggar med gipsbeklädnad. Väggar mot trapphus är uppbyggda som de bärande innerväggarna men med 100 mm tillagd mineralullsisolering. Takkonstruktionen utgörs av ett uppstolpat tak av råspont med 400 mm lösullsisolering i vind.

Balkonglösningen i projekteringen på referenshuset är hängande med snedstag av stål på samma sätt som för system 3 och 4. Balkongplattan är enligt uppgift i KL-trä, täckt av takpapp med ovanpåliggande trätrall. Men då mängdspecifikationen från Stora Enso inte innehöll balkongen har projektgruppen därför gjort ett schablonpåslag av klimatpåverkan för produktskedet samt för underhåll och utbyte under användningsskedet som ligger något högre än belastningen för de balkonger som Lindbäcks specificerat i sin kalkyl för volymelement i trä. På så vis antas ett konservativt satt värde så länge informationen om utförandet är begränsad.



Figur 10. System 5: Massiv stomme i KL-trä, sektion yttervägg och bjälklag, baserat på Stora Ensos lösning.

Byggedelarna levereras prefabricerade med utrag för fönster och dörrar, utrag för installationer och håltagningar är också klara vid leverans från fabrik. Montaget av stommen utförs mest effektivt med en mobilkran med en lyftkapacitet på ca 5 ton där ungefär en våning i veckan uppförs. En tornkran kan också användas för montaget men då den ofta blir upptagen med andra lyft är det i regel effektivare med en mobilkran som kan nyttjas hela tiden under stomresningen.

³ Se vidare i Martinsons handbok: Martinsons handbok för arkitekter. Stomlösning för flerbostadshus.

4.6 Sammanfattning över inventeringsdata för byggsystemen

De produktionskalkyler som lämnats till projektgruppen från respektive plattformägare har varierat i omfattning. Kostnadskalkylerna för VST, Lindbäcks respektive NCC har varit helt kompletta. Kalkylen för VST omfattar emellertid hela kvarteret Blå Jungfrun så som det byggdes, men bedöms inte påverka resultatet. För de erhållna kostnadskalkylerna som inte var kompletta har en tillkommande mängdning gjorts, så att beräkningarna av klimatpåverkan baseras på jämförbara och kompletta resurssammanställningar. Slutligen har alla husen försetts med samma installationer, invändiga ytskikt, inredning, hiss och övriga installationer. Översiktligt beskrivs förfarandet i Tabell 2.

Tabell 2. Översiktlig sammanställning över hur materialmängder för respektive projekterad lösning sammanställts för att bli komplett.

	System 1	System 2	System 3	System 4	System 5
Installationer	Beräkning bygger på mängdning av installationer i det ursprungliga utförandet av Blå Jungfrun. En schablon på 9,7 kg CO ₂ e/m ² A _{temp} har lagts på i samtliga fall.				
Hiss	Beräkning bygger på mängdning av hiss och hisschakt i kv Strandparken, vilket sedan har anpassats till utförandet i referenshuset. En schablon på 5,9 kg CO ₂ e/ m ² A _{temp} har lagts på i samtliga fall.				
Inredning, ytskikt mm	Beräkning bygger på mängdning av inredning och ytskikt i det ursprungliga utförandet av Blå Jungfrun.				
Platta på mark	Enligt originalkalkyl	Enligt NCC:s kalkyl	Enligt NCC:s kalkyl		
Övriga byggnadsdelar	Enligt originalkalkyl	Enligt NCC:s kalkyl	Enligt omfattning av respektive plattformägare inlämnade kalkyl (se respektive plattformsbeskrivning ovan). För de komponenter och byggnadsdelar som i vissa fall saknas har mängdningen kompletterats med delar från NCC:s kalkyl		
Bygg- och installationsprocessen (Modul A5)	Enligt originalkalkyl	Enligt NCC:s kalkyl	Enligt NCC:s kalkyl men modifierat för respektive plattform baserat på beskrivning av hur uppförande av de olika plattformarna görs på byggplats.		

Beräkningarna bygger på att samma A_{temp} är projekterad för alla lösningar och det är också den area som används som referensenheter för beräkningarna. Då det föreligger vissa skillnader mellan plattformarnas bjälklags- och ytterväggstjocklekar, får detta konsekvenser på att andra areamått, etc. skiljer sig. I tabellen nedan har några sådana viktiga mått sammanställts.

Tabell 3. Bruttoarea, byggarea samt hushöjd i de fem projekterade lösningarna av referenshuset.

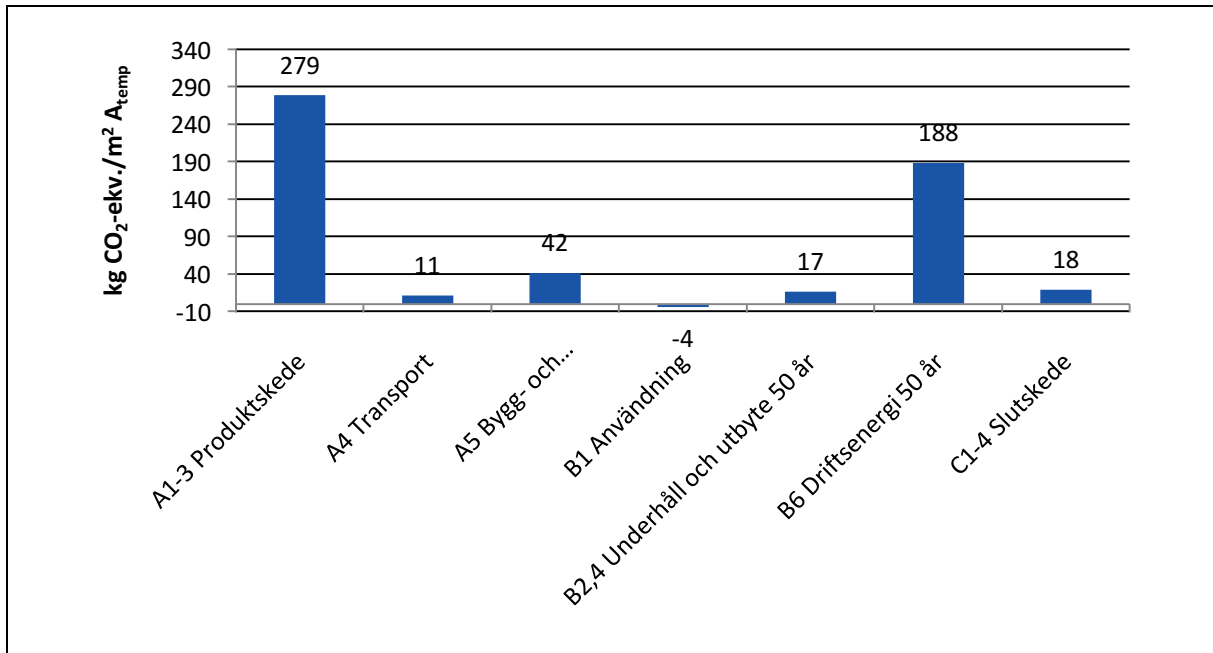
	System 1	System 2	System 3	System 4	System 5
Bruttoarea, BTA (m ²)	2524	2455	2454	2468	2508
Byggnadsarea, BYA (m ²)	409,0	408,9	408,9	408,9	409,0
Hushöjd (m)	19,2	19,2	19,3	20,5	20,3

5. Resultat för grundscenarier

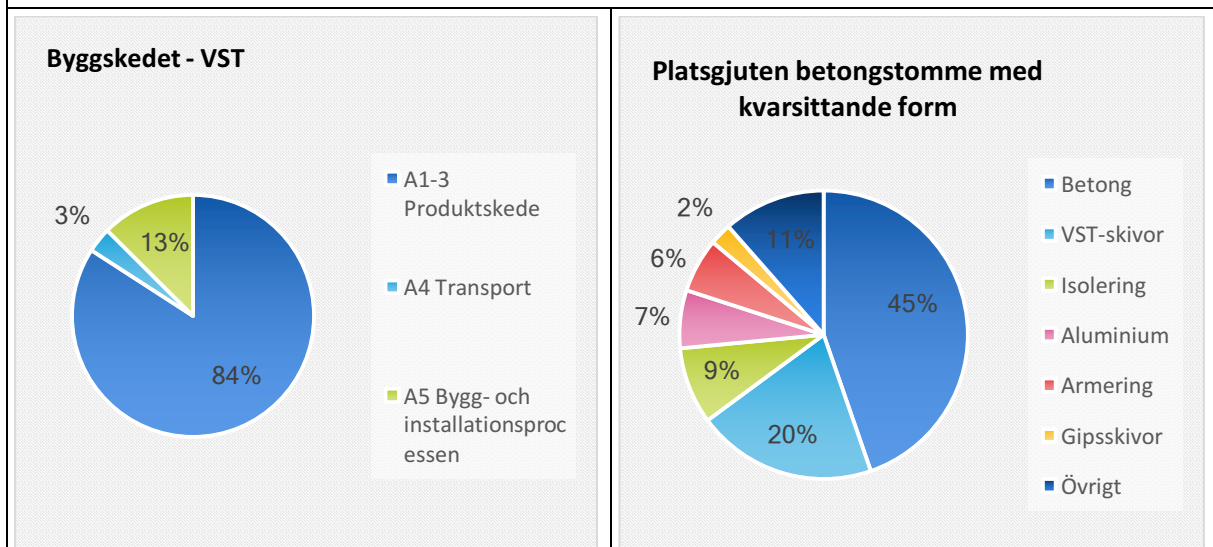
Beräkningsresultatet för klimatpåverkan enligt vårt grundfall redovisas över en analysperiod om 50 år. Grundfallet motsvarar så som huset idag skulle byggas enligt de olika systemen. Delar i en byggnad som är svåra att byta ut designas för 50 års teknisk livslängd. 50 års analysperiod motsvarar också en rimlig ombyggnadscykel. Alla fem byggplattformar uppfyller samma grundläggande funktionella krav och därmed samma energiscenario för driftenergi (modul B6) baserat på dagens medelvärden för nordisk elmix och svensk fjärrvärme. Beräkning av utvändigt, periodiskt underhåll och utbyte av delar i klimatskalet samt installationer skiljer sig inte heller nämnvärt mellan systemen, då utförande av fasad, tak och installationer är desamma i samtliga system. För vart och ett av byggsystemen visas nedan tre resultatbilder:

- 1) Klimatpåverkan under 50 år för de livscykelmoduler- och skeden som beräknats i projektet,
- 2) Procentuell fördelning av klimatpåverkan för byggskedet (modul A1-A5), samt
- 3) Procentuell fördelning av de viktigaste bidragande materialen och byggnadsdelarna till klimatpåverkan för byggskedet.

5.1 System 1: Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form

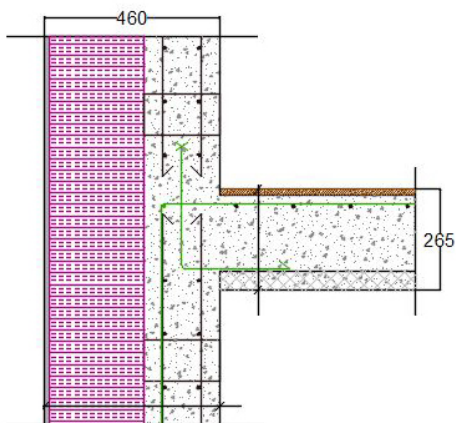


Figur 11. Klimatpåverkan över livs cykeln, analysperiod 50 år. Byggskedet (modul A1-A5) står för 331 kg CO₂-ekv./m² A_{temp}.

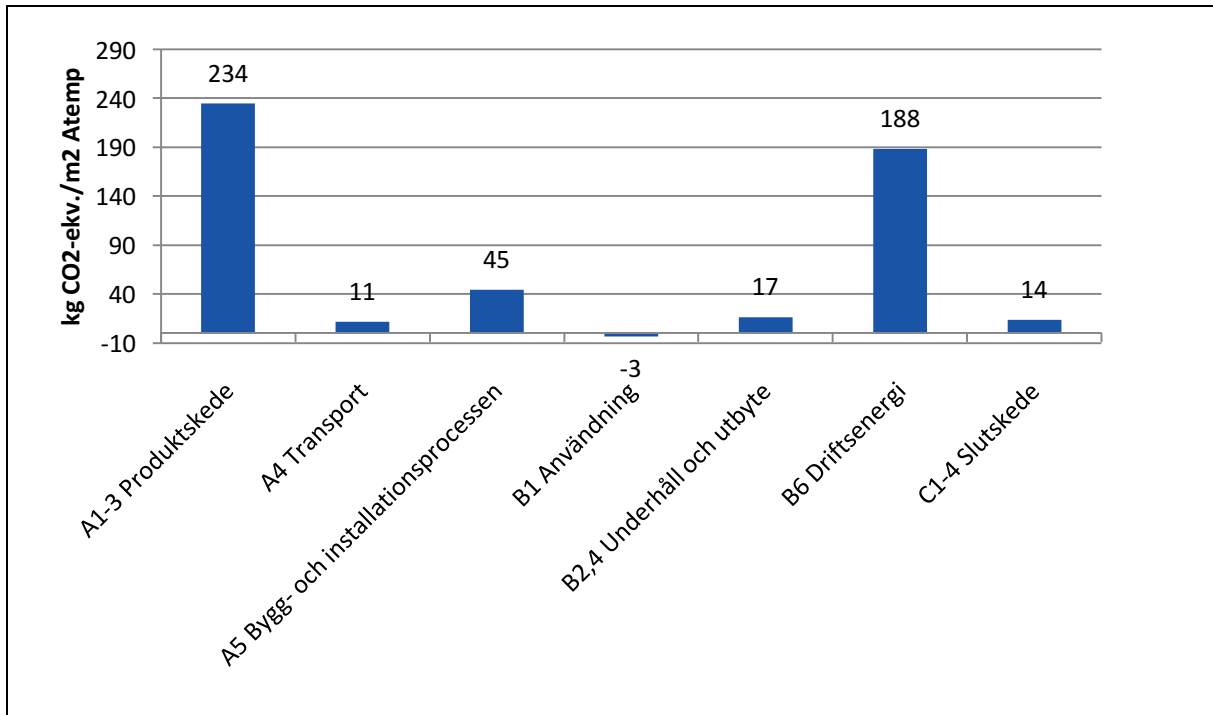


Figur 12. Fördelning byggskedets klimatpåverkan.

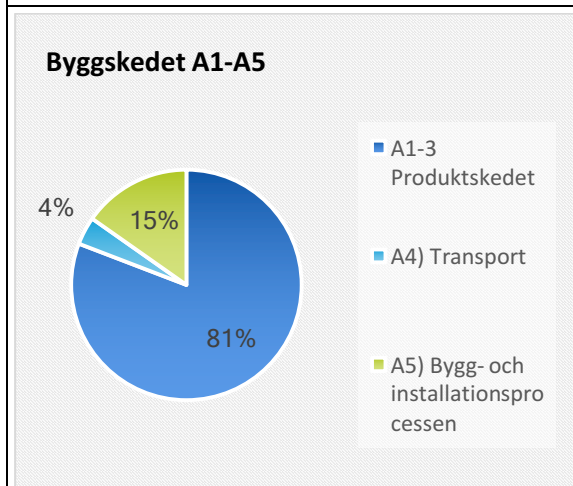
Figur 13. Fördelning av de viktigaste bidragande materialen och byggnadsdelarna till byggskedet (modul A1-A5). VST-skivor är cementbundna skivor.



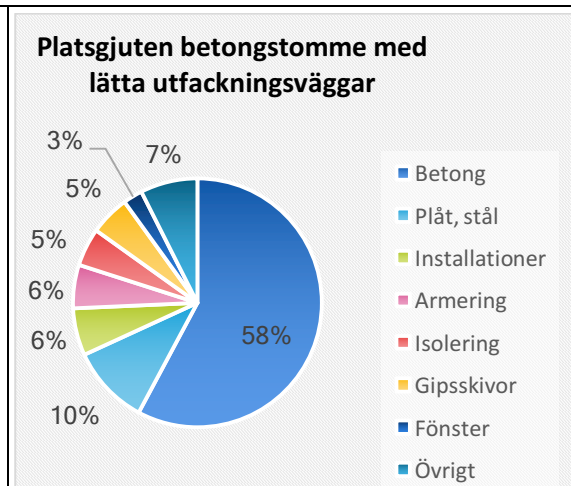
5.2 System 2: Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar



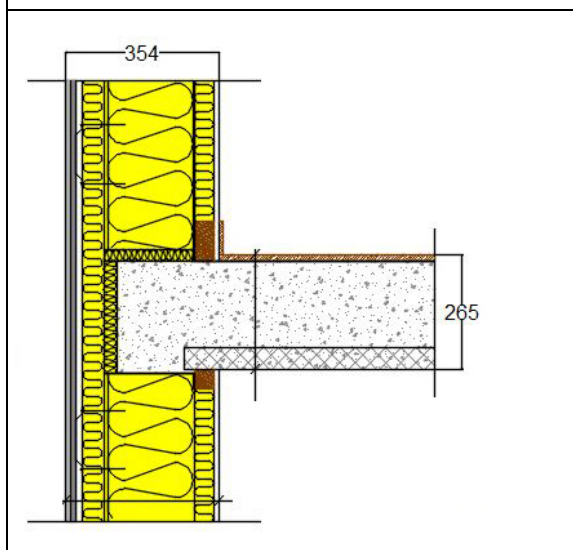
Figur 14. Klimatpåverkan över livscykeln, analysperiod 50 år. Byggskedet (modul A1-A5) står för 290 kg CO₂-ekv./m² Atemp.



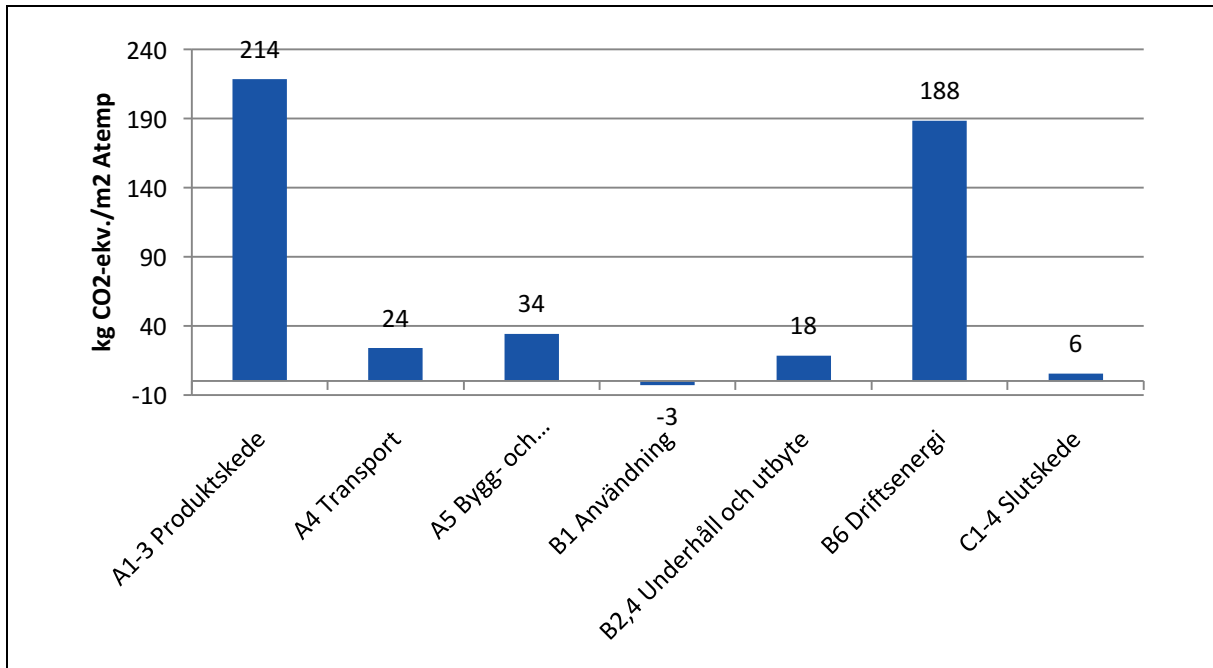
Figur 15. Fördelning byggskedets klimatpåverkan.



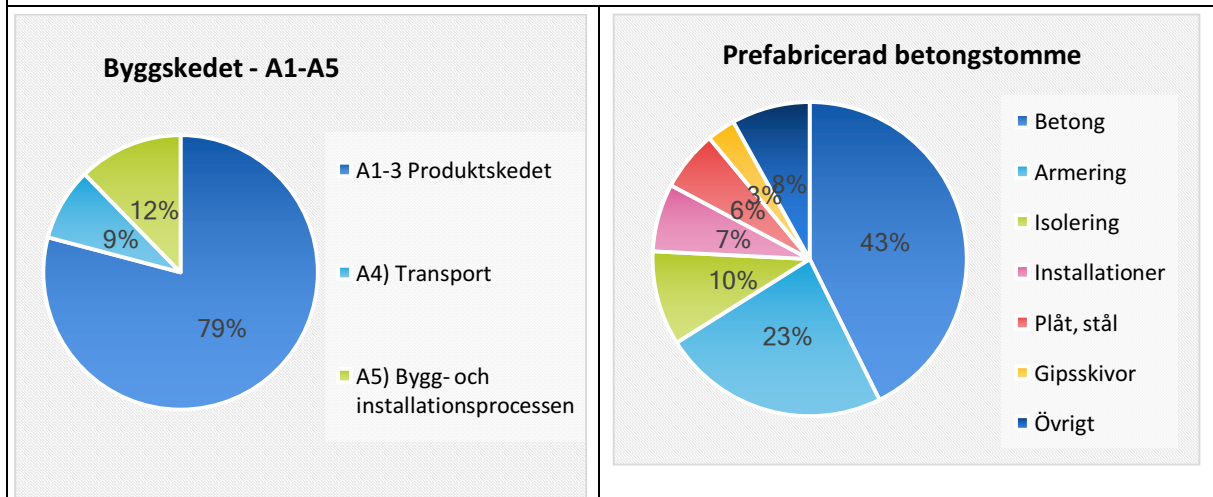
Figur 16. Fördelning av de viktigaste bidragande materialen och byggnadsdelarna till byggskedet (modul A1-A5).



5.3 System 3: Prefabricerad betongstomme

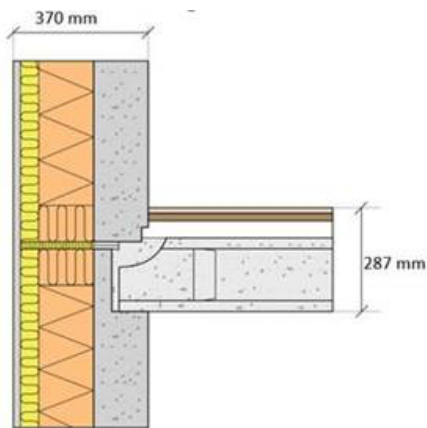


Figur 17. Klimatpåverkan över livscykeln, analysperiod 50 år. Byggskedet (modul A1-A5) står för 272 kg CO₂-ekv./m² Atemp.

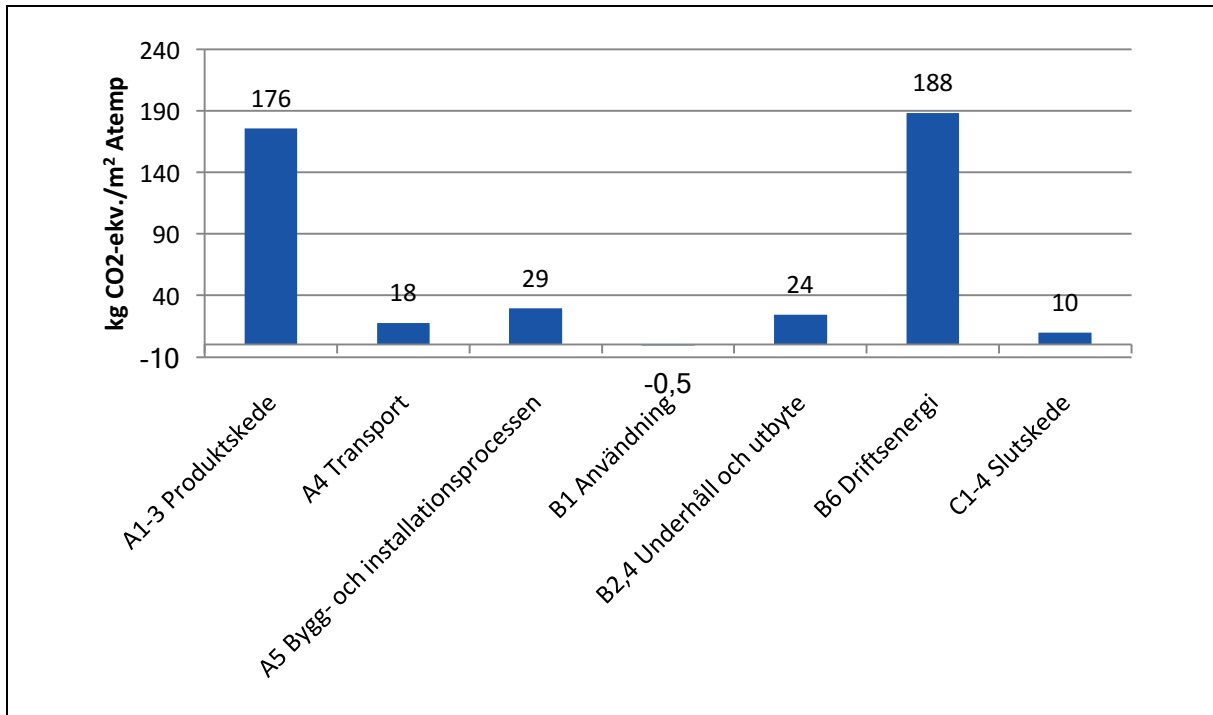


Figur 18. Fördelning byggskedets klimatpåverkan.

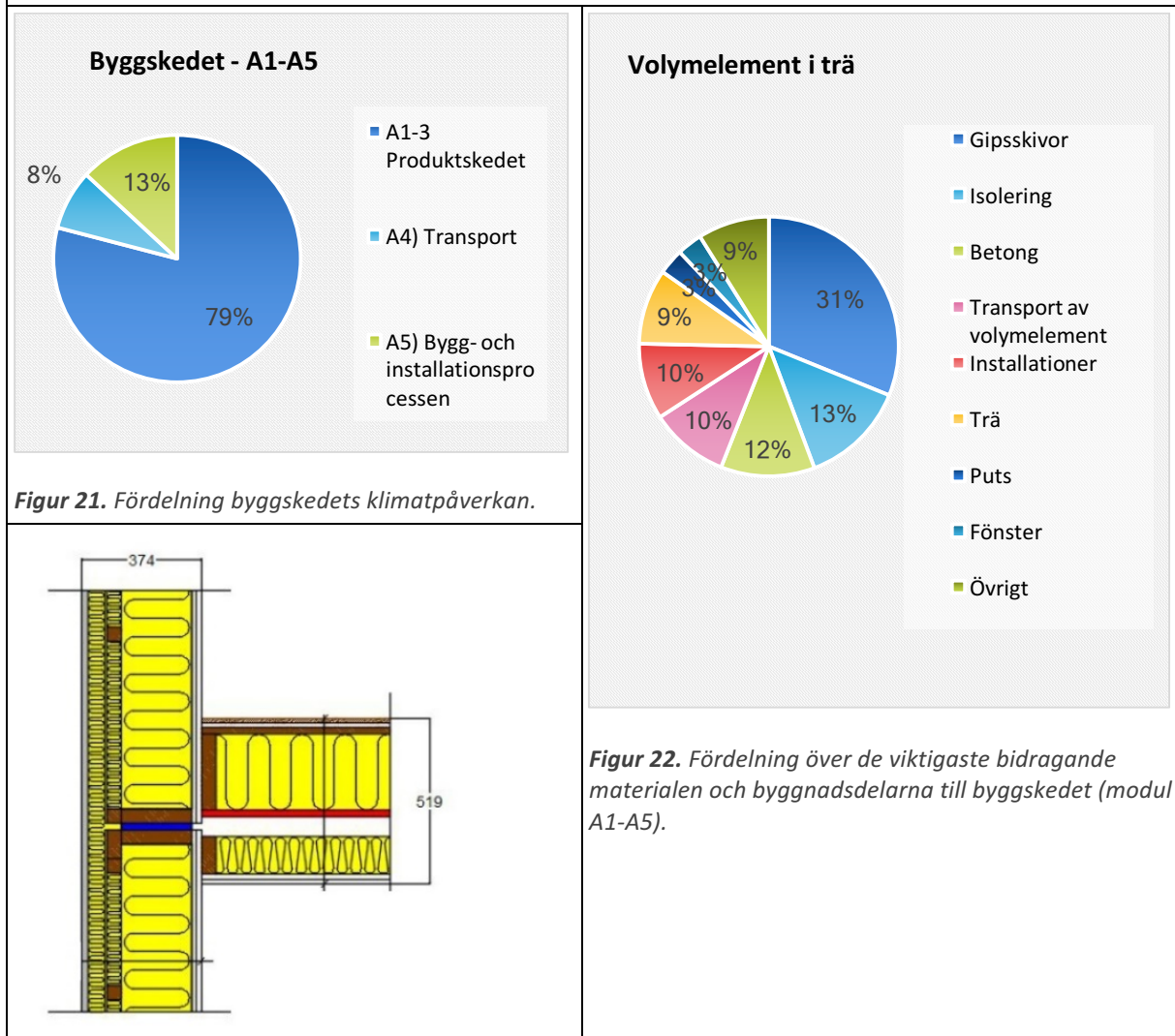
Figur 19. Fördelning av de viktigaste bidragande materialen och byggnadsdelarna till byggskedet (modul A1-A5).



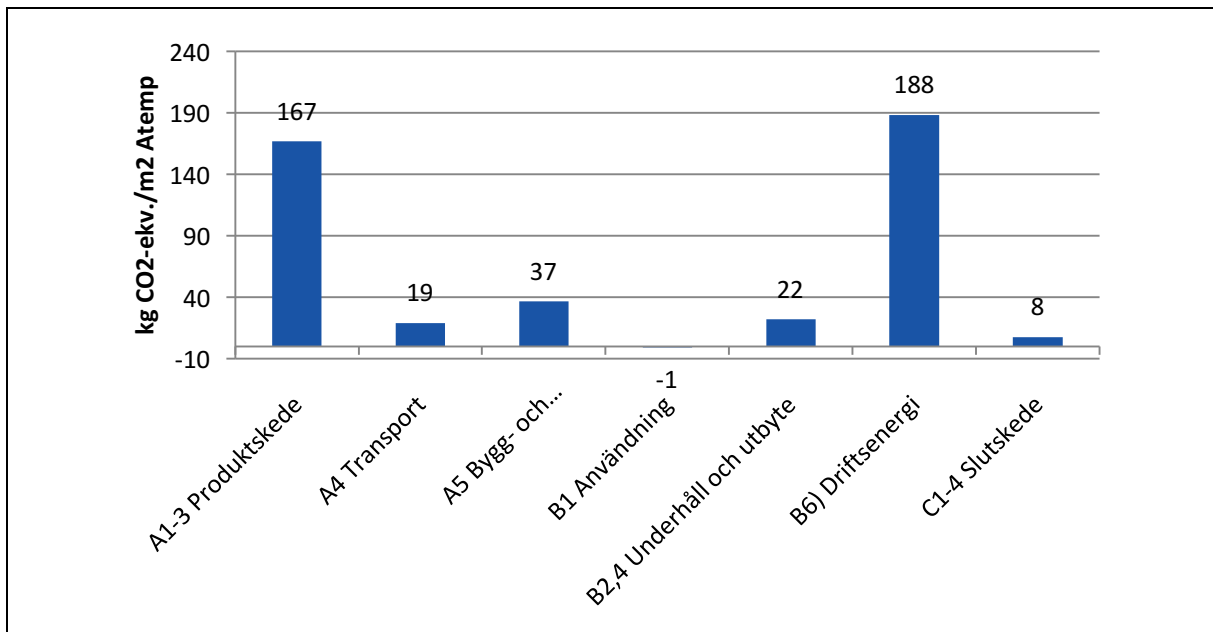
5.4 System 4: Volymelement i trä



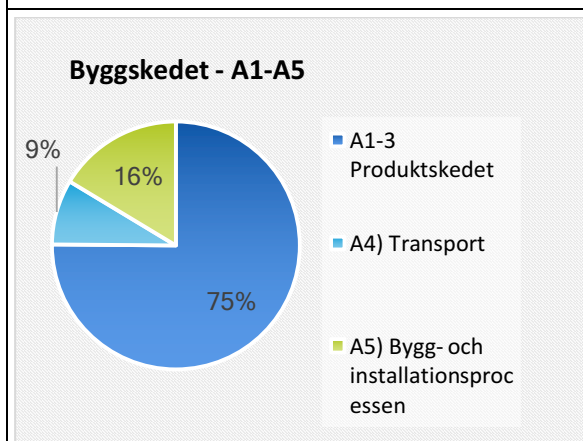
Figur 20. Klimatpåverkan över livsrykelen, analysperiod 50 år. Byggskedet (modul A1-A5) står för 223 kg CO₂-ekv./m² Atemp.



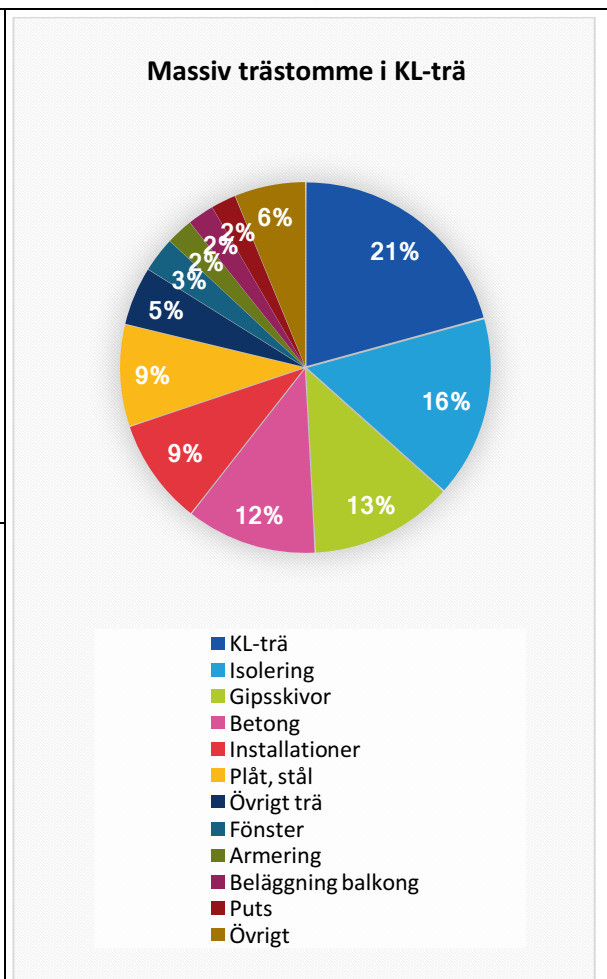
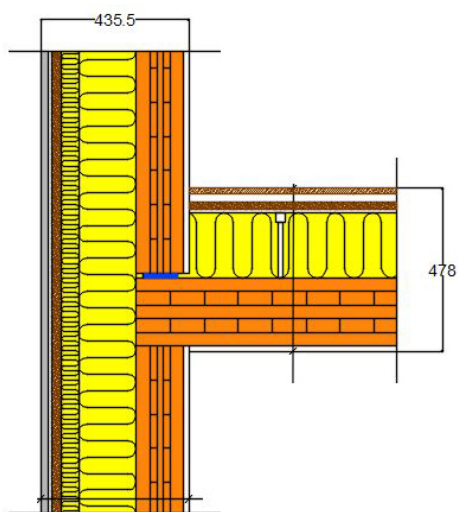
5.5 System 5: Massiv stomme i KL-trä



Figur 23. Klimatpåverkan över livscykeln, analysperiod 50 år. Byggskedet (modul A1-A5) står för 223 kg CO₂-ekv./m² Atemp.



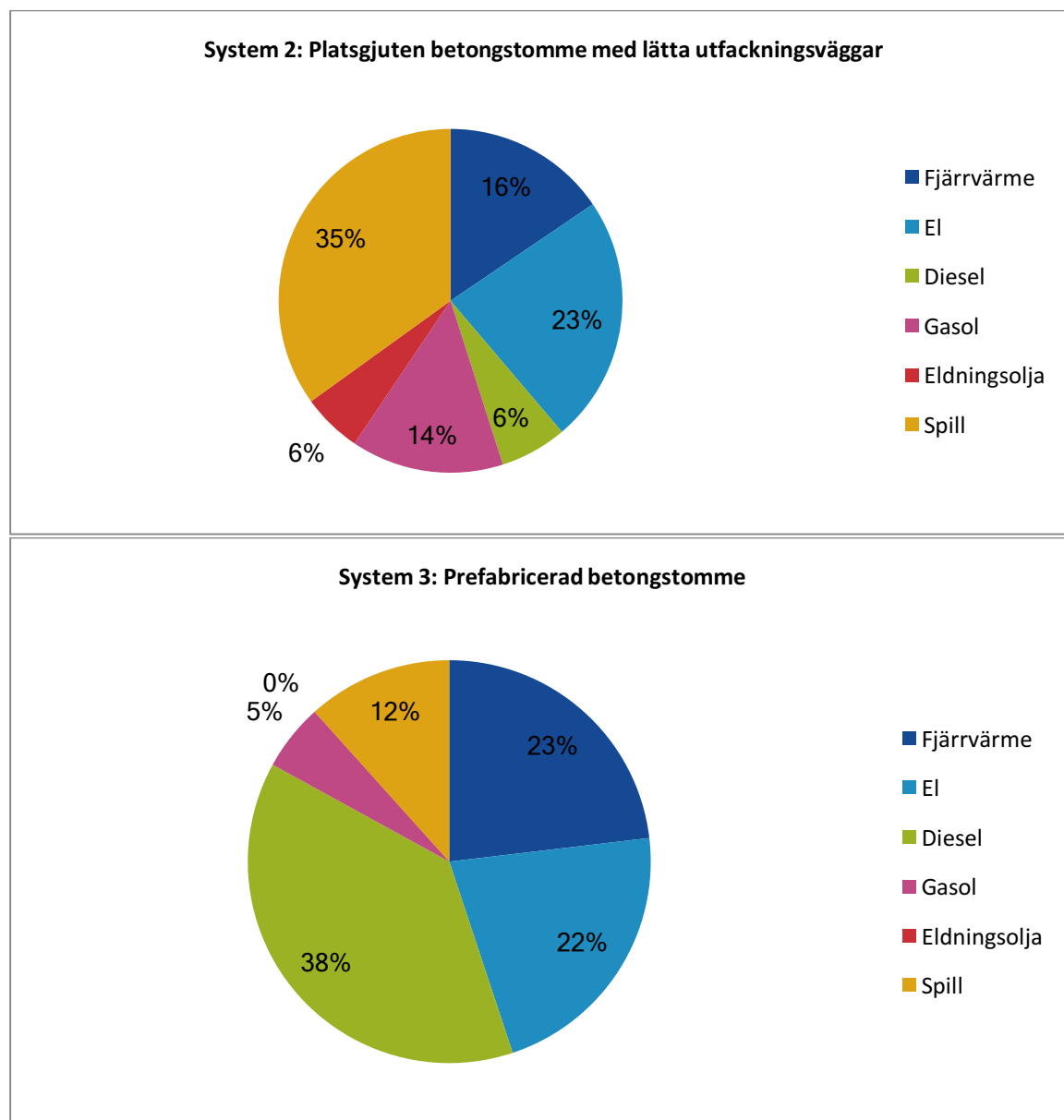
Figur 24. Fördelning byggskedets klimatpåverkan.



Figur 25. Fördelning över de viktigaste bidragande materialen och byggnadsdelarna till byggskedet (modul A1-A5).

5.6 Diskussion om resultat för grundscenarier

De stora skillnaderna i klimatpåverkan mellan systemen finns i produktskedet (modul A1-A3) samt i viss mån i transport till byggplats (modul A4). Generellt är systemen med mycket betong mer påverkande i byggskedet, men den prefabricerade betonglösningen har lägre klimatpåverkan på grund av att en klimatförbättrad betong används till håldäcksbjälklagen som i sig är en resurssnål konstruktionslösning i förhållande till ett massivt betongbjälklag. Vidare har håldäcket ett uppreglat golv, vilket gör att man inte behöver en övergjutning av betong. Transporter av prefabricerade system står över lag för en större andel av byggskedets klimatpåverkan jämfört med de platsgjutna systemen. Generellt sett uppstår det mindre spill i ett prefabricerat system oavsett materialval (vilket ingår som en del i bygg- och installationsprocessen, modul A5).



Figur 26. Fördelning av bygg- och installationsprocessen – jämförelse mellan platsgjutet system (varianten med lätta utfackningsväggar) och prefabricerat system tillhandahållet av Strängbetong.

I de två tidigare studierna i samma serie SBUF-projekt med LCA-analyser av nybyggda flerbostadshus (Liljenström et al., 2015 och Larsson et al., 2016) var ett viktigt resultat att synliggöra fördelningen mellan uppströms och nedströms klimatpåverkan. I beräkningarna av grundfallet för de fem byggsystemen tydliggörs att klimatpåverkan för byggskedet (modul A1-A5) står för mellan 50-60 procent av total klimatpåverkan över livscykeln i beräkningen av grundfallen (avsnitt 5.1-5.5). Beräkningen av driftenergi baseras på köpt energi om $53 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år vilket samtliga plattformar projekterats för.

Enligt standarden EN 15978 är det brukligt att de data för klimatpåverkan som visar nuläget också används för framtida användning av el och fjärrvärme. Men med tanke på det beslutade klimatmålet om netto-nollutsläpp redan 2045, är utsläppen som redovisas för grundfallens modul B6 med all sannolikhet för höga. Detta innebär

att byggskedets andel av klimatpåverkan över nya byggnaders livscyklar snarare ligger högre. På samma sätt blir en analysperiod på 100 år med dagens energiprestanda för el och fjärrvärme helt orealistisk. I avsnitt 7 redovisas därför en känslighetsanalys som inbegriper alternativa scenarier för klimatpåverkan av driftenergi. Här för vi också mer resonemang kring hur man kan se på storleken av byggskedets andel av klimatpåverkan.

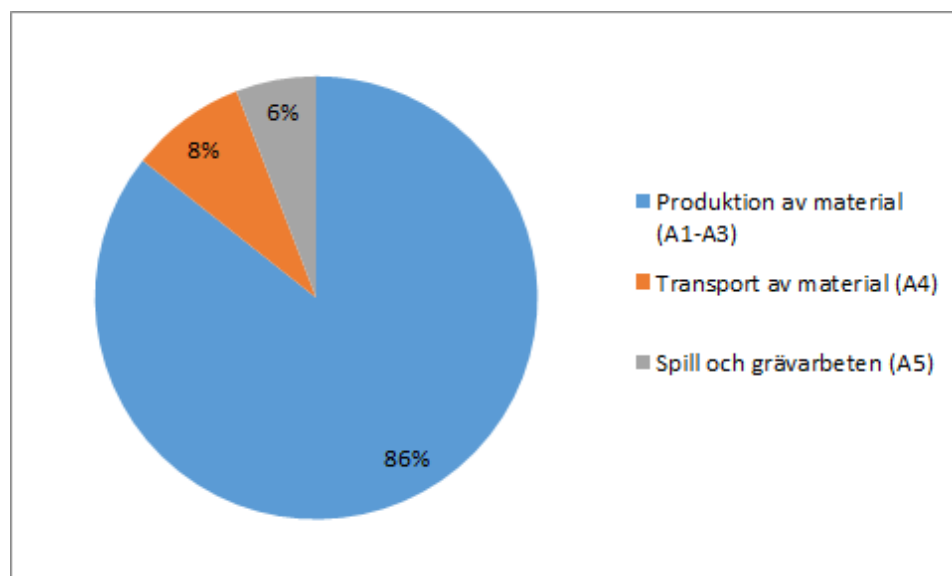
Utbyte och underhåll står för i storleksordningen 17-24 kg CO₂-ekv./m² A_{temp} under 50 år. Det är dock viktigt att förstå att det ligger mer osäkerheter i dessa värden än i de värden som presenterats för modul A1-A5. Det är på grund av att det handlar om framtida scenarier. Underhåll och utbyte av delar i klimatskalet samt installationer överensstämmer i mångt och mycket mellan de olika systemen, då fasad- och takmaterial samt installationer har satts som samma för alla konstruktionslösningar. De viktigaste bidragen, omfattande drygt 60 procent av klimatpåverkan för modul B2 och B4, utgörs av utbyte av fönster, hissar, plåt detaljer och omputsning av fasad. De två träsystemen ligger något högre i klimatpåverkan för modul B2 och B4 på grund av andra balkonglösningar som beräknats bytas helt en gång under 50 år på grund av saknad dokumentation som styrker att balkongerna håller 50 år (eller mer). Slutskedet står generellt för en låg andel av klimatpåverkan för alla system men ligger lägre för träsystemen och det prefabricerade betongsystemet, på grund av det åtgår mindre energi att flisa trä än att krossa betong.

5.7 Beräkning av garage

I studien ingick att genomföra beräkning av klimatpåverkan på ett tänkt underliggande garage, då husen som de är byggda har parkering i markplan. Svenska Bostäder bidrog med att genomföra en mängdning av materialmängder för ett tänkt underliggande garage för typhuset. Omfattningen motsvarar ett parkeringstal på 0,5 enheter per lägenhet. Material för garaget omfattar fabriksbetong, plattbärlag och armering till ytter-/innerväggar, pelare, balkar och nerfartsramp. Isolering av ytterväggar med 100 mm EPS-isolering ingår också i beräkningen. Ett separat luftbehandlingsaggregat med roterande värmeväxlare betjänar garaget. Arbete som krävs för att flytta jordmassor som grävs bort har inkluderats. Beräkningen omfattar klimatpåverkan för byggskedet, det vill säga modul A1-A5.

Plattan på mark som beräknats för grundscenarierna ses här som tillhörande grundkonstruktionen, och ingår alltså inte i beräkningen av klimatpåverkan för garaget. Däremot ingår tak/valvkonstruktionen som består av 200 mm betong och 100 mm stenull. Garaget har breddats ut, utanför huslivet under mark för att få en tillräcklig bredd. För utskjutande del ingår såväl takvalv som yttervägg och bottenplatta samt extra pelare och balkar för bäring.

Med den beskrivna projekteringen står detta garage för 48,4 kg CO₂-ekv./m² A_{temp} för modul A1-5. Materialproduktion bidrar mest där betongen bidrar med mer än hälften av klimatpåverkan, se figuren nedan. I övrigt bidrar armering samt sammanlagd isolering med någorlunda betydande poster. I samråd med plattformägarna har garaget utformats lika för samtliga byggsystem.



Figur 27. Fördelning av bidragande poster till klimatpåverkan för ett tänkt garage med parkeringstal 0,5 för referenshuset.

6. Förbättringspotentialer ur klimatsynpunkt för olika byggsystem

Oavsett vilket byggsystem som väljs för ett projekt, kan det finnas tydliga klimatbesparingar att göra om livscykelanalyser används vid design, projektering och det faktiska utförandet av projektet. Det sågs därför som intressant att identifiera ett antal möjliga förbättringsmöjligheter för respektive byggsystem, som skulle kunna bidra med att sänka klimatpåverkan reellt. En poäng med livscykelanalyser är att de bidrar med information som kan användas för att optimera och minimera en produkts miljöpåverkan totalt över livscykeln. De förbättringar som vi här har räknat på handlar om att finna förbättringar för byggskedet (modul A1-A5). Driftenergidelen regleras redan som minimikrav i lagstiftning och här finns redan en stor kunskap om vad som är viktiga åtgärder att genomföra.

Förslag på tänkbara reduktionsåtgärder har diskuterats i projektgruppen i dialog med plattformägarna samt vid en workshop med projektets referensgrupp. Vi har här valt att räkna på en eller ett par sådana reduktionsåtgärder per system som plattformägarna själva sett som intressanta och realistiska att genomföra omgående. Vidare har vi fokuserat på åtgärder som ger störst mätbara resultat i minskad klimatpåverkan. De förbättringsåtgärder som räknats på, syftar till att minska klimatpåverkan från byggskedet, med samma funktion som i referenshuset. Kostnader och påverkan på byggproduktion, etc. har inte analyserats.

I vissa fall har besparingsåtgärder redan implementerats i de grundfall som visats i föregående kapitel. Exempelvis transporterar Stora Enso sitt KL-trä med tåg från Österrike istället för lastbil, vilket är ett bättre klimatval. På samma sätt har håldäcken från Strängbetong redan en klimatförbättrad betong i sitt standardutförande från den fabrik som studien utgår ifrån. Det är dock intressant att synliggöra hur stor besparing dessa åtgärder faktiskt ger, varför vi också redovisar detta.

Det finns naturligtvis många fler åtgärder som skulle kunna vara intressanta att studera för respektive system, än de vi redovisar nedan. Det har dessvärre inte varit möjligt inom ramen för detta projekt, men är något som kan byggas på i kommande projekt om intresse finns hos systemägarna. De reduktionsåtgärder vi tar upp nedan är dock de som projektgruppen i nuläget bedömt som har störst potential att minska klimatpåverkan som hänger samman med omsättning av material i byggnaderna.

6.1 Klimatförbättrad betong

För de tre betongbaserade byggsystemen dominerar betong- och cementprodukter stort klimatpåverkan kopplat till byggnadernas materialanvändning. Mängden betong har betydelse, den prefabricerade betonglösningen med håldäcksbjälklag (System 3) har i storleksordningen 20 procent lägre betongmängd än de två platsgjutna systemen. Men även använda betongrecept har stor betydelse. I systemet med lätta utfackningsväggar (System 2) har betongen en lägre andel bindemedel vilket minskar klimatpåverkan. I det prefabricerade systemet har dessutom en del av cementen i bindemedlet ersatts av masugnsslagg, vilket innebär en "klimatförbättring".

För de två byggsystemen med platsgjuten betongstomme är den mest intressanta förbättringspotentialen att undersöka hur klimatförbättrad betong kan reducera klimatpåverkan för byggskedet. Recept motsvarande de krav som ställs på betongen i stommen i respektive fall har tagits fram med hjälp av Ingemar Löfgren på Thomas Concrete Group och medlem av projektets styrgrupp. Tre alternativ för klimatförbättrad betong har tagits fram och tillämpats på de två byggsystemen. I samtliga fall rör det sig om att ersätta en del av cementen med slagg som alternativt bindemedel. Samtliga beräkningar av betong utgår ifrån vald hållfasthetsklass och ett standardrecept för denna. Vid utbyte av portlandcement till slagg har den totala mängden bindemedel varit densamma som i originalreceptet. Vi har dels valt betongrecept som är klimatförbättrade och som inte ska påverka gjutcykeln och normalt inte heller uttorkningstiderna vid husbyggnad. Sedan har också ett betongrecept utvärderats som innehåller så mycket slagg som standarden tillåter. I detta fall påverkas gjuttiden, vilket inte tagits hänsyn till.

De tre alternativa betongkoncepten motsvarar:

A - Detta alternativ motsvarar den betong-EPD som Svensk Betong benämner "klimatförbättrad bjälklagsbetong", med ca 13 % flygaska. Alternativ A är ett en betong som flera olika leverantörer på den svenska marknaden bedöms kunna leverera redan idag. För prefab-betongsystemet från Strängbetong (System 3) har en betong till håldäcksbjälklagen använts som är snarlik fall A ovan, redan i grundfallet.

B – Ett alternativ med ett "optimerat" slaggcement, CEM III/A 52,5N som har kombinerats med ett CEM I 52,5R, för att erhålla en snabb hållfasthetstillväxt. Alternativ B är teoretiskt möjligt men finns för närvarande inte att tillgå på den svenska marknaden i Sverige. Detta bindemedel består till 53 % av portlandscement och 47 % slagg.

C – Ett alternativ med ett "maximalt" slaggcement" (CEM III/A) med den högsta möjliga ersättningsnivån enligt den standard som tillämpas, det vill säga 35 % portlandcement och 65 % slagg. Alternativ C visar potentialen

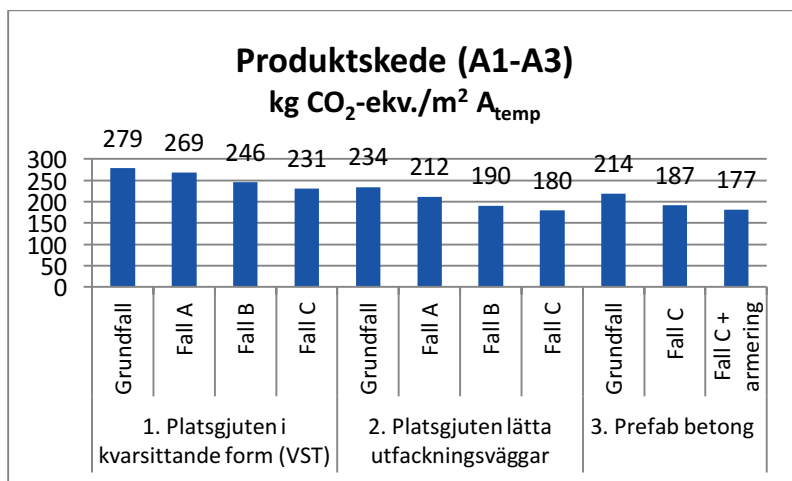
men kräver en del extra åtgärder vid vintergjutning och gjutcyklerna kan påverkas. I alternativ C bör helst användas ett slaggcement med snabb hållfasthetstillväxt.

Den miljöprestanda som används för de alternativa bindemedlen baseras på en ekonomisk allokering av miljöansvaret, där de alternativa tillsatserna i bindemedlet, som flygaska och slagg, får en låg eller ibland ingen klimatpåverkan. Vid en ekonomisk allokering fördelas miljöansvaret efter det ekonomiska värdet på avfallsflödet eller biprodukten med lågt värde i förhållande till huvudprodukten. Denna allokering följer den standard som generellt tillämpas i hela Europa (EN 15804) för byggprodukter. Notera också att slaggen kräver ytterligare bearbetning som torkning och malning, vilket gör att den får en högre klimatpåverkan än flygaska. I projektet har det inte ingått att analysera framtida tillgång på slagg, men i dagsläget är det ingen bristvara och följer alltid med som en biprodukt från ståltillverkningens masugnprocess. Däremot håller flygaska på att bli en bristvara i vissa länder i Europa och kommer att behöva fasas ut i och med att kolkraftverken successivt avvecklas.

Med hänsyn till härdningstiderna för de alternativa recept vi valt kan vi konstatera att betongrecept typ A och B inte nämnvärt påverkar gjutcyklerna (härdningstiden), dock förutsätts att acceleratorer används vintertid och ingår i LCA-beräkningarna, samt eventuell extra värmning eller att man under extrema förhållanden använder en betong som klarar detta. Notera att för betongalternativet C (CEM III/A) är härdningstiden rentav snabbare än för originalalternativet vid härdning i 20°C, dock inte vid vintergjutning. Den typ av modifierad betong med ytterligare flygaska (30 %) än vad som redan finns i Cementas Bascement som används i BRF Viva (Kurkkinen et al., 2015) har motsvarande härdningstider som de betongrecept som normalt används, men en förlängd uttorkningstid (dvs. över 330 kg bindemedel per m³) idag (Cementa, 2013). Notera att betongen ska täckas de första dagarna efter gjutning, vilket gäller all "tät betong", det vill säga betong som inte är renodlade portlandcement (CEM typ I). Med tanke på att golvbeläggningen i referenshusets lägenheter är parkett och att golven förses med klinker i våtutrymmen, samt att betongen täcks de första dagarna efter gjutning, är bedömningen att uttorkningstiderna inte påverkas vid fall A, men att för övriga alternativ måste detta verifieras med sakkexpertis för varje objekt.

Figur 28 nedan visar besparingspotential på byggnadsnivå så som beskrivits ovan, för de tre betongsystemen. Observera att enbart produktskedet (modul A1-A3) redovisas. Övriga livscykelmoduler ligger på samma nivå som beräkningarna för grundfallen i kapitel 4. Vidare har den bindemedelsmix som används i grundfallets betongrecept för fabriksbetong med stor sannolikhet en lägre klimatpåverkan än en tänkt svensk medelvärdesbetong, som kan förväntas innehålla en större andel portlandcement (CEM I) än vad som inkluderats i grundfallens betongrecept. Det innebär att besparingarna sett över livscykeln klimatpåverkan totalt blir 8-11 procent för de tre systemen under en analysperiod om 50 år i förhållande till grundfallet, men antagligen en större förbättring i förhållande till den betong som faktisk används för husbyggnad generellt i Sverige (men detta har inte varit möjligt att bedöma då statistik saknas över vilka bindemedel som faktiskt används). För hela produktskedet (A1-A3) visar beräkningarna att användning av klimatförbättrad betong enligt ovan kan minskas med 4-17 procent för VST-systemet och 9-23 procent för det platsgjutna betongsystemet med lätta utfackningsväggar. Notera att den cementbundna skivan i VST-konceptet inte förbättrats vilket gör att klimatförbättringen i detta alternativ inte blir lika stor som för övriga system. För det prefabricerade systemet är minskningen 12 procent. Även denna besparing är sannolikt större i förhållande till tänkt medelvärdesprefab. Denna bedömning är inte möjlig då det saknas statistik tillgänglig på faktiska bindemedel som används för prefab-betong i Sverige.

Mängdmässigt motsvarar VST-konceptet en konstruktion med betong i yttervägg och skulle kunna utföras mer resurssnålt genom att använda prefab eller platsgjuten betong med ett tunnare betongskikt. En sådan förbättring av konstruktionen har inte gjorts här men ger en inte obetydlig förbättring (se Erlandsson, 2017). En konstruktiv optimering av de platsgjutna stommarna kan också resultera i att betong med något lägre hållfasthetsklass och miljöbelastning skulle kunna användas. Eftersom även de träbaserade systemen har en betongplatta på mark, kan förbättring genom att välja klimatförbättrad betong nås även för de systemen, se figur 29.

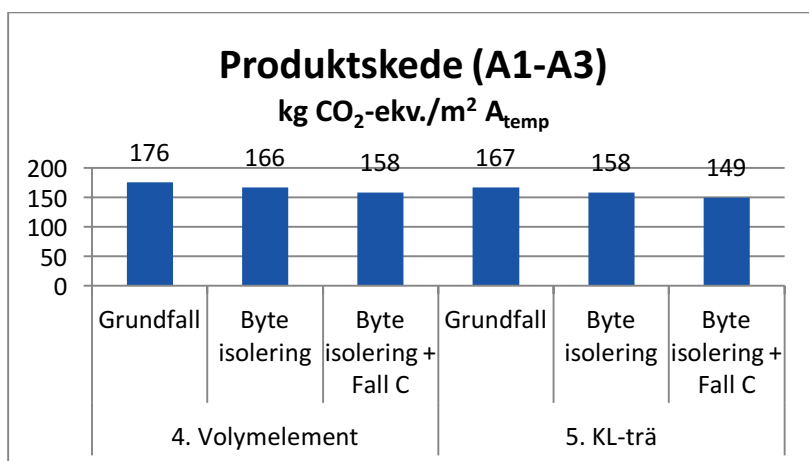


Figur 28. Potentialer till förbättring av produktskedet hos de betongbaserade byggsystemen med tre alternativ av klimatförbättrad betong.

6.2 Övriga klimatförbättrade produktval

För det prefabricerade betongbaserade byggsystemet (System 3) står också armering för en stor andel av klimatpåverkan för produktskedet. Genom att göra ett *specifikt* val av en armeringsprodukt med låg klimatpåverkan vid tillverkningen, kan klimatpåverkan sänkas ytterligare, se sista stapeln till höger i figur 28. Detta beror på att denna produkt har en bättre klimatprestanda än "medelvärdet" för armeringsprodukter som bör användas i liknande beräkningar om en beställare inte tydligt pekat ut vilka produkter som köps in.

För de träbaserade systemen har isoleringen en förhållandevis stor andel av klimatpåverkan i produktskedet (A1-A3). Ett byte av mycket av stenullsisoleringen i dessa system till den glasullsprodukt med bäst klimatprestanda på marknaden idag har därför implementerats på systemen vilket ger en påtaglig reduktion av klimatpåverkan för produktskedet, figur 29.



Figur 29. Potentialer till förbättring av produktskedet hos de träbaserade byggsystemen vid byte till glasullsisolering med hög klimatprestanda, samt klimatförbättrad betong enligt Fall C i plattan på mark.

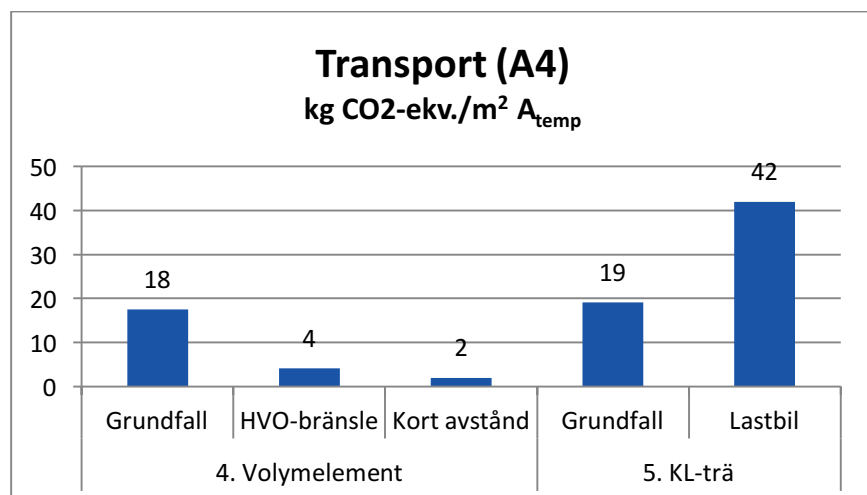
Byte av isolering från minerallull till glasull skulle också kunna implementeras för betongsystemen (se nedan för de träbaserade byggsystemen), men bedömdes ha en mindre påverkan än användning av klimatförbättrad betong och prioriterades därför inte. I det prefabricerade betongsystemet (System 3) används emellertid redan en isolering i yttervägg med lägre klimatpåverkan jämfört med mineralull, Kooltherm. Vi har här valt att inte klimatförbättra med cellulosaisolering då lambdavärdet skiljer mot mineralullen och att det då skulle kräva en omprojektering av ytterväggskonstruktionen.

6.3 Klimatförbättrade transporter

I resultaten för grundfallen för de prefabricerade byggsystemen i förra kapitlet syns att transport av prefabricerade element till byggsplatsen står för en förhållandevis stor andel av byggskedets klimatpåverkan.

Beräkning av klimatpåverkan från transporter av de stora stommaterialen/elementen baseras i grundfallen på faktiskt transportavstånd från fabrikena till den tänkta byggplatsen i Hökarängen. Transport av volymelement i trä sker idag med lastbil av Lindbäck och i grundfallet (figur 20) har fossil diesel ansatts som bränsle⁴. Figur 30 visar den förhållandevis stora potentialen till minskade utsläpp om HVO-bränsle⁵ istället används för transport av volymelementen från Piteå. Det kan ersätta fossil diesel utan behov av tekniska modifieringar och finns att tanka på olika platser i landet. I detta fall har HVO-bränsle baserat på slaktavfall använts i beräkningarna.

I samma diagram visas också hur avståndet till byggplatsen påverkar resultatet. I stapeln för "kort avstånd" visas hur mycket mindre belastningen blir om byggplatsen enbart skulle ligga 100 km från Lindbäck's fabrik (med fossil diesel som drivmedel). Stora Enso transporterar idag sina prefabricerade element i KL-trä med tåg från Österrike för större byggprojekt som kvarteret Blå Jungfrun, vilket motsvarar belastningen för grundfallet i figur 23. Om transporten hade skett med lastbil istället skulle den öka enligt Figur 30.



Figur 30. Analys av transporternas klimatpåverkan beroende på bränsleval och transportavstånd, exemplifierat för de två träbaserade prefabricerade byggsystemen.

Byte av bränsle för lastbiltransporterna av prefabelementen i betong (System 3) från Mälardalen har inte bedömts som en realistisk åtgärd av Strängbetong i dagsläget, då de inte har möjlighet att styra vilken dragbil som kommer att användas och detta alternativ har därför inte beräknats. I en högkonjunktur importeras mycket prefabbetong från Baltikum, Polen och andra grannländer, vilket signifikant ökar transporten klimatpåverkan från prefabbetong, vilket heller inte beräknats.

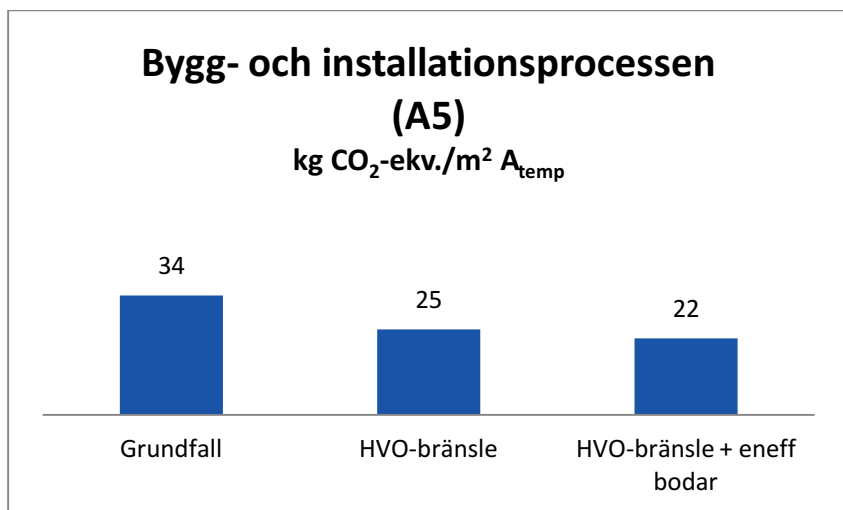
6.4 Förnybart bränsle och energieffektiva bodar på byggplatsen

Beräkning av klimatpåverkan kopplat till energikrävande aktiviteter på byggplatsen har bland annat baserats på intervjuer med leverantörerna av byggsystemen. Utifrån det underlaget är det framför allt el- och dieselanvändning på byggplatsen som står för en förhållandevis stor andel av bygg- och installationsprocessens (modul A5) klimatpåverkan. I figur 31 illustreras förbättringspotentialen vid stomresning och stomkomplettering med mobilkran, om drift av denna byts från fossil diesel till 100 procent HVO-bränsle, samt om mer energieffektiva bodar används under etableringstiden.

Omfattningen av förbättring för dessa två åtgärder är densamma också för de andra två modulsystemen, System 5 samt System 4, med undantaget att övergången till energieffektiva bodar för system 4 ger en lägre reduktion på grund av ett något lägre behov av bodar på plats. Detta beror på att stomresning generellt antas gå snabbast för detta system. Det kan också tilläggas att övergång till HVO-bränsle för dieseldrivna maskiner på byggplatsen generellt innebär en större besparingspotential om en dieseldriven mobilkran används på byggplatsen. Studien här baseras på vad respektive plattformägare angivit som mest realistiskt alternativ för stomresning, dieseldriven mobilkran eller eldriven byggkran. För system 2 är diesellätgången mycket lägre på byggplatsen, då beräkningen bygger på en eldriven byggkran. Därmed finns inte heller samma besparing att göra i det teoretiska fallet för att byta till HVO-bränsle. Vilken typ av kran som används beror på många faktorer och kan förstås variera beroende på typ av projekt snarare än typ av byggsystem. Värdet för energieffektiva bodar som används här är 4000 kWh/bod och år vilket motsvarar det krav som för närvarande ställs för kontorsbod i etableringar i Norra Djurgårdsstaden i Stockholm (Stockholms Stad, 2017). I grundfallet räknas på 1000 kWh/manskapsbod och månad och 400 kWh/kontorsbod och månad, i samtliga fall.

⁴ Lindbäck's kör redan idag med HVO-bränsle men det är alltid svårt att garantera att det till 100 procent är sådant bränsle som används

⁵ dvs. hydrerad vegetabilisk olja som framställs av vegetabiliska oljor eller animaliska fetter som slaktavfall.



Figur 31. Potential till förbättring av bygg- och installationsprocessen (modul A5) exemplifierat för det prefabricerade systemet i betong (System 3) då arbetsmaskiner (inkl. mobilkran) använder HVO-bränsle samt med mer energieffektiva bodar (kg CO₂e/m² A_{temp}).

6.5 Reduktionspotential per byggsystem

Sammanfattningsvis innebär de åtgärder som redovisats ovan att byggskedets klimatpåverkan (A1-A5) för de olika byggsystemens grundfall (se kapitel 5) i samtliga fall kan sänkas betydligt. Av de beskrivna åtgärderna har de viktigaste för respektive byggsystem implementerats i Tabell 4. Här framgår att det finns potentialer med enbart dessa åtgärder att sänka klimatpåverkan för byggskedet (modul A1-A5) med nära 1/5 för de flesta av de studerade byggsystemen.

Tabell 4. Sammanfattning av potential att minska klimatpåverkan till följd av viktiga åtgärder för respektive byggsystem, då de implementeras på studiens referenshus.

Byggsystem	Implementerade förbättringar	Minskad klimatpåverkan för byggskedet (modul A1-A5)
1: Platsgjuten betongstomme i kvarsittande form (VST)	Klimatförbättrad betong enligt Fall C Byte från diesel till HVO-bränsle på byggarbetsplatsen Energieffektiva bodar på byggplatsen	20 %
2: Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar	Klimatförbättrad betong enligt Fall C Byte från diesel till HVO-bränsle på byggarbetsplatsen Energieffektiva bodar på byggarbetsplatsen	21 %
3: Prefabricerad betongstomme	Klimatförbättrad betong enligt Fall C Specifikt val av armeringsprodukt Byte från diesel till HVO-bränsle på byggarbetsplatsen Energieffektiva bodar på byggarbetsplatsen	18 %
4: Volymelement i trä	Byte från stenull till specifikt val av glasullsprodukt Klimatförbättrad betong i bottenplatta enligt Fall C Lastbiltransport av volymelement med HVO-bränsle Byte från diesel till HVO-bränsle på byggarbetsplatsen Energieffektiva bodar på byggplatsen	19 %
5: Massiv stomme i KL-trä	Byte från stenull till specifikt val av glasullsprodukt Klimatförbättrad betong i bottenplatta enligt Fall C Byte från diesel till HVO-bränsle på byggarbetsplatsen Energieffektiva bodar på byggarbetsplatsen	13 %

För alla system finns naturligtvis ytterligare åtgärder som hade kunnat implementeras, men exemplen ovan illustrerar ett antal val/åtgärder som har stor potential för respektive system. Åtgärder som minskar klimatpåverkan för underhåll under byggnadens användningsskede kan också vara viktiga att beakta. I den här studien är tak- och fasadmateriell samt installationer lika i samtliga projekteringar av byggsystemen, men för balkongerna i träsystemen är klimatpåverkan på grund av utbyte av balkongplattan förhållandevis hög. Det innebär att det finns all anledning att finna klimatsmarta alternativ för den typen av balkonglösningar.

7. Övriga delarbeten i projektet

7.1 Känslighetsanalyser för scenarier i användningsskedet (skede B)

De grundscenarier som presenterats i tidigare avsnitt omfattade en analysperiod om 50 år. I detta avsnitt presenteras ett antal känslighetsanalyser för olika antaganden om användningsskedet, skede B. Det gäller dels en förlängd analysperiod till 100 år och dels alternativa scenarier för driftenergin (modul B6).

7.1.1 Underhåll och utbyte (modul B2 och B4) för 100 års analysperiod

Alla de studerade byggsystemen är dimensionerade för att klara kraven i BBR, vilket var ett grundkrav på de projekterade lösningarna som studeras i projektet. Detta inkluderar också att stommar skall ha en livslängd som varar minst 50 år, som grundfallets analysperiod. Normalt sett sker även en standardhöjande ombyggnad efter 50 år, vilket analytiskt sett innebär att en ny analysperiod på minst 50 år till påbörjas efter de inledande 50 åren enligt grundfallet. Detta sätt att utgå ifrån en ombyggnadscykel och beskriva en byggnads klimatpåverkan med hänsyn till standardhöjande ombyggnad ingår i projektet men rapporteras separat.

När vi räknar med en hypotetisk analysperiod om 100 år inställer sig frågan huruvida de studerade byggsystemens stommar och andra delar som inte normalt underhålls och byts ut, kan förväntas hålla i 100 år. Även om byggnaderna i sig håller i 100 år är de vanligtvis projekterade för att svårbytbare delar ska ha en teknisk livslängd på i alla fall 50 år. Det är därför viktigt att påpeka att denna typ av analysperiod på 100 år bör ses som ett begränsat känslighetsscenario, där vi antar att ytterväggar, grund- och takisolering, osv. inte behöver bytas, utan vi "förlänger" bara normalt underhåll och utbyte till 100 år. Se närmare beskrivning av vilka scenarier för livslängder som använts vid beräkningen i Bilaga 1. Skall tekniska prestanda på exempelvis konstruktionens täthet beaktas efter 50 år, så saknas sådan information naturligt, då vi inte har så långa tidsserier av erfarenhet av moderna byggsystem. Dessutom ändras klimatet framöver jämfört med hur det varit historiskt, vilket också kan påverka byggnader på ett annorlunda sätt i framtiden. Jämfört med den senaste 30 årsperioden har till exempel temperaturen ökat med cirka 1 grad enligt SMHI:s statistik för Stockholm. Vissa byggnadsdelar, såsom lätta utfackningsväggar, behöver nödvändigtvis inte hålla mer än i 50 år, eftersom det är troligt att de byts ut helt vid en standardhöjande ombyggnad. Det är med andra ord inte orealistiskt att en framtida standardhöjande ombyggnad utgår ifrån att byggnaden rivs delvis till en ren stomme.

7.1.2 Beskrivning av alternativt scenario för driftenergi (modul B6)

Så som är brukligt enligt standarden EN 15978 har data för klimatpåverkan för användning av framtida el och fjärrvärme under analysperioden ansatts som samma som för nuläget, då det bara är denna typ av information som går att verifiera. Då beslutade klimatmål är netto-nollutsläpp redan 2045, ingick som ett extrauppdrag till Regeringskansliet att ta fram ett scenario för klimatpåverkan från driftens energianvändning som ligger mer i linje med Miljömålsberedningens målscenario (SOU 2016:21). Det är intressant att jämföra klimatpåverkan mellan driftenergin (och användningsskedet) och de utsläpp som kan kopplas till själva byggandet av huset idag med ett framtida scenario med låg klimatpåverkan för driftenergin, vilket presenteras i figurerna nedan.

Energiscenariot har modellerats så att efter 2050 antar vi att el- och fjärrvärmeproduktionen är samma som produktionen år 2050. Från 2016 till 2050 extrapolerar vi och antar att det blir en linjär utveckling mellan dessa år. Då Miljömålsberedningens målscenario inte explicit anger klimatprestanda eller produktionsmixer för el och fjärrvärme år 2045, har vi gått igenom andra relevanta scenarier med sådan information som kan anses ligga i linje med Miljömålsberedningens scenario.

För elproduktion valdes det koldioxidneutrala scenariot (CNS) för det nordiska energiteknikperspektivet (NETP-projektet) från Internationella energimyndigheten IEA (2016). Klimatprestanda för den nordiska elmixen för år 2050 som hämtats härifrån ligger på 16 g CO₂e/kWh. För fjärrvärme valdes "Vivace –scenarioet" i Energimyndighetens studie "Fyra Framtider" (Energimyndigheten, 2016). Detta scenario representerar en utveckling från idag som både tar hänsyn till att klimatförändringarna måste begränsas, en hög andel förnybar energi men samtidigt en energiproduktion på ungefär samma nivå som idag. Detta motsvarar en klimatprestanda för fjärrvärmemedel för 2050 på 40 g CO₂e/kWh. Klimatpåverkan för att producera olika bränslen har hämtats från Värmemarknadskommittén (2016), dvs. från samma källor för de värden som använts i beräkning av grundfallen. Men en viktig skillnad är att det scenario för elproduktion (IEA, 2016) som utnyttjats för att ta fram klimatprestanda för el i vårt alternativa scenario, inte gör antaganden om hur el produceras i länder utanför det nordiska nätet. För att kompensera för denna brist på information har den framtida klimatpåverkan för export/import antagits vara likvärdig med dagens bidrag (+12 g CO₂e/kWh), som därför lagts på det alternativa scenariot för el.

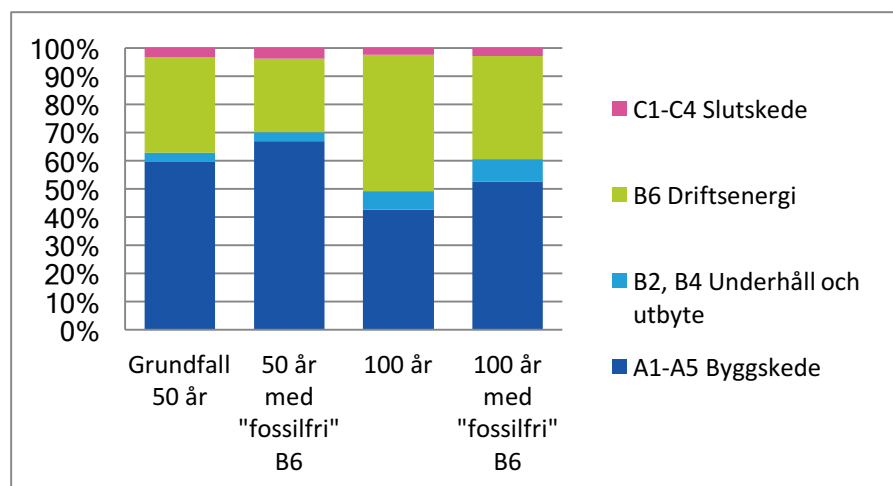
De resulterande medelvärdena (i sin tur baserade på årsmedelvärden för åren 2016 och 50, respektive 100 år framåt), för att beräkna klimatpåverkan av driftenergin (modul B6) i det alternativa scenariet är:

- Nordisk elmix, 50 års analysperiod: 53 g CO₂e/kWh
- Nordisk elmix, 100 års analysperiod: 41 g CO₂e/kWh
- Svensk fjärrvärmemedel, 50 års analysperiod: 48 g CO₂e/kWh
- Svensk fjärrvärmemedel, 100 års analysperiod: 44 g CO₂e/kWh

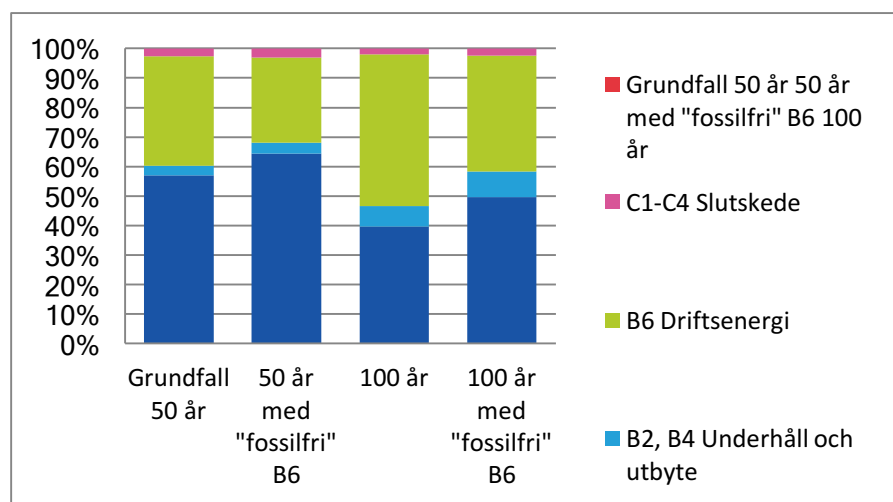
7.1.3 Resultat för känslighetsanalyser för användningsskedet

Figur 32-36 visar klimatpåverkan fördelat på olika livscykelkedorna och moduler för respektive byggsystem, fördelat på fyra fall:

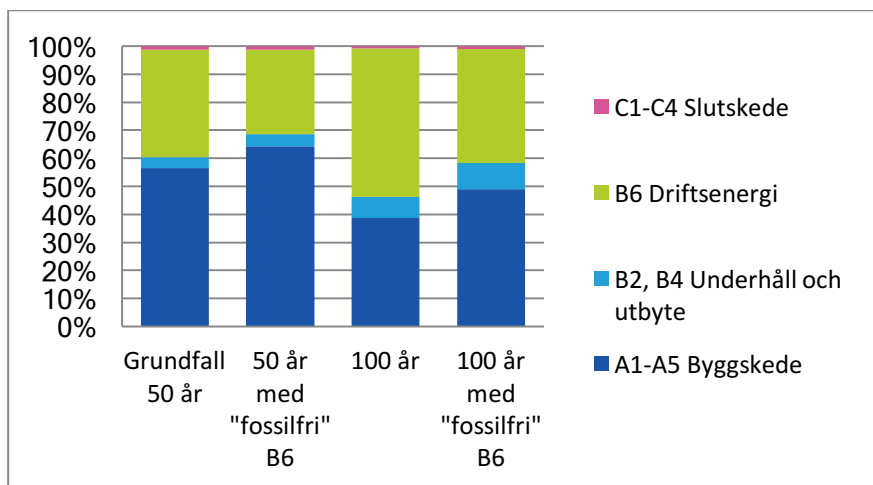
- Grundfallets klimatprestanda, det vill säga dagens klimatprestanda under hela analysperioden på 50 år.
- Känslighetsanalys där klimatprestanda har dagens prestanda år 1 och sedan linjärt ökande till målscenariernas prestanda år 50 (alternativt energiscenario).
- Känslighetsanalys för en analysperiod om 100 år med dagens klimatprestanda för modul B6 hela analysperioden.
- Känslighetsanalys för en analysperiod om 100 år med dagens klimatprestanda för år 1 och sedan linjärt ökande till målscenariernas prestanda år 50 och har därefter samma värde resterande period 50-100 år (alternativt energiscenario)



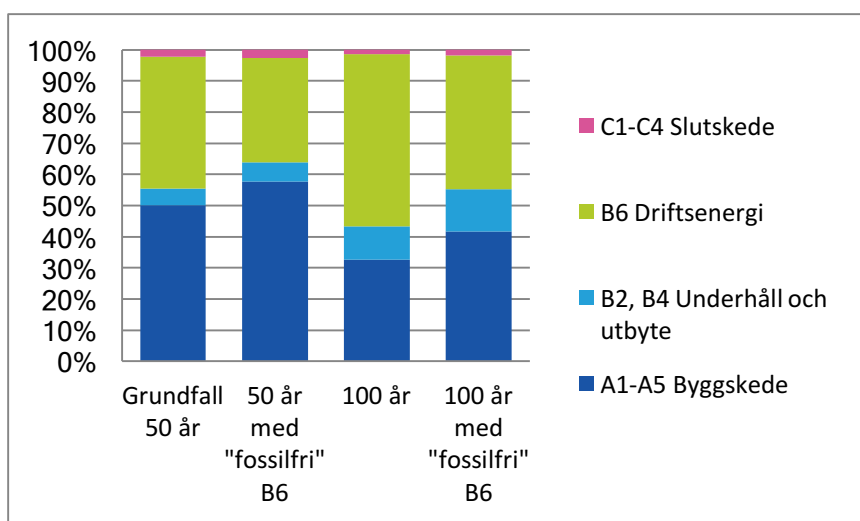
Figur 32. System 1 (Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form, VST) – Känslighetsanalys för en analysperiod om 100 år samt med ett alternativt energiscenario i linje med klimatmålen.



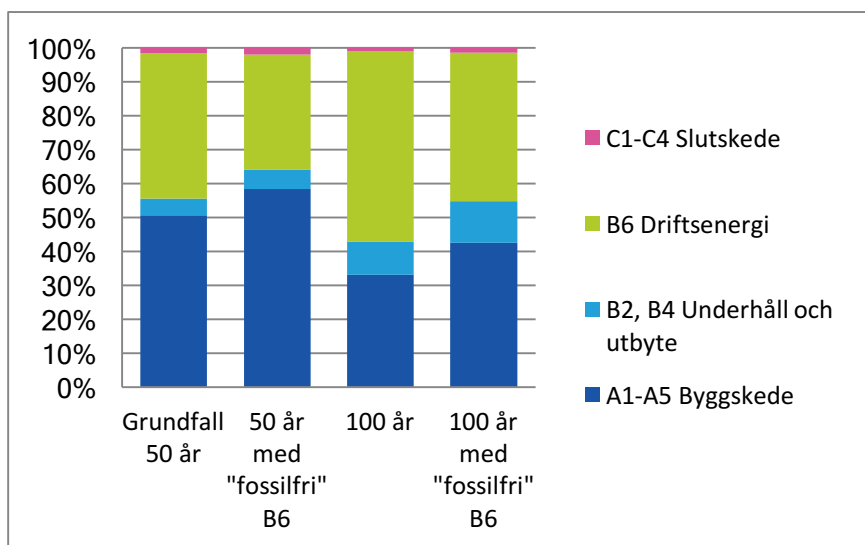
Figur 33. System 2 (Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar) – Känslighetsanalys för en analysperiod om 100 år samt med ett alternativt energiscenario i linje med klimatmålen.



Figur 34. System 3 (Prefabricerad betongstomme) – Känslighetsanalys för en analysperiod om 100 år samt med ett alternativt energiscenario i linje med klimatmålen.



Figur 35. System 4 (Volymelement i trä) – Känslighetsanalys för en analysperiod om 100 år samt med ett alternativt energiscenario i linje med klimatmålen.



Figur 36. System 5 (Massiv stomme i KL-trä) – Känslighetsanalys för en analysperiod om 100 år samt med ett alternativt energiscenario i linje med klimatmålen.

Resultaten visar att även om byggskedet (modul A1-A5) i samtliga konstruktionslösningar redan i grundfallet står för mellan 50-60 procent av livscykelns klimatpåverkan så ökar denna andel till mellan 58 och 67 procent,

då ett scenario för framtida energiproduktion används som ligger mer i linje med klimatmålen. Och då ett sådant scenario tillämpas för en 100-årsperiod dominerar även då byggskedet, med en klimatpåverkan motsvarande mellan 42 och 53 procent.

Det scenario som ansätts för driftenergin (modul B6) har alltså stor betydelse för resultaten i livscykelanalyser av byggnader, då analysperioden ofta är mycket lång jämfört med vanliga konsumtionsprodukter. Samtidigt måste man förstå att osäkerheten om framtiden är stor och om vi inte bara ska bli klimatneutrala utan även inkludera klimatnegativa processer såsom koldioxidinfångning och -lagring (CCS) så ger detta helt andra resultat än de som visas här. På den enskilda byggnadsnivån kan byggskedet dominera ännu mer påtagligt om ett scenario sätts som representerar att byggnaden under en tänkt analysperiod enbart använder näst intill fossilfri energi. I de tidigare SBUF-studierna om LCA för de nybyggda flerbostadshusen Blå Jungfrun (Liljenström et al., 2015) respektive Strandparken (Larsson, et al., 2016) beräknades livscykelns påverkan också för ett sådant scenario med el och fjärrvärme med hög andel förnybart innehåll. Motsvarande räkneövning för de fem konstruktionslösningarna i denna studie ger att byggskedet står för 69 till 77 procent vid en analysperiod om 50 år. Om även byggandet av garage ingår i byggskedet, står detta för så mycket som upp till 80 procent under en analysperiod om 50 år.

Figurerna 32-36 visar också hur klimatpåverkan för underhåll och utbyte ökar i andel om analysperioden förlängs.

7.2 Beräkning av kumulativ energianvändning

Ett deluppdrag i projektet har också varit att beräkna kumulativ energianvändning (CED) för de studerade byggsystemen. Kumulativ energianvändning (CED), som också kan benämnas primärenergi, representerar energianvändningen under en produkts hela livscykel, inklusive den energi som åtgår för extraktion, omvandling och distribuering av råmaterial. Denna skiljer sig därmed från den levererade "köpta" energin vilken är den energi som används av konsumenten. Vidare ingår inte sekundär energi i begreppet kumulativ energianvändning. Med sekundär energi menas när uttjänta produkter används för energiåtervinning (och definieras i EN 15804), vilket gör att bara delar av energianvändningen inkluderas när CED beräknas.

Det finns dock ingen entydigt accepterad definition av kumulativ energi, utan standarder och guidelines definierar begreppet olika (Frischknecht, m.fl., 2015). Exempelvis förekommer att systemgränser definieras olika, såsom levererad energi från ett vattenkraftverk eller den potentiella rörelseenergi som vattenkraften utvinns ifrån. Samma problematik gäller givetvis solceller, solvärme, vindkraft, osv. Ett annat problem är att en råvara som används som energi betraktas som använd när den utvunnits, men det betyder inte att den inte finns kvar, utan en delmängd finns kvar bundet i olika produkter. Detta gör att tolkningen av kumulativ energi beror på när i livscykeln beräkningen görs. Om analysen görs för byggskedet, dvs. för en färdigställd byggnad, då är den största delen av energin bunden i byggprodukterna. Om analysen istället görs för hela modul A-C, dvs också inkluderar slutskedet och en tänkt framtida rivning, samt att bunden energi i byggprodukterna används som bränsle så är det de processer nedströms som slutligen använder energin (t.ex. ett fjärrvärmeverk).

Kumulativ energi och primärenergianvändning är analytiskt beräknade, men det finns också politiskt definierade så kallade primärenergifaktorer, där olika värdebaserade aspekter vägts in. En konsekvens av detta är att det i ett fjärrvärmeverk som producerar 1 kWh anses att det krävs mindre primärenergi, vilket givetvis är omöjligt enligt alla naturlagar. Detta fenomen uppstår på grund av att viss energi anses som "gratis" då sådana primärenergifaktorer upprättas. Detta problem är hanterat i CEN-standarderna genom att utöver primärenergi även bokföra sekundär energi, dvs. energianvändning från samhället kan betraktas som gratis eller som spillvärme, om dess miljöpåverkan har allokerats uppströms på tidigare system. På grund av alla dessa möjliga sätt att värdera, bokföra och redovisa primärenergianvändning, så är det inte helt ovanligt att det finns felaktigheter i sådana beräkningar.

Ytterligare en aspekt är att om primärenergi ska användas som en indikator på hållbar resursanvändning så kan inte förnybar och icke förnybar primärenergi läggas samman. Samma sak gäller användning av sekundär energianvändning. I CEN-standarderna är det "bara" kumulativ energianvändning för icke förnybar energi som betraktas som en resurshushållningsindikator för energibärare, då alla förnybara energibärare med andra ord betraktas som gratis. Ofta följer bidraget från olika miljöpåverkanskategorier varandra, dvs. att en hög icke förnybar kumulativ energianvändning också ger en hög klimatpåverkan, men det finns också undantag. Växthusetgaserna släpps ut till atmosfären vid förbränning av fossila bränslen, men också vid kemiska processer vid tillverkning av till exempel stål och cement. Dessa processer bidrar mer till klimatpåverkan än de bidrar till kumulativ energianvändning.

Kumulativ energianvändning (CED) kan alltså redovisas på flera olika sätt. Enligt standarderna EN15804/EN 15978 ska den kumulativa energianvändningen uttryckas i MJ samt fördelas på fyra indikatorer⁶ (som också kan adderas till total kumulativ energianvändning):

- Förnybar primär energi, exklusive energiresurser använda som råmaterial (PERE);
- Icke-förnybar primär energi, exklusive energiresurser använda som råmaterial (PENRE);
- Förnybara primärenergiresurser använda som råmaterial (PERM);
- Icke-förnybara primärenergiresurser använda som råmaterial (PENRM).

I beräkningarna här rapporteras enbart total primär energi fördelat på förnybar respektive icke-förnybar del, dvs. PERE+PENRE ovan. Vid beräkning av en hel livscykel ska den bundna energin (PERM respektive PENRM ovan) dras av om dessa material återvinns eller används för energianvändning (regeln kallas ”inre egenskaper kan inte allokeras bort”). Genom att vi här ger beräknad CED för just en hel livscykel innebär det att de redovisade värdena för primärenergi/CED exkluderar energiresurser som under analysperioden varit bundna i byggnadsverket som ett råmaterial. Ett exempel är bunden energi i virke som kan utnyttjas då virket används som bränsle efter byggnadens slutskede i ett fjärrvärmeverk. PERM för träprodukter är vanligtvis betydligt högre än PERE. Inklusivt PERM i en jämförelse av byggprodukter skulle därför trä framstå som den mest energiintensiva produkten, helt enkelt för att trä i sig är en energiresurs.

Beräkningen av kumulativ energianvändning för modul A1-A3 av de olika byggsystemen baseras på att specifika CED-data har ansatts till resurser som bidrar mest till klimatpåverkan för produktskedet. Dessa resurser representerar runt 80 procent av den totala klimatpåverkan. Därefter har ett slutgiltigt värde erhållits genom att anta att de resterande högst 20 procent har samma kumulativa energianvändning per kg CO₂-ekv. räknat. Beräkning av underhåll och utbyte (modul B2, B4) samt energikrävande aktiviteter på arbetsplatsen (modul A5) baseras på samma resurssammansättning som utnyttjats för beräkningen av klimatpåverkan. Data för förnybar och icke förnybar primärenergianvändning (kumulativ energianvändning) för varje resurs har hämtats antingen från relevanta EPD:er eller Ökobau-databasen (Tyska federala inrikesministeriet, byggnad och gemenskap, 2017).

Beräkning av transporter till byggplatsen (modul A4), samt slutskedet (modul C1-C4) kan förenklat beräknas genom att utgå ifrån att den klimatpåverkan som uppkommer i dessa skeden i hög grad uppkommer till följd av användning av bränsle och försummar den mindre del som baseras på el (dvs. tåg i modul A4). Slutligen har beräkning av kumulativ energianvändning för driftens energianvändning (modul B6) gjorts baserat på CED-data som togs fram i den första delstudien av Blå Jungfrun (Liljenström et al., 2015)⁷. Dessa skall ses som kompatibla i omfattning jämfört med övriga CED-data som används, men det skall sägas att de då är något äldre än de data för klimatpåverkan för el och fjärrvärme som används i beräkning av grundfallen.

Tabell 5 visar beräkningarna för grundfallen för de fem byggsystemen, det vill säga 50 års analysperiod samt ”dagens” energidata för driftenergin för även de kommande 50 åren, MJ/m² A_{temp}.

⁶ Förkortningar följer benämningarna i databasen Ökobau samt i vissa EPD:er.

⁷ CED-beräkningarna för energianvändning B6 har förenklats och anges bara som primärenergi och sekundär primärenergi har inte räknats bort

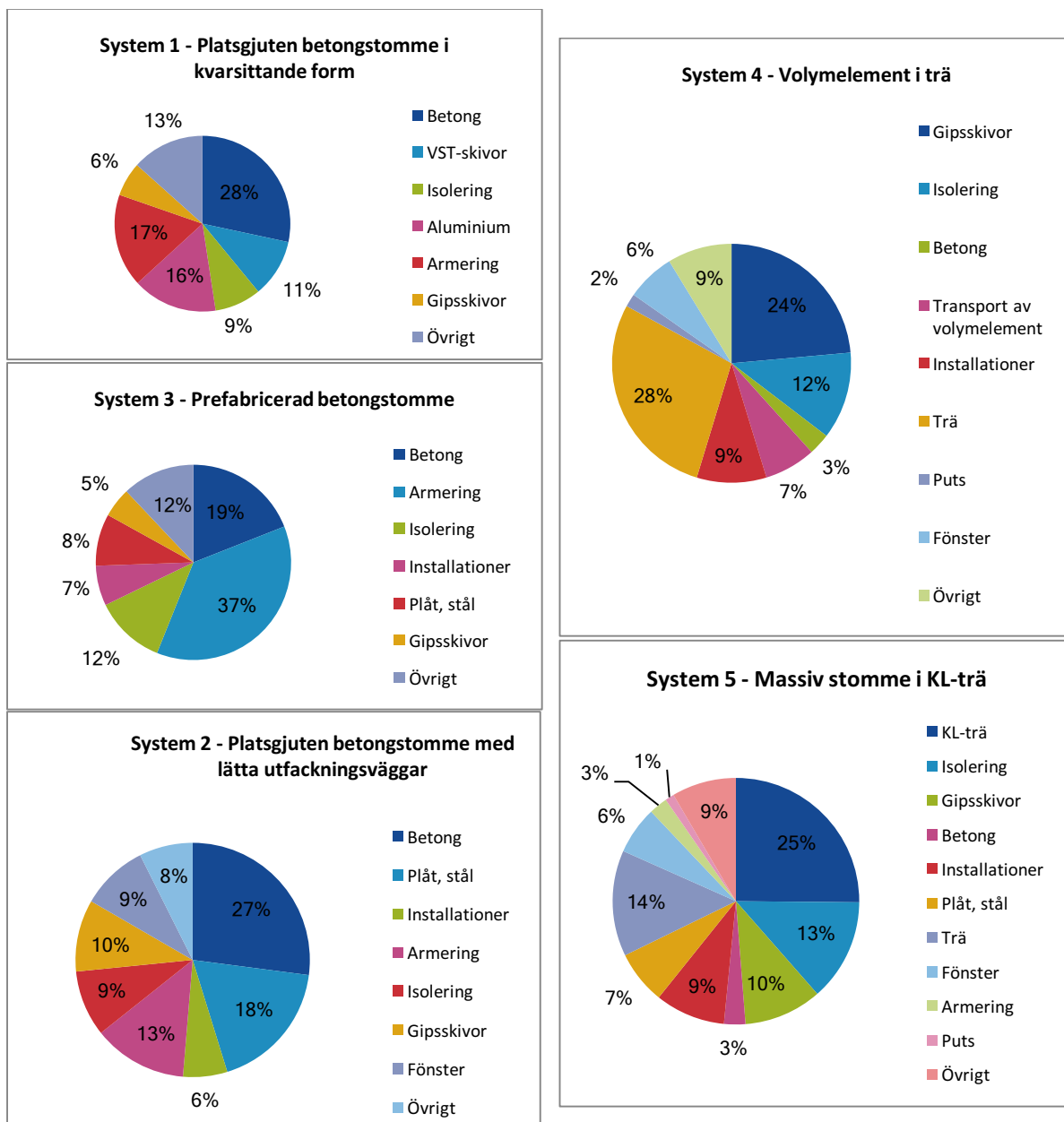
Tabell 5. Förnybar respektive icke förnybar kumulativ energianvändning beräknat för de fem byggsystemen under en analysperiod på 50 år ($\text{MJ}/\text{m}^2 A_{temp}$).

		A1-3 Produktskede	A4 Transport	A5 Bygg- och installationsprocessen	B2,4 Underhåll och utbyte 50 år	B6 Driftenergi 50 år	C1-4 Slutskede	TOTAL
System 1 - Platsgjuten betongstomme med kvarstannande form	CED - förnybar	323	0	339	111	5670	1	6445
	CED - icke förnybar	1561	152	700	230	4750	255	7648
System 2 - Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar	CED - förnybar	387	1	364	111	5670	1	6533
	CED - icke förnybar	1883	158	554	230	4750	190	7765
System 3 - Prefabricerad betongstomme	CED - förnybar	251	1	280	113	5670	0,3	6321
	CED - icke förnybar	2170	328	496	297	4750	79	8154
System 4 - Volymelement i trä	CED - förnybar	1218	1	185	115	5670	0,4	7189
	CED - icke förnybar	1984	242	367	383	4750	134	7860
System 5 - Massiv stomme i KL-trä	CED - förnybar	1392	1	285	113	5670	0,3	7462
	CED - icke förnybar	1959	263	503	351	4750	108	7933

Resultaten visar att byggskedet (modul A1-A5) står för mellan 22-29 % av total kumulativ energianvändning över hela livscykeln, under en analysperiod om 50 år. Ser vi enbart till icke förnybar kumulativ energianvändning står byggskedet för 32-37 procent under 50 års analysperiod.

Om syftet är att använda kumulativ energianvändning som en indikator för resurseffektivitet så är således driftens energianvändning (modul B6) viktigare än materialproduktionen (modul A1-3), eller byggskedet (modul A1-5). I de standarder som tillämpas för LCA på byggsidan (EN 15804 och EN 15978) så är det användningen av icke förnybar energi som betraktas som en miljöpåverkanskategori, det vill säga som ska användas för jämförelse. Detta är till viss del en förenkling, då det går att resonera att även flödande eller förnybara resurser är knappa och bör hushållas med. Ett förslag på bedömningsmetod som gör en sådan värdering möjlig genom att beräkna ett energiindex har utvecklats av Erlandsson och Sandberg (2008). Detta gör det möjligt att värdera graden av knapphet och ger ett numeriskt relativt värde för olika energibärare där minst knapp är sol, sedan vind, torv, trä och andra energigrödor. Därefter följer semi-fossila bränslen som torv, följt av fossila bränslen (kol, olja, naturgas, osv.).

Om enbart byggmaterialen analyseras visar resultaten i tabell 5 att användningen av icke förnybar energi inte skiljer så mycket mellan de olika plattformarna och man kan slås av att detta är ett annat resultat än när man analyserar bidraget till klimatpåverkan. Skillnaden kan förklaras med att i betong används portlandsklinker som i sin tur släpper ut koldioxid från tillverkningen. Detta processutsläpp är i samma storleksordning som de utsläpp som kommer från bränslet i cementugnen. Figur 37 visar vilka material som bidrar mest till total kumulativ energianvändning i de fem studerade systemen. Betong står för en betydligt lägre andel av bidraget till produktskedets energianvändning jämfört med när klimatpåverkan analyseras. Det är värt att notera att användningen av sekundära bränslen såsom plastavfall och andra uttjänta produkter står för en betydande andel av cementtillverkningens energianvändning idag, men ingår inte i begreppet kumulativ energi och syns därmed inte i vare sig tabell 5 eller figur 37. För de träbaserade systemen står istället trämaterial för en större andel av energianvändningen jämfört med när klimatpåverkan analyseras. Men över lag är det tydligt att bidraget till total kumulativ energianvändning i samtliga fall är fördelat på många olika material och resurser.



Figur 37. De olika materialens bidrag till total kumulativ energianvändning för produktskedet (modul A1-A3) för de fem studerade byggsystemen.

Det resultat som visas ovan är i paritet med andra studier som använder en liknande bokförings-LCA-metodik (t ex. Birgisdottir och Stenholt Madsen, 2017; Dixit, 2017). Samtidigt förekommer, som redan nämnts tidigare, alltså olika detaljval av systemgränser i olika LCA-fallstudier som beräknar kumulativ energianvändning, i högre omfattning än när det gäller klimatpåverkan. Det är därför än så länge ganska svårt att jämföra olika studier. Exempelvis visar Dixit (2017) som har gått igenom en stor mängd vetenskapligt granskade artiklar med LCA-studier för byggnader som beräknar kumulativ energianvändning att det finns en stor variation mellan olika studier vilket beror på stora skillnader i studiernas systemgränser men också på att olika typer av data använts.

Mycket av användningen av icke förnybar energi kommer från drivmedel i tillverkningskedjan för de träbaserade varorna. Den utveckling vi ser framför oss, med introduktionen av reduktionsplikten, innebär att det fossila inslaget för produktskedet för träprodukter kommer att minska i en framtid. Denna utveckling pågår också för de bränslen som används i cementugnarna inklusive en ökad användning av sekundära bränslen. I framtiden kommer vi således behöva att på ett bättre sätt än idag värdera olika förnybara och flödande resurser, som trots allt är knappa. Vi ser framför oss att detta är en frågeställning som kan behöva belysas mer framöver.

7.3 Klimatpåverkan till följd av vattenskada

Vattenskador som uppstår i lågenergihus (som de här studerade projekterade lösningarna representerar) får en lite annorlunda problembild än i traditionellt byggda hus. Orsaken är att byggnadskonstruktionerna är mer välisolerade med en ytterväggskonstruktion som ofta är betydligt tjockare jämfört med tidigare traditionellt byggda hus. Om ett vattenläckage uppstår i badrum eller framför allt i kök (t.ex. genom att ett rör går sönder eller att tätskiktet läcker) riskerar vatten även att sugas upp i ytterväggen. Det gör att tiden för fukten att torka ut kan bli längre. Ett sådant händelseförlopp kan medföra omfattande åtgärder i form av utbyte och torkning och frågan om storleksordningen på klimatpåverkan för sådana åtgärder infann sig därmed.

I projektet ingick att därför att genomföra en översiktlig beräkning av klimatpåverkan kopplat till åtgärder till följd av vattenskador under den analysperiod vi studerar för referenshuset. I storleksordningen 100.000 vattenskador uppkommer i bostäder per år enligt försäkringsbolagen. 83 procent av totalt 5771 inrapporterade skador till Vattenskadecentrum 2016, skedde i villor och 8 procent i flerbostadshus (Vattenskadecentrum, 2017). Om 10 procent av 100.000 sker i flerbostadshus motsvarar det att 0,4 procent av lägenhetsbeståndet drabbas av vattenskada varje år. Då det var svårt att få fram god statistik från försäkringsbolagen ställdes frågor i projektet också till ett antal byggbolag och förvaltare av flerbostadshus. Dessa uppgav att i storleksordningen 1,6-1,7 procent av färdigställda nya lägenheter under garantitiden drabbas av vattenskador, vilket framför allt handlar om brister i utförandet. I större lägenhetsbestånd hos de förvaltare som tillfrågades, drabbas i storleksordningen 0,4-0,9 procent av lägenheterna av en vattenskada per år. Som en första ansats valdes därför att genomföra en beräkning av att 1 procent av lägenheterna i referenshuset varje år drabbas av en vattenskada. Det ger en indikation om vilken storleksnivå detta kan handla om.

Fyra olika tänkbara omfattningar av en vattenskada i något av referenshusets kök modellerades. Baserat på intervjuerna med byggbolag och fastighetsägare samt i samråd med projektets referensgrupp, modellerades renoveringsbehovet i de olika konstruktionslösningarna vid en sådan skada. Detaljer för beräkningsmetoden framgår av Bilaga 3, inklusive detaljer som rör de alternativa omfattningarna av skadan.

Tabell 6 visar potentiell klimatpåverkan till följd av sanering av vattenskador i referenshuset under en analysperiod om 50 år. De olika fallen indikerar det spann i klimatpåverkan som är sannolikt och i det värsta scenariot (mest omfattande skadan) uppgår belastningen som mest till 4,4 kg CO₂-ekv./m² A_{temp} under en period av 50 år (och det dubbla för 100 år) för System 4. Detta bör ses som ett "høgt" värde då alla vattenskador inte är lika omfattande, men ger en indikation om storleksordning. Generellt har träkonstruktionerna en något högre klimatpåverkan på grund av att isolering i bjälklagskonstruktionen antas behövs en mer omfattande sanering vid vattenskador.

Tabell 6. Klimatpåverkan till följd av vattenskada under 50 års analysperiod.

Byggsystem	Klimatpåverkan under 50 år, minskada (kg CO ₂ e/m ² A _{temp})	Klimatpåverkan under 50 år, maxskada (kg CO ₂ e/m ² A _{temp})
System 1 - Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form	0,7	1,7
System 2 - Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar av trä och stål	0,7	1,7
System 3 - Prefabricerad betongstomme med håldäcksbjälklag	0,9	2,8
System 4: Volymelement av trä	1,3	4,4
System 5: Massiv stomme av KL-trä	1,2	4,1

Denna studie handlar om att beräkna olika byggsystems klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv. Men relaterat till denna frågeställning uppkommer ofta en diskussion om fukt- och brandrisker i modernt byggande, och huruvida detta kan leda till oönskad miljöpåverkan vid felaktiga konstruktionsval eller utföranden. Den översiktliga analysen av vattenskador ovan är ett sätt att belysa sådana konsekvenser. En översiktlig genomgång i övrigt om sådana risker och hur de kan minimeras, återfinns i Bilaga 4.

7.4 Kunskapsläget om kolsänkor och karbonatisering av betong

Detta avsnitt ingår som del till Regeringskansliet och syftar till att ge en någorlunda enkel beskrivning av kunskapsläget kring synen på och hanteringen av dessa frågor i LCA för byggnader, baserat på senaste beräkningsstandarder och fakta.

Enligt Parisavtalet utgör negativa koldioxidutsläpp en förutsättning för att vi ska kunna nå våra klimatmål, det vill säga det krävs att växthusgaser "tas bort" från atmosfären. Det praktiseras inte i dagsläget i någon i större skala. För att utreda frågeställningen har Regeringen tillsatt en utredning som bland annat ska "...undersöka hur inbindning av kol i skog och mark, avskiljning och lagring av koldioxid med biogent ursprung (bio-CCS) och verifierade utsläppsminskningar genom investeringar i andra länder kan och bör bidra till detta"⁸. Trots att biogent kol ingår i vår nationella klimatrapporering så är det inte möjligt att göra detsamma i en LCA enligt de standarder som gäller för närvarande i byggsektorn (dvs. EN 15804 och EN 15978).

Bio-CCS är tillämpbar vid tillverkning av såväl träbaserade produkter som för stål-, cement- och kalkindustrin, osv. Utöver detta anges att "utredaren ska sammanställa information om tekniska åtgärder vid sidan av ökad kolsänka och bio-CCS som kan ge upphov till upptag av koldioxid ur atmosfären och bedöma om förutsättningar kan finnas för någon eller några av dessa åtgärder att ge ett signifikant bidrag till negativa utsläpp i Sverige i mitten på detta sekel." En sådan möjlighet är att se till att upplagringen av biogent kol sker i samhällets byggnadsstock och infrastruktur.

Mot denna bakgrund finns en retorik kring livscykelanalyser av byggnader om begreppen lagring av biogent kol i träkonstruktioner och CCS från framtida cementbränning som används i betong. För betong kommer en mindre del av koldioxiden som släpptes ut från tillverkningen att återtas (karbonatiseras) under driftstiden. Detta går att beräkna och ligger med i beräkningarna av grundfallen i denna studie i modul B1. Men framför allt kan karbonatiseringen ökas genom att vid en framtida rivning krossa betong och på så sätt snabba på karbonatiseringen. Detta ingår dock inte i beräkning av klimatpåverkan i denna studie, då betongen antas återvinnas vilket är den vanliga hanteringen idag, och positiv/negativ klimatpåverkan för betongen efter att den lämnat byggnaden allokeras till den nya återvunna produkten. Omfattningen av karbonatiseringen i modul B1 kan beräknas är metodmässigt okomplicerad och ska ingå i en LCA om en hel livscykel analyseras.

I den LCA som görs här beskrivs hur klimatpåverkan ser ut i dag för att tillverka byggprodukter. Att ta hänsyn till framtida tillverkningsprocesser för byggprodukter som används under det framtida användningskedet är möjligt och görs då med en så kallad scenariobaserad inventering. Det är också teoretiskt möjligt att inkludera betydelsen av biogent kol i en LCA som en biogen kolsänka, men det saknas idag en allmän acceptans för hur detta ska göras enligt de standarder som gäller för närvarande (dvs. EN 15804 och EN 15978). Från ett vetenskapligt perspektiv måste en analysmodell som hanterar sänkor vara tidsupplöst, det vill säga inkludera när i tiden upptag och utsläpp sker. Med andra ord så bör effekter av sänkor och tillfällig upplagring av biogent kol i samhället lämpligast analyseras genom att använda en så kallad dynamisk LCA.

I en dynamisk LCA-beräkning görs en inventering för varje år. Vidare bidrar i denna typ av analys alla utsläpp av koldioxid lika mycket, oavsett fossila eller biogena, till en växthuseffekt (radiative forcing). Skillnaden i bidraget till klimatpåverkan syns istället genom att biogent kol som kommer från förnybara källor har en kolcykel som är i balans (eller en större tillväxt än uttag som i svensk skog), det vill säga systemet är koldioxidneutralt. Detta faktum är det som hänvisas till idag när biogent kol räknas in i en LCA i en EPD. Det vill säga, sett över livscykeln så görs en förenkling, där skogens upptag av koldioxid räknas negativt i produktskedet (modul A1-A3) och när man sedan kommer till byggnadens slutskede släpps lika mycket biogent kol ut och enda nettobidraget över livscykeln är det kol som omvandlas till metan istället för koldioxid.

Problemet med detta förenklade räknesätt som idag tillämpas i en "vanlig" statisk LCA är att temporära biogena sänkor inte beaktas. Med vetenskapen om att det inte är säkert att klimatneutraliteten alltid innebär att resursanvändningen inte bidrar till klimatpåverkan, vilket är aktuellt om det tar längre tid att assimilera den koldioxid som släpps ut i förhållande till en referens. Även här finns det förenklade synsätt och ett sådant förslag återfinns inom ramen för EU:s system för miljöavtryck (product environmental footprint, PEF), där alla kolsänkor över 100 år kan betraktas som permanenta (Castellani, m.fl., 2018), vilket är analogt med att klimatpåverkan (GWP) är en integrering av växthuseffekten under 100 år.

Omsatt till ett byggnadsverk betyder det att vid en analysperiod om 100 år, betraktas allt trä som byggts in som en full sänka om det inte bytts ut under denna period. Potentialens storlek för en sådan metodik framgår i tabell 7 och jämfört med utsläpp under byggskedet (modul A1-5), skulle ett KL-trähus med en sådan bedömningsmetod få ett negativt bidrag om energianvändningen räknas bort och vid en livscykel på 100 år. Å andra sidan ges ingen "kredit" för sänkor mellan 0 och hundra år i PEF. Det finns andra system, såsom klimatdeklarationer enligt PAS 2050 (PAS, 2008), där sänkor mellan 0 och 100 år kan redovisas separat och en sänka för 1 kg biogent kol från ett förnybart system får då en "kredit linjärt mellan 0 till 1 kg CO₂e/kg biogen CO₂ (40 år ger 0,4 kg CO₂e osv). Beroende på om denna biogena kolsänka räknas med i livscykelanalyser av byggnader eller ej, kan

⁸ Utredningen ska lämna över sin slutrapport till regeringen senast den 31 januari 2020:

<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2018/07/regeringen-tillsatter-utredning-om-negativa-utslapp-av-vaxthusgaser/>

https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/kommittedirektiv/kompletterande-atgarder-for-att-na-negativa_H6B170

det ge signifikant olika resultat vilket ibland ger upphov till olika slutsatser och polarisering i debatten. Notera att det i dagsläget inte är förenligt med hur en LCA ska beräknas enligt de europeiska CEN-standarder som tillämpas i byggsektorn att lägga samman CO₂e från sänkor och utsläpp av växthusgaser (GWPGHG). Bilaga 5 innehåller ytterligare mer grundläggande beskrivning av biogent kol samt hur det hanteras i olika standarder.

Tabell 7 Omräkning av inbyggt biogent kol i form av koldioxid i de produkter som innehåller förnybart kol från ett koldioxidneutralt system, dvs. upptag är större eller lika med uttaget. Värdet på bundet biogent kol i form av koldioxid beskriver grunden för vad som skulle kunna räknas in som en kolsänka i samhället helt, delvis eller inte alls.

	Andel trä kg TS trä/kg produkt	System 4	System 5	System 3	System 2	System 1
		Volym- element i trä	Massivträ	Prefabbetong	Platsgjuten – lätta utfacknings- väggar	Platsgjuten - kvarsittande form
		kg byggprodukt				
Sågad vara (furu/gran)	0.88	68	30	8	13	17
Spånskiva	0.80	12	15	12		1
Plywood	0.86	14	0.7	2.0	2.7	3.4
Limträ	0.88	7	1.5	0.1	0.1	7.7
Ädelträ	0.89	0.1	0.1	0.1	0.1	
KL-trä (CLT)	0.87		176			
Träfiber	0.90		1.3	1.3	1.3	
Fanérbalk (LVL)	0.87					
Innerdörrar	0.97			0.9	0.9	
Ytbehandlade trävaror	0.93			0.6	0.6	
Summa vikt produkter, kg	—	101	224	25	19	29
Summa bundet biogent kol, kg CO₂	—	160	355	39	31	47

8. Sammanfattande diskussion

Som i tidigare studier (Erlandsson, 2014; Liljenström m.fl., 2015; Larsson, m.fl., 2016; Kurkkinen, m.fl., 2015) visar även den här studien att byggskedet står för en betydande andel av nybyggda flerbostadshus klimatpåverkan sett över hela livscykeln. Oavsett val av material i stommen står byggskedet för i storleksordningen 50-60 procent sett över en 50 års analysperiod. Och om energisystemet i Sverige utvecklas i linje med Riksdagens beslutade mål om netto-noll utsläpp av växthusgaser 2045, är denna andel ännu större, upp emot 70 procent.

Det finns påtagliga skillnader i klimatpåverkan för byggskedet beroende på konstruktionslösning, så som huset skulle byggas idag med de olika systemen. Men projektet visar samtidigt att det finns mer eller mindre klimatsnåla lösningar, oavsett om huvudmaterialet i stommen är betong eller trä.

Resultaten visar att systemen med mycket betong generellt har en högre klimatpåverkan i produktskedet (modul A1-A3). Resultatet visar också att betong har en stor förbättringspotential om marknaden börjar använda alternativa bindemedel. Det finns också möjlighet att arbeta med att optimera exempelvis betongmängder eller att se över vald hållfasthetsklass, men det har inte varit möjligt att fördjupa inom ramen för detta projekt. Analysen av reduktionspotentialer visar också att det finns goda möjligheter att nå en lägre klimatpåverkan genom specifika leverantörsväl av andra material som isolering och armering.

I projektet har vi kunnat belysa ett antal reduktionspotentialer för respektive system, samt hur valet av ett antal aspekter kan påverka klimatpåverkan för en hel byggnad, till exempel transport av prefabricerade element. I dialog med respektive leverantör samt personer i projektets styr- och referensgrupper har vi gjort bedömningen att dessa åtgärder är realistiska att genomföra idag.

När det gäller klimatförbättrad betong redovisas ett alternativ som redan idag används på den svenska marknaden (Fall A) och som innehåller flygaska. All betong inom husbyggnad innehåller idag ofta olika cementersättningsprodukter som gör att uttorkning och hållfasthetstillväxt, under vissa förutsättningar, kan skilja sig mot den betong som historiskt sett använts på den svenska marknaden. I projekt där uttorkningen är viktig är det rimligt att anta att andelen portlands cement (CEM I) är större. En rapport från SBUF förväntas under hösten 2018 som belyser hur problem kan undvikas eller i alla fall minskas med moderna betongrecept där alternativa bindemedel används. Det kan också nämnas att det är möjligt att göra en konstruktiv optimering av de platsgjutna stommarna för att nå en betong med något lägre hållfasthetsklass och miljöbelastning.

Relaterat till uttorkning kan nämnas att de första KL-trähusen i Sverige uppfördes med helt täckt byggarbetsplats. Idag har man alltmer börjat gå mot en produktionsmetod där man inte täcker KL-trä vid stomresningen och monterar då oisolerat. Monteringstiden går fort och vid eventuellt regn används vattendammsugare. Däremot täcks alltid väggelement och skarvar över. Även här pågår ett SBUF-projekt som syftar till att öka kunskapen om hur KL-träkonstruktioner påverkas vid nederbörd under byggtiden och att ta fram rekommendationer för hantering av fuktsäkerhet.

Slutligen bör sägas att det i och med den reduktionsplikt för diesel som trädde i kraft vid halvårsskiftet 2018 kan antas att det blir svårt att köpa 100 procent biodiesel, då all biodiesel kommer användas för att uppnå plikten. Detta kommer dock innebära minskad klimatpåverkan för alla transporter och fordon som används i samtliga byggprojekt i Sverige. För arbetsmaskiner på byggplats kan en omställning till biogas- eller eldrivna fordon också kunna vara ett alternativ så småningom.

I projektet uppfyller de olika projekterade lösningarna samma grundläggande krav, vilket ingår i LCA-termen funktionell enhet, samt att vi jämför per $m^2 A_{temp}$. Samtidigt innebär olika konstruktionslösningar alltid vissa skillnader vad gäller exempelvis upplevelsen av termisk komfort inomhus, upplevd ljudmiljö, etc. Slutligen finns naturligtvis också skillnader i dagsläget mellan kostnader för olika klimatförbättrande strategier att arbeta med i byggandet. Detta har dock inte varit projektets uppgift att utreda och kostnadsförhållanden kan också ändras snabbt med ökad efterfrågan på lösningar med lägre klimatpåverkan. I projektet har de olika stomlösningarna varit i fokus vilket innebär att resultaten kan utnyttjas för att diskutera klimatpåverkan i livscykelperspektiv för just olika stomkonstruktioner. I den jämförande LCA-studien av olika konstruktionslösningar för BRF Viva i Göteborg (Kurkkinen, m.fl., 2015) hade de alternativ som jämfördes också olika fasadlösningar, vilket innebär att det är svårare att dra slutsatser om olika stomkonstruktioners fördelar i klimatperspektiv utifrån det studieupplägget. En annan skillnad mot Kurkkinens studie är att deras inventering är begränsad till de stora materialgrupperna, medan våra beräkningar innehåller i princip all materialanvändning, varför LCA-resultatet för Vivastudien inte är direkt jämförbart med de kompletta inventeringar som gjorts här.

Det skall noteras att kraven på de projekterade lösningarna är högre med avseende på energianvändning än det regelmässiga byggandet idag, vilket gör att de beräknade konstruktionslösningarna antagligen kommer att vara relevanta även om byggreglernas (BBR) krav kommer att höjas i en framtid. Ett krav på energiprestanda med max $55 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}$ köpt energi per år tillämpas av flera stora beställare redan idag och är därmed en rimlig nivå för alla vid en framtida höjning av kraven i BBR.

Beräkningsresultaten bygger på kostnadskalkyler och den resurssammanställning som en sådan resulterar i. Underlaget har tillhandahållits projektgruppen från olika externa aktörer. Projektgruppen har granskat och ifrågasatt vissa uppgifter, men det är ingen fullständig tredjepartsgranskning. Det kan konstateras att det har varit en försvårande faktor att data kommit in från leverantörerna i olika form. Detta har lett till att mycket extratid har behövt läggas på att gå igenom, granska, begära in nya underlag, granska återigen och komplettera inlämnade underlag. Ett bättre sätt hade varit att på ett tydligare sätt kravställa på en komplett produktionskalkyl samt energiberäkning med tillhörande dokumentation från början från alla. Denna typ av kravställning är något som måste vidareutvecklas, speciellt med tanke på om det blir ett allmänt krav på en klimatdeklaration och om denna ska användas i jämförande syfte.

Rekommendationer för entreprenörer och byggherrar

Det finns förhållandevis stora potentialer att minska klimatpåverkan från byggskedet, oavsett vilken konstruktionslösning som väljs. Det är därför väsentligt att i all nyproduktion (men också mer omfattande ombyggnadsprojekt) identifiera och genomföra de viktiga klimatsmarta valen. Baserat på resultaten från den här studien är nedanstående åtgärder mycket intressanta att beakta. De förbättringsåtgärder som räknats på, syftar till att minska klimatpåverkan från byggskedet, med bibehållen grundläggande funktion som i referenshuset.

- **Räkna på klimatpåverkan i varje enskilt byggprojekt.** Varje byggprojekt är unikt och därmed även vilka förbättringsmöjligheter som är viktigast för att minska klimatpåverkan. Även om ovanstående listade förslag bör beaktas i projekt så kan det för det unika projektet vara något annat val som kan påverka projektets klimatpåverkan mycket. Därför är det angeläget att klimatberäkningar görs tidigt i

projekteringen så att de viktigaste åtgärderna för just ert projekt tidigt kan identifieras och därmed genomföras för att minska byggskedets klimatpåverkan. Valda tekniska lösningar i byggskedet kommer dock att påverka byggnaden under dess livscykel, varför en förbättringsanalys alltid bör omfatta hela livscykeln.

- **När du ska använda betong – beställ klimatförbättrad betong.** Säkerställ att den betong som används, oavsett vilket material husets stomme har, är klimatförbättrad. Sådan finns redan idag att köpa på den svenska marknaden utan att gjutcykeln påverkas på ett betydande sätt. Det är också möjligt att beställa ännu bättre betong ur klimatsynpunkt, men det kräver en dialog mellan betongleverantören, konstruktören och entreprenören.
- **Välj de klimatomkostliga bästa produkterna för de stora materialgrupperna.** I studien visas att det finns stora klimatförbättringar att göra vid inköp genom att välja rätt leverantör och produkt för viktiga materialgrupper. Exempel på detta från studien är armering och glasullsisolering där det visade sig finnas stora skillnader mellan produkter från olika leverantörer. Denna åtgärd gäller oavsett material eller valt byggsystem.
- **Välj förnybara bränslen för transporter.** På samma sätt finns stora klimatvinster att göra genom att välja transport på järnväg alternativt med lastbilstransport med förnybara bränslen, såsom HVO, då prefabricerade byggsystem väljs.
- **Var uppmärksam på långa transporter av material och komponenter.** Transport av material och komponenter som står för en stor andel av byggnadens vikt kan bidra till förhållandevis stor klimatpåverkan. Det är därför viktigt att undvika långa transportval för de stora stommaterialen om det inte kan säkerställas att transporterna sker med låg klimatpåverkan.
- **Optimera energianvändningen på bygglplatsen.** Omfattande användning av dieseldrivna maskiner på bygglplats innebär också förhållandevis stor klimatpåverkan. I studien syns framför allt att användning av dieseldriven mobilkran kan ha stor påverkan. En elektrifiering av byggarbetsplatsens fordon kan vara ett sätt att förbättra. I den mån det går att köpa förnybart bränsle, såsom HVO, för byggarbetsplatsens fordon, minskar klimatpåverkan påtagligt. Det är också viktigt att optimera och minimera drift av alla fordon samt att använda energieffektiva bodar.
- **Välj beläggning på balkonger med låg klimatpåverkan med hänsyn till underhåll.** Historiskt sett har det funnits problem med betongbalkonger men de bedöms vara hanterade idag. För träbaserade byggsystem är klimatpåverkan till följd av balkongunderhåll något som kan behöva beaktas. Att hitta lösningar med lägre klimatpåverkan och lägre underhållsbehov än dagens lösningar är här viktigt.
- **Öka kompetensen om klimatpåverkan i hela värdekedjan, inte minst hos inköpsansvariga.** För att kunna identifiera och genomföra de viktigaste, och också de mest kostnadseffektiva åtgärderna för att minska klimatpåverkan från enskilda byggprojekt, krävs en allmän kompetenshöjning samt samverkan mellan alla aktörer i värdekedjan. Detta gäller inte minst vid upphandling.

Alla förbättringsåtgärder som beskrivs ovan måste beaktas och kravställas innan huset är byggt, dvs. ett framgångsrikt miljöarbete uppnås genom att ställa klimatkraven så tidigt som möjligt och syftet är att uppnå förändringar. De åtgärder som beskrivs ovan belyser förbättringar att göra i byggskedet (modul A1-A5). Vi har här valt att lyfta åtgärder i byggskedet då det är frågor som man hittills inte arbetat med mycket i nybyggnadsprojekt. Att arbeta för energieffektiva klimatskal och andra åtgärder som reducerar användningsskedets (skede B) klimatpåverkan är alltså naturligtvis också viktigt. Att välja komponenter med lång livslängd och flexibla lösningar som minskar behovet av stor framtida materialomsättning vid förändrade byggnadsfunktioner och krav är också viktigt.

Förbättringsåtgärderna har bedömts som realistiska att genomföra redan idag, men naturligtvis kan det finnas kostnads- och produktionsmässiga skäl till att de inte regelmässigt genomförs. Projektets uppgift har varit att belysa klimatbesparingar som är möjliga att genomföra, utan hänsyn till kostnaderna, men att dessa inte ökar på ett betydande sätt. Likaså är det enbart klimatpåverkan som analyserats i studien, och inte annan påverkan på miljön och människors hälsa, uttag av naturresurser, biologisk mångfald, etc. Att välja ett klimatförbättrat material kommer att vara lönsamt om beställarna ställer krav på låg klimatpåverkan och är i detta perspektiv ingen fördyring när klimat ingår i kravspecen. Samtidigt händer för närvarande mycket som sannolikt leder till en ökad styrning mot byggkoncept med hög klimatprestanda, framför allt de frivilliga certifieringssystem som används eller håller på att introduceras på marknaden såsom Miljöbyggnad, NollCO₂, BREEAM, LEED, FEBY18 och förhoppningsvis framtida uppdateringar av Svanen. Även Boverkets förslag på en allmän klimatdeklaration för byggnader kommer öka kunskapen om byggnaders klimatpåverkan, som indirekt därmed bör stimulera till att även krav ställs av beställare.

9. Referenser

- Baumann, H., Tillman, A.-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application*, Data Management. Lund, Sverige: Studentlitteratur AB
- Birgisdottir, H., Stenholt Madsen, S. (2017). *Bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger*. SBI rapport 2017:08. Köpenhamn, SBI.
- Boverket. (2018). *Klimatdeklaration av byggnader. Förslag på metod och regler. Slutrapport 2018:23*. Karlskrona: Boverket.
- Castellani F S, Sala V, Schau S, Secchi EM, Zampori M, Diaconu L. (2018): *Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment method. New models and differences with ILCD*, report No EUR 28888 EN, Joint Research Centre (JRC), Ispra, European Commission, 2018.
- Cementa. (2013). *Bascement. Teknisk beskrivning*. Cementa AB, Stockholm.
- CEN, (2017): *FprEN 16757:2017. Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Product Category Rules for concrete and concrete elements (draft version) – Annex BB: CO₂ uptake by carbonation – Guidance on calculation*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- CEN/TR-16970 (2016). *Sustainability of construction works - Guidance for the implementation of EN 15804*. CEN/TR 16970:2016, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- CEN. (2014). *EN-16485 Round and sawn timber - Environmental Product Declarations - Product category rules for wood and wood-based products for use in construction*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- CEN, (2013): *EN 15804:2013. Hållbarhet hos byggnadsverk – Miljödeklarationer - Produktspecifika regler*. SS-EN 15804:2012+ A1: 2013. Stockholm: SIS.
- CEN, (2011): *Hållbarhet hos byggnadsverk – Värdering av byggnaders miljöprestanda – Beräkningsmetod*. SS-EN 15978:2011. Stockholm: SIS.
- Cherubini F, Guest G, Strømman AH (2012) *Application of probability distributions to the modeling of biogenic CO₂ fluxes in life cycle assessment*. *GCB Bioenergy* 4:784–798. doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01156.x
- Dixit, M. (2017). *Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79, pp. 390-413.
- Energiföretagen. (2017). *Tillförd energi till kraftvärme och fjärrvärmeproduktion och fjärrvärmeleveranser 2017*. <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/tillford-energi/>
- Energimyndigheten. (2016). *Fyra framtider. Energisystemet efter 2020*. Eskilstuna, Energimyndigheten.
- ENTSO-E - European Network of Transmission System Operators (2017) *ENTSO-E Transparency platform*. <https://transparency.entsoe.eu/>
- Eriksson P-E, Nord T och Östman, B. (2016). *Kartläggning av brandincidenter i flervåningshus med trästomme – Erfarenheter från 20 års brukande*, SP Rapport 2016:12.
- Erlandsson M, Malmqvist T, Jelse K, Larsson M. (2018a). *Livscykelanalysbaserade miljökrav för byggnadsverk - En verktygslåda för att ställa miljökrav*. Rapport Nr B 2253. IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm.
- Erlandsson (2018b). *Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg BM 1.0*. Rapport 2018:04. Slutrapport till E2B2. Energimyndigheten och IQ Samhällsbyggnad.
- Erlandsson M, Sandberg E, Berggren B, Francart N, Adolfsson I. (2018c). *Byggnaders klimatpåverkan, timme för timme – idag och i framtiden. En gemensam metod för energi- och miljöklassning*. Energimyndigheten, Juni 2018.
- Erlandsson M, Byfors K, Sveder Lundin J. (2017). *Byggsektorns historiska klimatpåverkan och en projektion för nära noll - Underlagsrapport till en debattartikel*. IVL Svenska Miljöinstitutet rapport IVL rapport C 277, ISBN 978-91-88787-12-5, december 2017 (reviderad mars 2018).
- Erlandsson M (2017): *Blå Jungfrun version 2017 med nya cement*. IVL Svenska Miljöinstitutet rapport C250, juni 2017.
- Erlandsson, M. (2015). *Livslängdsdata samt återvinningsscenario för mer transparenta och jämförbara livscykelberäkningar för byggnader*. Rapport B2229. IVL Svenska Miljöinstitutet.

- Erlandsson M, Peterson D. (2015). Klimatpåverkan för byggnader med olika energiprestanda. Underlagsrapport till kontrollstation 2015. För Energimyndigheten och Boverket (rapporten tillgänglig via Boverkets hemsida). IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport nr U5176, 27 maj 2015, första version daterad 10 maj 2015.
- Erlandsson M. (2014). Hållbar användning av naturresurser (BWR 7) – andelen nedströms klimatpåverkan för byggnader. Underlagsrapport åt Socialdepartementet. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport C 15.
- Erlandsson, M. (2013). Generell byggproduktinformation (BPI) för bygg- och fastighetssektorn: Miljödata för arbetsfordon. IVL rapport C9. Stockholm, Sverige: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Erlandsson, M., Sandberg, E., Eek, H., Wall, M., Ruud, S., Wahlström, Å. (2008) Kravspecifikation för passivhus i Sverige — Energieffektiva byggnader. Version 2008:1. Forum för energieffektiva byggnader (FEBY). Energimyndigheten och Västra Götalandsregionen. IVL rapport nr A1548, LTH rapport EBD-R--08/21, augusti 2008.
- Frischknecht, R., Wyss, F., Knöpfel, S., Lützkendorf, T., Balouktsi, M. (2015). Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. *International Journal of Life Cycle Assessment* 20, pp. 957-969.
- Helin T, Sokka L, Soimakallio S, et al (2013) Approaches for inclusion of forest carbon cycle in life cycle assessment - A review. *GCB Bioenergy* 5:475–486. doi: 10.1111/gcbb.12016
- IEA, International Energy Agency. (2016). *Nordic Energy Technology Perspectives 2016*. <https://doi.org/10.1787/9789264257665-en>
- Karlsson B. (2002). Fire Risk Method – Multistorey Apartment Buildings, FRIM-MAB version 2.0. Rapport P 0212053. Träteknik, Institutet för träteknisk forskning.
- Kellner J, Sandberg E, Bygga och bo klimatklokt, Fjärrsyn rapport 2013:28 (byggbodan)
- Kurkkinen, E-L, Norén, J, Peñalosa, D, Al-Ayish, N, During, O. (2015). Energi och klimateffektiva byggsystem. Miljövärdering av olika stomalternativ. SP Rapport 2015:70. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Larsson, M., Erlandsson, M., Malmqvist, T., Kellner, J. (2016). Byggandets klimatpåverkan - Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus med massiv stomme av trä. Stockholm: Sveriges Byggindustrier.
- Liljenström, C, Malmqvist, T, Erlandsson, M., Freden, J., Adolfsson, I., Larsson, G., Brogren, M. (2015). Byggandets klimatpåverkan. Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong. Stockholm: Sveriges Byggindustrier.
- Malmqvist, T., Erlandsson, M., Francart, N., Kellner, J. (2018). Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus. Stockholm, Sveriges Byggindustrier.
- Malmqvist T, Erlandsson M (2017): LCA-baserade miljökrav i byggandet. Verktygslåda för livscykelanalys i byggandet. Rapport till forskningsprogrammet E2B2, 2017:27. <http://www.e2b2.se/forskningsprojekt-i-e2b2/material/verktygslada-foer-livscykelanalys-i-byggandet/>
- Martinsons. (2018). Martinsons handbok för arkitekter, Stomlösning för flerbostadshus. <https://www.martinsons.se/bestall-handbok-for-arkitekter>
- NEPP. (2018). North European Energy Perspectives Project. www.nepp.se
- Nordström J. (2008). Energiutredning Blå Jungfrun. Skanska Sverige AB, Region Hus Stockholm Syd, 2008-07-04, rev 20081202.
- PAS-2050 (2008). PAS 2050 - Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards Institution, London, UK
- SIS. (2004). SS 25267. Byggakustik. Ljudklassning av utrymmen i byggnader – bostäder.
- SOU, Statens offentliga utredningar (2016): Miljömålsberedningens målscenario (SOU 2016:21)
- Stockholms Stad. (2017). Norra Djurgårdsstaden – hållbarhetsredovisning 2017. https://xn--vxer-loa.stockholm/globalassets/omraden/-stadsutvecklingsomraden/ostermalm-norra-djurgardsstaden/informationsmaterial/broschyr-och-dokument/hallbarhetsredovisning_2017_uppslag_180418.pdf
- Tellnes LGF, Ganne-Chedeville C, Dias A, et al (2017) Comparative assessment for biogenic carbon accounting methods in carbon footprint of products: A review study for construction materials based on forest products. *IForest* 10:815–823. doi: 10.3832/ifor2386-010
- Tyska federala inrikesministeriet, byggnad och gemenskap. (2017). Ökobaudat. <http://www.oekobaudat.de/en/database/database-oekobaudat/daten/db1.html#bereich1>

Vattenskadecentrum (2017). Vattenskadeundersökningen 2016. <http://www.vattenskadecentrum.se>

Värmemarknadskommittén (2016). Överenskommelse i värmemarknadskommittén 2016. https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/sa-fungerar-det/miljo-och-klimat/vmk_overnskommelse-2016_vers161208.pdf?v=Z2kmQS_3tD8i7nG2988BV9ZNg2k

Östman B och Stehn L. (2014). Brand i flerbostadshus - Analys, rekommendationer och FoU-behov. SP Rapport 2014:07.

Bilaga 1: Detaljerad beskrivning av beräkning av underhåll och utbyte (modul B2 och B4)

I tabellen nedan listas utbytes- och underhållsintervall som tillämpats i scenarierna för beräkning av underhåll (modul B2) och utbyte (modul B4).

Åtgärd	Intervalltid för åtgärd
Underhåll	
Strykning av tak	10 år
Målning plåtdetaljer	10 år
Underhåll putsfasad (ny puts till 10 %)	25 år
Målning fönster	10 år
Underhåll balkongplatta i betong (ny betong till 5 %)	25 år
Underhåll elinstallationer (utbyte till 5 %)	25 år
Underhåll VVS-installationer (utbyte till 5 %)	25 år
Utbyte	
Utbyte takpapp	25 år
Utbyte plåtdetaljer	40 år
Omputsning av fasad	45 år
Fönsterbyte	40 år
Byte balkongräcken och skärmar	20 år
Utbyte balkongplatta i trä- eller kompositmaterial	25 år
Utbyte elinstallationer	50 år
Utbyte ventilationssystem	50 år
Utbyte VVS-installationer	50 år
Utbyte hissdelar (antagande 1/3 del av hissens klimatpåverkan)	25 år

Vid beräkning av drift och utbyte har endast materialproduktionen inkluderats, då det bedöms att transporter, installationsprocesser och avfallshantering står för en mindre del av klimatpåverkan. Både yttre och vissa inre åtgärder inkluderas. Med yttre åtgärder avses här åtgärder relaterade till byggnadens klimatskal. Inre underhåll har begränsats till husets installationer, det vill säga el, ventilation och VVS. Inre lägenhetsunderhåll har inte inkluderats då det delvis är upp till lägenhetsinnehavaren. Inte heller inkluderas inre underhåll av gemensamma utrymmen (trapphus etc.) eftersom detta främst innebär ytmålning, vilket inte är en stor klimatpåverkande åtgärd.

Under analysperioden 50 år underhålls klimatskalet och delar som har kortare livslängd än 50 år förutsätts byts ut. Underhåll definieras här som periodiskt återkommande åtgärder som är nödvändiga för att upprätthålla funktionen hos en byggdelen, medan utbyte sker i slutet av en byggdels livslängd och innebär att hela den byggdelen byts ut. Intervall för underhåll och utbyten är i detta projekt hämtade från en sammanställning som IVL har gjort (Erlandsson, 2015). Denna innehåller ett medelvärde baserat på flera olika källor. Det har antagits att läget på huset är normalt exponerat, till skillnad från skyddat eller utsatt läge.

Det har inte tagits hänsyn till framtida teknikutveckling eller energieffektivisering, dvs. de LCA-data och den teknik som beräkningarna grundas på speglar dagens situation. Samtidigt kan också funktionskrav ändras över tid, vilket kan leda till fler utbyten eller andra tillkommande lösningar, framför allt då utbyte och underhåll beräknas för en analysperiod längre än 50 år.

Beräkningen grundar sig på att först göra beräkningen för underhållsintervallet eller livslängden på byggdelen per år och därefter multipliceras med antalet år i vald analysperiod. Detta innebär att exempelvis ett helt utbyte av fönster som håller i 40 år och som sker år 40 enbart belastar byggnaden för de första tio åren av analysperioden 50 år. För underhållsintervall och livslängder på byggdelen enligt tabellen ovan som är jämnt delbara med analysperioden, tas konsekvent inte det sista underhållet/utbytet med i beräkningen, dvs. det som sker samma år som analysperioden avslutas (år 50 eller 100). Detta förfarande skiljer sig från hur beräkningar för underhåll och utbyte har gjorts i studien för Strandparken (Larsson et al, 2016) och är en del av förklaringen till att underhåll och utbyte generellt ligger lägre i förevarande studie, jämfört med tidigare studier.

För avlopp och andra installationer som finns ingjutna i betong så ingår bara materialets klimatpåverkan, varför beräkningarna underskattar utbyte i de två platsgjutna alternativen. Notera att både KL-trä och Prefab betong har ett Granab-bjälklag där utbyte sker enkelt, vilket även gäller volymelementen av trä, till skillnad från platsgjuten betong där golvet måste bilas upp.

Bilaga 2: Detaljerade krav på projekterade lösningars energiprestanda

Följande specifikation är den anvisning som ligger till grund för beräkning av byggnadernas energianvändning. De olika energikalkylerna har sedan granskats av Johnny Kellner och korrigeringar har gjorts vid behov. Energiberäkningarna skall vara gjorda med programmen VIP-energy eller IDA. Följande krav och råd specificerades och gäller för samtliga byggnader:

1. Klimatzon: Stockholm
2. Energitillförsel: fjärrvärme, krav
3. Ventilation: FTX med 85 % årstemperaturverkningsgrad, råd
4. Energiåtgång: köpt energi i form av fjärrvärme är maximalt $41 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och fastighetsel $12 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$
5. Klimatskalets U-värde: U-värde får vara högst $0,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (dvs enligt Boverkets förslag för NNE 2021), krav.
6. U-värde fönster: $0,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, råd
7. Vädringsfaktor: $4 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ enligt Sveby, krav
8. Tappvarmvatten: $25 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ enligt Sveby, krav
9. VVC förluster: $2 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, krav
10. Läckage: $0,3 \text{ l/s m}^2$ för träkonstruktion och $0,2 \text{ l/s m}^2$ för betong, råd
11. Hushållsel $30 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ enligt Sveby, krav (denna uppgift används i energiberäkningarna för att räkna med hur mycket spillvärme som kan tillgodoräknas)
12. Värmetillförsel: Vattenburna radiatorer under fönster. Ingen golvvärme, krav
13. SFP: $1,5 \text{ kW/(m}^3/\text{s)}$
14. Ventilation: $0,35 \text{ l/s/m}^2$ golvarea
15. Temperatur lägenheter: +21 grader
16. Temperatur trapphus: +18 grader
17. Forcering köksfläkt: 46 l/s $0,5 \text{ h/dygn}$
18. Fönster g-värde $0,26$
19. Fönster avskärmningsfaktor på $0,5$

Med krav ovan avses att alla energiberäkningar görs med lika förutsättningar med indata i energiprogrammen.

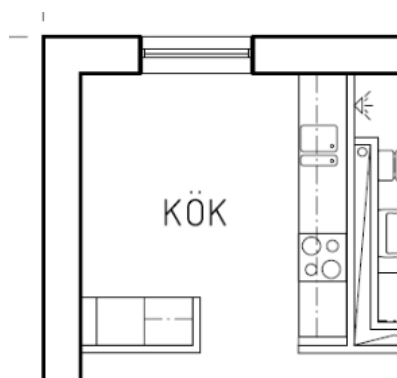
Bilaga 3: Beräkning av klimatpåverkan för vattenskador

Beräkningen av klimatpåverkan till följd av potentiella vattenskador beskrivs i denna bilaga och är en översiktlig utredning och bygger på ett antal antaganden:

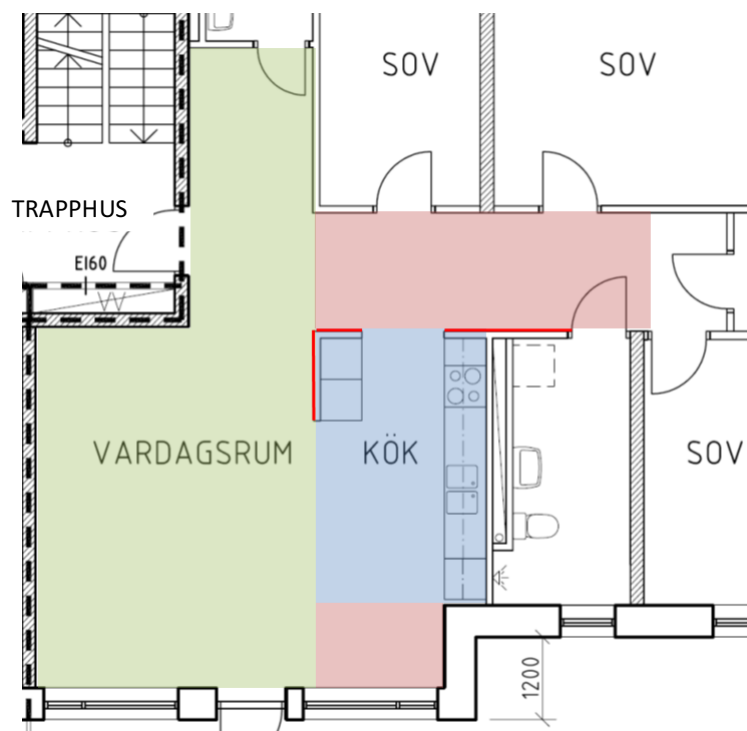
- 1 % av lägenheterna i det studerade referenshuset drabbas av en vattenskada varje år.
- Vattenskador sker i första hand i kök och badrum i flerbostadshus. Vi har här valt att modellera en vattenskada i kök. Detta är ett förenklat antagande för att minska antalet studerade rumskonfigurationer. Köksskador blir allt vanligare och stod 2016 för drygt en tredjedel av alla förekomster av vattenskador i flerbostadshus (Vattenskadecentrum, 2017).

Referenshuset innehåller två olika typer av kök, beroende på lägenhet. Vi kallar dem "Stängt" (Figur 1) respektive "Öppet" (Figur 2). För det stängda köket beräknas vattenskadan omfatta hela rummets golvyta (7,6 m²) och alla väggar (oavsett om de är skåpförsedda eller ej). För det öppna köket valdes tre alternativa utbredningar av en potentiell vattenskada (Figur 2):

- 1) Blåmarkerad area där både väggar och golv omfattas (9,3 m²),
- 2) Ett medelfall som omfattar renovering av alla väggar och golv i blåmarkerat område, plus rödmarkerat golv och väggar markerade i rött (18,8 m²),
- 3) Det mest omfattande fallet i vilket också renovering av grönmarkerat golv tillkommer (47,3 m²).



Figur 1 – "Stängt" kök i referenshuset.



Figur 2 – "Öppet" kök i referenshuset där färgade areor avser olika tänkbara utbredningar av en vattenskada

Baserat på intervjuerna med byggbolag och fastighetsägare samt i samråd med projektets referensgrupp, modellerades vilka byggnadsdelar som skulle behöva bytas samt renoveringsaktiviteter i de olika omfattningarna av skada, samt eventuella skillnader mellan de studerade konstruktionslösningarna, se Tabell 1. I bjälklagen hos de träbaserade systemen är isoleringens tjocklek 190mm för den massiva trästommen (System 5) och 225 mm för volymelementen i trä (System 4). När det gäller isoleringen i yttervägg i System 2 modelleras enbart byte av det inre skiktet med stenullsisolering, då en plastfolie därefter skyddar resten av ytterväggen.

Tabell 1. Modellerade klimatpåverkande renoveringsaktiviteter för vattenskadesanering.

	System 2: Platsgjuten betong med lätta utfackningsväggar	System 1: Platsgjuten betong i kvarsittande form	System 4: Volymelement i trä, samt System 5: Massiv stomme i KL-trä	System 3: Prefabricerad betongstomme
Rör	Utbyte av 1m PVC rör (diameter 25 mm)			
Golv	Ny parkett	Ny parkett	Ny parkett, spånskiva (22 mm) samt isolering i bjälklag	Ny parkett och spånskiva (22 mm)
Gips	Utbyte av gipsskivor på väggar upp till 1 m höjd			
Målning av vägg	Målning av väggar ända upp till tak			
Isolering i vägg	Utbyte av isolering upp till 1 m höjd i ytterväggar, 45 mm tjocklek [3]	Ej relevant	Ej relevant	Ej relevant
Innertak i underliggande lägenhet	Utbyte av gipsskivor i tak över hela den yta som omfattas av skadan samt målning av underliggande innertak.			
Torkning	Eldriven torkning, 1,5 kW under 700 timmar			

Tabell 2. Beräknad klimatpåverkan per vattenskada (kg CO₂e) i de alternativa utbredningarna och konstruktionslösningarna.

kg CO ₂ e	System 2: Platsgjuten betong med lätta utfacknings-väggar	System 1: Platsgjuten betong med kvarsittande form	System 4: Volymelement i trä	System 5: Massiv stomme i KL-trä	System 3: Prefabricerad betongstomme
"Stängt" kök	171	162	285	272	205
"Öppet" kök – låg (1)	149	148	256	246	186
"Öppet" kök inkl. korridor (2)	208	202	421	399	304
"Öppet" kök inkl. korridor och vardagsrum (3)	339	332	884	829	552

Bilaga 4: Översiktlig genomgång av fukt- och brandrisker i modernt byggande

Vatten -och fuktskador

Är det risker med att bygga högisolerade konstruktioner med lätta ytterväggar av trä både för stomme av betong och trä? Högisolerade väggkonstruktioner räknas om isoleringen överstiger kring 250 mm det vill säga en ganska normal väggisolering i dag. Det krävs en betydligt större omsorg vid utförandet och större kunskaper om både byggfysik och fuktmeکانik som ofta saknas hos både byggherrar, entreprenörer och konsulter. Hänsyn måste nu tas på ett helt annat sätt till ett både varmare och fuktigare klimat.

Med hänsyn till ett förändrat klimat är högisolerade väggkonstruktioner sårbarare och mindre förlåtande för små felaktigheter. När man använder tjocka högisolerade väggar ställs större krav på diffusionstäthet bland annat genom att daggpunkten kommer att hamna längre in i väggen. Detta i kombination med att man allt oftare ersätter tidigare frånluftsventilation (F) med från- och tilluftsventilation (FTX) gör att risken för övertryck i byggnaden kan öka vid obalans i systemet, vilket i sin tur kan leda till skador när fuktig luft kan trycks in i klimatskärmen. Ett lätt undertryck är att rekommendera vid FTX-ventilation.

Vattenskador vid läckage i kök kan medföra omfattande skador på snickerier och väggar. Ytterväggen cirka en meter upp måste gips och isolering bytas ut oberoende av bjälklagskonstruktion. Vattenskador för bjälklag med stomme av trä är känsligare för inträngande vatten vid läckage. Förutom torkning med fläktar riskerar bjälklagsisolering att behövas bytas ut. Vattenskador med högpresterande betong med lågt VCT-tal har lång uttorkningstid men med mindre risk för inträngande vatten i underliggande våning.

När det gäller träkonstruktioner för flerbostadshus är detta ingenting nytt för försäkringsbolagen. En stor del av bostadsbeståndet av äldre bebyggelse har stommar av trä i till exempel Gamla Stan, Vasastan och Norrmalm i Stockholm. Försäkringsbolagen reglerar sitt risktagande genom premiesättningen och då enbart hänsyn till egendomsskador. Premiesättningen är och ska vara en konkurrensfråga mellan bolagen.

Brandrisker i nya hus med stomme av trä

Motsvarande beräkning som för vattenskador skulle kunna göras också för brandskador men det har inte ingått i projektet. Då det idag förekommer en "het" diskussion om brandrisker för nya trähus med stomme av trä kommenterar vi denna debatt kort som en del i tilläggsuppgiften till Regeringskansliet.

I LCA-studien har det grundläggande kravet ställts på samtliga fem plattformar att de ska uppfylla Boverkets byggregler. När det gäller brandsäkerhet avser Boverkets byggregler människors säkerhet vid utrymning och inte egendomsskador. Många höga flerbostadshus i Sverige med stomme av trä är utrustade med sprinkler vilket för övrigt är ett krav för alla flerbostadshus i Norge.

I dagsläget finns beträffande egendomsskador inte några dokumenterade fall där skador uppkommit i samband med brand i nya flerbostadshus med KL-trä i Sverige (Eriksson, et al., 2016).

Kartläggning av brandincidenter under perioden 1994-2014 som gjordes av SP visar att moderna flerbostadshus med trästomme har en lägre frekvens av brandincidenter som lett till insatser från räddningstjänsten än hela beståndet av flerbostadshus. Moderna trähus har jämförts med totalpopulationen av flerbostadshus, oavsett stomtyp, byggnadsår, antal våningar (Eriksson, et al., 2016). Detta kan dock förklaras med att träbyggnaderna är relativt nyproducerade. En genomgång av ett fall med brand i flerbostadshus i trä 2013 har utretts av Östman och Stehn (2014) och i denna rapport finns också rekommendationer avseende förebyggande brandskydd baserat på dessa erfarenheter.

En metod för att beräkna brandrisker i flerbostadshus publicerades 2002 (Karlsson, 2002). Metoden håller för närvarande på att uppdateras för att inkludera även egendomsskador i ett pågående projekt med stöd från Brandforsk (projekt 302-151). En första rapport från Lunds tekniska högskola väntas bli klar under våren 2018.

Bilaga 5: Bakgrundsinformation om biogent kol och karbonatisering av betong

Hur lagras kol i byggnader?

Det finns två huvudsakliga byggmaterial som kan fungera som kolsänkor, dvs. lagrar kol som annars skulle ha slutat som koldioxid i atmosfären, och därigenom minskar den globala uppvärmningen: trä och betong.

Trä består huvudsakligen av cellulosa, hemicellulosa och lignin, med kol och syre som viktiga beståndsdelar. Dessa ämnen bildas under trädets tillväxt, främst genom att absorbera CO₂ från atmosfären genom fotosyntes. Efter att trädet har huggits ner, fungerar det som en tillfällig kolsänka, som lagrar koldioxid utanför atmosfären. När trädet förbränns frigörs denna koldioxid tillsammans med energi som kan användas för el eller värme. Om trädet lämnas för att ruttna och brytas ned, frigörs metan i stället, vilket är en mer potent men också mer kortlivad växthusgas jämfört med koldioxid.

Historiskt sett görs ofta ett förenklat antagande i livscykelanalyser av träbaserade produkter. Det har ofta antagits att sådana produkter har ett netto nollbidrag till den globala uppvärmningen under deras livscykel, undantaget utsläpp från transporter och tillverkningsprocesser av träprodukter. Det vill säga, träprodukter antas förbrännas i slutet av livscykeln och släpper då ut samma mängd koldioxid som absorberades under trädets tillväxt och har därför en netto noll påverkan på utsläppen av växthusgaser. Men ett antal aspekter komplicerar bedömningen av trädets faktiska påverkan på klimatet. Helin et. al. (2013) ger en ganska omfattande översikt över dessa frågor.

Den första frågan är den tidsmässiga aspekten av koldioxidens påverkan på klimatet. Faktum är att koldioxid har en mycket lång livstid i atmosfären. Sett för en oändlig tidshorisont, kan man säga att utsläpp idag och i framtiden har samma betydelse. Men sett i ett kortare tidsperspektiv såsom nationella och internationella hållbarhetsmål och risker för s.k. tipping points för global uppvärmning, spelar utsläppens tidpunkt roll (Cherubini et al., 2012). Under en överskådlig framtid kommer en stor del av koldioxidutsläppen idag och under de kommande åren att förbli i atmosfären. En CO₂-molekyl fortsätter att bidra till global uppvärmning så länge den stannar i atmosfären. Vi kan tänka oss två identiska CO₂-molekyler: molekyl A, utsläppt idag, och molekyl B, utsläppt 10 år från nu. Vid en viss tidpunkt, låt säga 2050 eller 2100 kommer molekyl A att ha stannat längre i atmosfären än molekyl B. Därmed har molekyl A en starkare inverkan på den globala uppvärmningen. Och därför är koldioxidutsläppen mindre skadliga för klimatet, ju senare de inträffar. Så koldioxid som absorberas under träråvarans tillväxt och frigörs vid förbränning 50 år senare, kommer att ha hållits undan från atmosfären i 50 år vilket är fördelaktigt för att minska den globala uppvärmningen (förutsatt att träråvaran kom från en "hållbar" skog där nedhuggna träd hela tiden ersätts med nya träd). Med andra ord leder tillfällig lagring av kol inte till ett netto nollbidrag till klimatförändringen, och träprodukter kan anses ha en positiv inverkan på klimatet.

En andra komplikation tyder dock på att träprodukter kan få en skadlig inverkan på klimatet. För att förstå detta behöver vi zooma ut från produktperspektivet och istället se till skogars kolinlagring i ett större perspektiv och dess långsiktiga dynamiska effekter. I en normal LCA hanteras detta mycket förenklat och ingen tidsupplösning av utsläpp eller upptag görs. Det inbegriper inte heller möjligheten att en stor del av kollagringen i skogar sker i mark och annan vegetation, vilket kan påverkas av skogsbruksmetoderna. Att lämna skogar orörda kan faktiskt leda till att mer kol lagras på grund av att det blir fler träd på lång sikt och att mer kol inlagras i marken, men sett i ett samhällsperspektiv så måste de produkter som skogen ger då ersättas med andra som ofta baseras på fossila källor och då ökar klimatpåverkan. Det är dock oklart i vilken utsträckning uttaget av trä och GROT kan påverka kollagring i marken (Helin et al, 2013).

Precis som vid biogen kollagring i träkonstruktioner, är utsläppets tidpunkt och robusta antaganden om livslängd mycket relevanta för beräkning av karbonatisering av betong. När det gäller tidpunkten så gäller emellertid motsatt förhållande som vid biogen kolinlagring: Utsläppen inträffar under materialproduktionen och karbonatiseringen sker under användnings- och slutskedena.

Hur ser beräkningsstandarderna på frågorna?

Tellnes et. al. (2017) ger en omfattande granskning av hur biogen kolinlagring hanteras i miljöbedömningsstandarder. De visar att det inte finns någon vetenskaplig konsensus eller standardiserad praxis på hur man hanterar problemen. Några detaljer av intresse redovisas nedan.

Den europeiska standarden EN-15804 (2013) är en viktig standard som styr framtagande av de miljövarudeklarationer för byggprodukter som används i en byggnads-LCA. Det finns emellertid tolkningsutrymme i standarden för vissa metodfrågor, och den innehåller över huvud taget inga specifika regler för bedömning av biogen kollagring. CEN/TR-16970:2016 (CEN, 2016) menar att kol som lagras i trä ska rapporteras separat och räknas som negativa utsläpp, men endast om det kommer från hållbart förvaltade skogar. EN 16485:2014 (CEN, 2014) som anger regler för miljövarudeklarationer av trävaror i byggandet, använder en räkneregler där man inkluderar upptag och utsläpp av allt biogent kol, vilket därmed omfattar det biogena kol som binds i produk-

ten. Vidare sätter man att 1 kg CO₂ bio = 1 kg CO₂e. Konsekvensen av detta är att om klimatpåverkan redovisas för en träprodukt så resulterar detta i ett negativt bidrag till GWP, men som nollas om man hade gjort en LCA för en hel livscykel. Begreppet hållbart förvaltade skogar kan skilja sig från en standard till en annan. CEN/TR-16970:2016 nämner att hållbar förvaltning definieras av skogscertifieringssystem (till exempel FSC-certifieringen), och EN-16485 (CEN, 2014) tillägger att skogar från länder som följer artikel 3.4. av Kyotoprotokollet också kan betraktas som hållbart förvaltade.

Parallellt med utvecklingen av de europeiska standarderna för miljövarudeklarationer generellt och för byggprodukter mer specifikt, har EU nu kommit långt i att lansera en metod för beräkning av produkters miljövavtryck, PEF (product environmental footprint) som ett informativt styrmedel för privatkonsumenter. I den modellering av biogena koldioxidutsläpp som ingått i pilotprojektet för PEF (2016) är riktlinjen att även utsläpp och upptag från biogena källor och från markanvändning samt förändrad markanvändning ska ingå i GWP-värdet. Men riktlinjen är samtidigt att dessa värden bör rapporteras separat om något av dem står för mer än 5% av det totala GWP-värdet. Enligt modellen är det möjligt att antingen rapportera alla biogena kolflöden eller bara metan som en förenklad metod.

Den engelska standarden som innehåller specifikationer för LCA, PAS-2050, använder en viktningsfaktor för biogen kollagring. Tillfällig kolinlagring (t ex i en byggnad med trästomme) kan därför inräknas som en fördel när det gäller GWP, och lagring över 100 år anses vara permanent. Detta är emellertid endast giltigt om kollagring skedde före produktionsfasen, det vill säga den är giltig för biogen kolinlagring men inte koldioxidbildning.

Det finns sammanfattningsvis fortfarande luckor i standardiserad praxis och vetenskaplig konsensus i detta ämne.